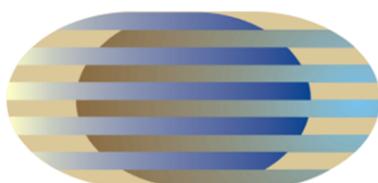




**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE (DDMA)**



**Doutorado em Desenvolvimento
e Meio Ambiente**

**Associação Plena
em Rede**



EDUILSON LÍVIO NEVES DA COSTA CARNEIRO

**DUAS CIDADES, UMA REALIDADE: A DINÂMICA ESPACIAL DA EXPANSÃO
URBANA EM TERESINA-PI E TIMON-MA**

Teresina

2021

EDUILSON LÍVIO NEVES DA COSTA CARNEIRO

**DUAS CIDADES, UMA REALIDADE: A DINÂMICA ESPACIAL DA EXPANSÃO
URBANA EM TERESINA-PI E TIMON-MA**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFPI), como requisito à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Planejamento, gestão e políticas socioambientais. Área de concentração: Desenvolvimento e meio ambiente.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Wilza Gomes Reis
Lopes

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Giovana Mira de
Espindola

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Serviço de Processamento Técnico
Biblioteca Setorial de Ciências da Natureza – CCN

C289d Carneiro, Eduilson Lívio Neves da Costa.
Duas cidades, uma realidade: a dinâmica espacial da
expansão urbana em Teresina-PI e Timon-MA / Eduilson Lívio
Neves da Costa Carneiro. – Teresina: 2021.
111 f. il: color.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de
Ciências da Natureza, Programa Regional de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina, 2021.

“Orientador: Prof^º Dr^ª Wilza Gomes Reis Lopes”.

Coorientadora: Prof^ª Dr^ª Giovana Mira de Espindola

1. Urbanização. 2. Planejamento Urbano. 3. Crescimento
Urbano – Teresina - Piauí. 4. Crescimento Urbano – Timon –
Maranhão. I. Lopes, Wilza Gomes Reis. II. Título.

CDD 711

EDUILSON LÍVIO NEVES DA COSTA CARNEIRO

**DUAS CIDADES, UMA REALIDADE: A DINÂMICA ESPACIAL DA EXPANSÃO
URBANA EM TERESINA-PI E TIMON-MA**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFPI), como requisito à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Planejamento, gestão e políticas socioambientais. Área de concentração: Desenvolvimento e meio ambiente

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Wilza Gomes Reis Lopes

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Giovana Mira de Espindola

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Wilza Gomes Reis Lopes
Universidade Federal do Piauí - UFPI
Presidente – Orientadora – PRODEMA/UFPI

Prof.^a Dr.^a Carolina Moutinho Duque de Pinho
Universidade Federal do ABC – UFABC
Membro Externo – PPGPGT/UFABC

Prof.^a Dr.^a Maria Elisa Zanella
Universidade Federal do Ceará - UFC
Membro Externo – PRODEMA/UFC

Prof.^a Dr.^a Silvia Maria Santana Andrade Lima
Universidade Federal do Piauí – UFPI
Membro Interno/UFPI

Prof.^a Dr.^a Elaine Aparecida da Silva
Universidade Federal do Piauí – UFPI
Membro Interno –PRODEMA/UFPI

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente nessa jornada, em especial à minha mãe Maridéia Neves, minha companheira Giovana Espindola, e minha orientadora Wilza Lopes.

RESUMO

A expansão urbana das cidades médias do semiárido nordestino brasileiro tem avançado consideravelmente a partir da década de 1980, pois tais cidades passaram a servir como elemento de integração regional e intermediação entre os grandes centros urbanos metropolitanos e as pequenas cidades. No entanto, a expansão urbana espraiada incorpora ao tecido urbano áreas naturais importantes para a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais à uma boa qualidade de vida da população. Assim, num cenário de acelerado crescimento populacional, a expansão urbana necessária à alocação da população traz desafios importantes ao planejamento e à gestão urbana sustentável. O objetivo geral deste trabalho é analisar a dinâmica espacial da expansão urbana na conurbação de Teresina e Timon (CTT) a partir das alterações dos padrões espaciais de uso e cobertura da terra e seus impactos sobre a população local. Para obtenção dos objetivos pretendidos foram utilizados dados e métodos de sensoriamento remoto disponíveis na plataforma *Google Earth Engine*, além de dados secundários do IBGE. Métricas descritivas como o índice de Moran I e o índice de vulnerabilidade social também foram aplicadas. Foi possível observar o processo de urbanização na conurbação de Teresina e Timon para o período de 1985 a 2019. A mancha urbana de Teresina e Timon expandiu de 70,34 km² e 12,20 km² em 1985 para 159,02 km² e 30,68 km² em 2018, aumentando anualmente em 3,05% e 3,69% em média, respectivamente, mostrando uma tendência subjacente de crescimento contínuo, e magnitude semelhante às cidades asiáticas. Em 2019, a área metropolitana da CTT foi coberta principalmente por classes de uso da terra como: telhados cerâmicos, outros tipos de telhados, e superfície impermeável, nas proporções de 28,02%, 11,97% e 5,67%, respectivamente. A substituição gradual de cobertura vegetal por assentamentos residenciais periféricos resultou em um aumento da temperatura da superfície da terra. O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) influenciou no aumento de temperatura no microclima local entre 5 e 10°C, e contribuiu substancialmente para uma mudança no uso e cobertura da terra com aumento da extensão das áreas urbanizadas. Ressalta-se que com esse trabalho houve avanço no uso de ferramentas computacionais gratuitas para subsidiar o planejamento urbano, em especial para municípios que dispõem de poucos recursos financeiros, assim como foi trazida uma nova visão sobre estudos urbanos para a região, integrando em um único ambiente as áreas de estudo. Por isso, os processos de planejamentos urbanos sobre os municípios de Teresina e Timon deveriam ser integrados por tratar-se de uma conurbação, e as análises sobre apenas uma das cidades não refletiria a realidade de unicidade de toda a região que será afetada pelos projetos dos planos gestores.

Palavras-chave: Urbanização; Planejamento Urbano; Crescimento Urbano; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The urban expansion of medium-sized cities in the semiarid Northeast of Brazil has advanced considerably since the 1980s, as these cities have started to serve as an element of regional integration and intermediation between large metropolitan urban centers and small towns. However, the sprawling urban expansion incorporates essential natural areas to the urban fabric to maintain ecosystem services vital to a good quality of life for the population. Thus, in a scenario of accelerated population growth, the urban expansion necessary for the population's allocation poses fundamental challenges for planning and sustainable urban management. This research's general objective is to analyze the spatial dynamics of urban expansion in the Teresina and Timon conurbation area (TTC) based on changes in spatial patterns of land use and land cover and their impacts on the population's quality of life. The specific objectives are: a) to discuss the processes of urbanization and population growth, as well as those of urban expansion, in the context of the cities of Teresina and Timon, located in the northeastern semiarid; b) to develop a semi-automatic urban land mapping framework at the Google Earth Engine platform for mapping the Teresina-Timon conurbation area using the random forest algorithm; c) to evaluate the effects of urban sprawl on the Teresina-Timon conurbation area's local population. To achieve the intended objectives, data, and remote sensing methods available on the Google Earth Engine platform were used, in addition to secondary data from IBGE. Descriptive metrics as Moran's I statistic and social vulnerability index were applied. The results were presented in the form of two articles. It was possible to observe the urbanization process in the Teresina and Timon conurbation for the period from 1985 to 2019. The urban area in Teresina and Timon expanded from 70.34 km² and 12.20 km² in 1985 to 159.02 km² and 30.68 km² in 2018, increasing annually at 3.05% and 3.69% averaged rate, respectively, showing an underlying tendency of continuous growth, and magnitude like Asian cities. In 2019, the TTC metropolitan area was mainly covered by land use classes ceramic roofs, other types of roofs, and impervious surface, in the proportions of 28.02%, 11.97%, and 5.67%, respectively. The gradual replacement of green areas by residential settlements resulted in an increased land surface temperature. The program 'My House My Life' (PMCMV) influenced the temperature increase in the local microclimate between 5 and 10°C, and it contributed substantially to a change in land use and coverage, increasing the extension of urbanized areas. With this, the thesis advances in the use of computational tools to support urban planning and bring a new view on urban studies for the region, integrating the study areas in a single environment. For this reason, the urban planning processes for Teresina and Timon should be integrated, because it is a conurbation, and the analysis of just one of the cities would not reflect the reality of uniqueness in the entire region that will be affected by the projects of the management plans.

Keywords: Urbanization; Urban planning; Urban growth; Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 5-1** - Localização da área de estudo: (A) Biomas do Cerrado e Caatinga no Brasil; (B) Maranhão (MA) e Piauí (PI) Estados brasileiros e a localização das imagens Landsat (LS) órbita/ponto 219/063 (norte) e 219/063 (sul); (C) Municípios de Timon-MA e Teresina-PI e o mapa de elevação do SRTM – Shuttle Radar Topography Mission..... 49
- Figura 5-2** - Área de cobertura urbana referente à expansão da conurbação Teresina-Timon (CTT) em 2018 com a localização das fotografias panorâmicas de campo; (A) Operational Land Imager (OLI) Composição de cores Landsat-8, bandas 6(R)5(G)4(B), data de aquisição em 07/12/2019, vegetação aparece em verde, enquanto que a área urbana está em tonalidade magenta; (B) Multi-Spectral Instrument (MSI) composição de cores Sentinel-2A, bandas 8(R)4(G)3(B), data de composição em 08/11/2019, vegetação aparece em vermelho, enquanto que a área urbana está em tonalidade azul; (1 e 2) fotografias panorâmicas de campo de Timon; (3) fotografia panorâmica de campo de Teresina. 51
- Figura 5-3** - Fluxo de trabalho dos procedimentos utilizando os sensores: TM Landsat-5 (L5), ETM+ Landsat-7 (L7), OLI Landsat-8 (L8) e MSI Sentinel-2 (S2). Para Landsat (LS), o seguinte conjunto de dados: Coleta 1, Camada 1, reflectância ortorretificada de superfície (L1T SR). Para Sentinel-2, o seguinte conjunto de dados: reflectância de superfície (RS) Nível-2A. Variáveis adicionais: Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Melhorada 2 (EVI2), Índice de Construção da Diferença Normalizada (NDBI), Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). 52
- Figura 5-4** - (A) Mapas LULC de TM (L5), ETM+ (L7) e OLI (L8) UTCT referentes aos anos de 1985, 2012 e 2018, respectivamente. (B) Proporção das classes temáticas LULC: Área Urbana, Savana e Floresta nos municípios de Teresina e Timon. (C) Precisão global (PG) e Coeficiente Kappa (CK) de cada classificação LULC. 57
- Figura 5-5** - Classificação do território urbano obtida a partir das imagens TM (L5), ETM+ (L7) e OLI (L8) de 1985, 2012 e 2018, respectivamente. Expansão urbana temporal gerada entre 1985 e 2018 na área de CTT..... 59
- Figura 5-6** - Mudanças em pixels (resolução espacial de 30 m) na cobertura do território urbano de 1985 a 2018 para cada um dos cinco setores (N, E, SE, S e W) na área de CTT em 1985 e 2018. 60
- Figura 5-7** - (A) Incremento anual (AI) (em pixels) para cada ano de 1985 a 2018 referentes a: área de CTT (cinza), Teresina (vermelho) e Timon (azul). (B) Taxas de crescimento urbano anual normalizada (AGR) (%) para cada ano de 1985 a 2018 referentes a: CTT área (cinza),

Teresina (vermelho) e Timon (azul). (C) AI e AGR computados em relação às décadas: 1985—1995, 1995—2005, 2005—2015, bem como a média para o período de 1985—2018.	61
Figura 5-8 - Mapa de LULC para 2019 derivado dos dados de Sentinel-2. (A) Área urbana de CTT. (B) Subconjunto mostrando a zona central de Teresina. (C) Subconjunto mostrando a zona central de Timon. Proporção das classes temáticas LULC na área urbana: Residencial—Telhados de cerâmica, Residencial—Outros telhados e Superfície impermeável.	63
Figura 6-1 - Localização da área de estudo: (A) Brasil na América do Sul; (B) Maranhão (MA) e Piauí (PI) Estados brasileiros; (C) Áreas urbanas de Timon—MA e Teresina—PI na composição de cor em MultiSpectral Instrument (MSI) Sentinel-2A , bandas 4(R)3(G)2(B), dados de aquisição em 8 de Novembro de 2019. Em vermelho, crescimento urbano anual de 1985 a 2018.	74
Figura 6-2 – Setores censitários urbanos de 2010 na área da CTT (polígonos de borda preta). Localização dos empreendimentos do programa federal de residências ‘Minha Casa, Minha Vida’ construídas após 2009 (pontos coloridos). Mapa de elevação do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (ao fundo).	77
Figura 6-3 - Consumo de terra per capita (CTpC) e o coeficiente global de Moran I (MCoef) do território urbano na área da CTT de 2000 a 2019.....	79
Figura 6-4 - Mapa de LULC de 2019 derivado dos dados de Sentinel-2. Detalhamento dos empreendimentos do PMCMV dentro do tecido urbano (à direita).	80
Figura 6-5 - Estimativas de temperatura da superfície da terra (TST) na área da conurbação de Teresina-Timon em 2000 (A), 2010 (B) e 2019 (C). Distribuição espacial do índice de vulnerabilidade social (IVS) em 2010 (D).	83
Figura 6-6 - Temperatura da Superfície da Terra (TST) em 2000, 2010 e 2019 para cada localização onde um empreendimento do PMCMV foi instalado, agrupando nas direções: Norte, Leste, Oeste e Sul na área da CTT.	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 - População urbana e rural em 2000 e 2010 de Teresina e Timon	41
Tabela 4-2 - Servidores e Discentes das unidades em Teresina da UFPI e IFPI que residem em Timon-MA.....	42
Tabela 5-1 - Caracterização socioeconômica da área de conurbação Teresina-Timon.....	50
Tabela 5-2 - Lista de classes temáticas LULC usadas em cada conjunto de dados do sensoriamento remoto — Landsat e Sentinel-2, bem como as quantidades de dados amostrais utilizados, respectivamente.....	52
Tabela 5-3 - Cobertura temporal considerada para os dados de Landsat (LS) e Sentinel-2 (S2).	53
Tabela 5-4 - Lista de variáveis preditivas de entrada inclusas nos procedimentos de classificação. TM Landsat-5 (L5), ETM+ Landsat-7 (L7), OLI Landsat-8 (L8), MSI Sentinel-2 (S2) e Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).....	54
Tabela 6-1 - Caracterização socioeconômica da área de conurbação de Teresina–Timon.	74
Tabela 6-2 - Cobertura temporal para os dados Landsat e Sentinel-2.....	75
Tabela 6-3 - Bivariado de Moran I computado entre: as classes temáticas Área Urbana e a temperatura da superfície da terra e o índice de vulnerabilidade social (IVS) — e seus indicadores sintéticos (IVES, IVER e IVIU) — em 2010 e a temperatura da superfície da terra.	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTT	Conurbação Teresina-Timon
GEE	Google Earth Engine
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
ONU	Organização das Nações Unidas
RIDE	Região Integrada de Desenvolvimento
PND	Planos Nacionais de Desenvolvimento
FPIC	Funções Públicas de Interesse Comum
EU	Expansão Urbana
TU	Tecido Urbano
EG	Exatidão Global
KC	Kappa Coefficient
IPBES	Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
RF	Random Forest
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
VNIR	Visible and Near-Infrared
SWIR	Short Wave Infrared Region
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
EVI2	Enhanced Vegetation Index
NDBI	Normalized Difference Built-Up Index
LULC	Land Use and Land Cover
SR	Surface Reflectance
MSI	MultiSpectral Instrument
AI	Aumento Anual
TAG	Taxa de Crescimento Anual Normalizada
AGR	Annual Urban Growth Rate
AL	América Latina
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social

TST	Temperatura da Superfície da Terra
LCpC	Consumo de Terra per capita
MCoef	Coeficiente de Moran I
TIR	Canais de Infravermelho Térmico
IVES	Indicador de Vulnerabilidade da Estrutura Social
IVEF	Indicador de Vulnerabilidade da Estrutura Familiar
IVIU	Indicador de Vulnerabilidade de Infraestrutura Urbana

SUMÁRIO

Página

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFLEXÕES SOBRE CIDADES: SURGIMENTO, EVOLUÇÃO E EXPANSÃO	20
2.1	Surgimento e evolução das cidades	20
2.2	Urbanização no Brasil.....	24
3	EXPANSÃO URBANA E CIDADES CONURBADAS	28
3.1	Expansão urbana	28
3.2	Regiões metropolitanas, RIDEs e conurbações urbanas.....	33
4	CIDADES CONURBADAS: ALGUMAS CARACTERÍSTICAS E A RELAÇÃO EXISTENTE ENTRE TERESINA (PI) E TIMON (MA)	38
4.1	As cidades de Teresina (PI) e Timon (MA)	40
4.2	Integração entre Teresina e Timon	42
5	MAPEAMENTO DE TERRITÓRIOS URBANOS BASEADO EM SÉRIES TEMPORAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA PLATAFORMA DO GOOGLE EARTH: ESTUDO DE CASO DA ÁREA DA CONURBAÇÃO TERESINA-TIMON NO BRASIL	44
5.1	Introdução	45
5.2	Materiais e métodos.....	48
5.2.1	Área de estudo.....	48
5.2.2	Método de classificação	51
5.2.3	Métricas da dinâmica urbana.....	55
5.3	Resultados.....	56
5.3.1	Dinâmica Espacial de Expansão Urbana.....	56
5.3.2	Caracterização do Tecido Urbano	62
5.4	Discussão.....	64
5.5	Conclusões	66

6	ASSOCIAÇÃO ENTRE EXPANSÃO URBANA E A ILHA DE CALOR URBANA SUPERFICIAL NA ÁREA DE CONURBAÇÃO DE TERESINA–TIMON NO BRASIL	68
6.1	Introdução	69
6.2	Materiais e Métodos	73
6.2.1	Área de estudo.....	73
6.2.2	Dados de sensoriamento remoto e censo.....	75
6.2.3	Métrica espacial para medir a expansão urbana e seus impactos na população local	77
6.3	Resultados.....	78
6.3.1	Padrões de ocupação de terra e adensamento da área CTT.....	78
6.4	Microclimas Locais e a Vulnerabilidade Social	81
6.5	Discussão.....	84
6.6	Conclusões	86
7	CONCLUSÕES.....	88
8	REFERÊNCIAS.....	90

1 INTRODUÇÃO

Os processos globais de urbanização têm contribuído para o agravamento das alterações dos ecossistemas naturais, principalmente nos séculos pós-revolução industrial, reforçando assim as mudanças ambientais globais (DERKZEN *et al.*, 2017; LEONG *et al.*, 2016; ZHOU; CHEN, 2018). As áreas urbanas são responsáveis por 70% das emissões globais de CO₂, sendo ainda consideradas regiões vulneráveis aos impactos de eventos climáticos extremos (DODMAN; ARCHER; SATTERTHWAITE, 2019; MAROLLA, 2016). Estima-se que em 2060 aproximadamente 60% da população mundial esteja vivendo em cidades, o que afetará os espaços urbanos existentes em termos de desenvolvimento de infraestrutura, alterações no uso e cobertura da terra, e provisão de energia (AVTAR *et al.*, 2019; BOLOGNA; AQUINO, 2020; PROFIROIU *et al.*, 2020).

Neste cenário, o hemisfério sul passará a concentrar as cidades mais populosas do mundo, com forte concentração populacional urbana na América Latina e na Ásia. Assim, os chamados países em desenvolvimento devem, ainda, observar acelerada expansão de seus centros urbanos por mais algumas décadas (ZHUKOVA *et al.*, 2017), apresentando um movimento diverso do observado em algumas cidades europeias que já se encontram em fase de retração (HENNIG, 2019).

Em particular na América Latina, as altas taxas de concentração populacional em centros urbanos está diretamente associada a problemas relacionados com a escassez de habitação, saneamento básico, falta de infraestrutura e poluição (DUQUE *et al.*, 2019; GARCÍA-AYLLÓN, 2016). Desta forma, torna-se latente e ainda atual a discussão que busca o enfrentamento dos desafios da expansão urbana com base em “critérios de equidade social, sustentabilidade ecológica, eficácia econômica, pluralismo e integração cultural, e distribuição espacial equilibrada das atividades e assentamentos humanos” (SACHS-JEANTET, 1995).

No Brasil, os processos históricos de urbanização sempre foram bem distintos, conforme a região geográfica e seu histórico de ocupação. Segundo dados do IBGE (2013), a região Sudeste foi a primeira região a ser considerada urbanizada, a partir de 1960, com 57% da população habitando áreas urbanas em relação à população rural. Podemos dizer que o fato dessa região concentrar a maior parte das indústrias do país, foi também a que recebeu maior fluxo migratório vindo de áreas rurais, assim como outras regiões, em especial do Nordeste (LOBO; MATOS, 2011).

Segundo Carvalho (2019), a construção de Brasília abertura da BR Belém-Brasília gerara um grande fluxo migratório para a região Centro-Oeste. Este fluxo se originava

principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Durante o período de 1960 a 1970 o Centro-Oeste ocupou a segunda posição entre as regiões mais urbanizadas do país (IBGE, 2013). A região Sul, com sua característica de propriedades familiares e baixa concentração fundiária, além de culturas diversificadas, foi impactada pelo apoio governamental e modernização de técnicas produtivas na agricultura (CARVALHO, 2019). Com isso, a região sul que teve uma urbanização lenta entre os anos 1940 a 1970, a partir dos anos 70 a região Sul teve uma aceleração em sua urbanização e nos anos 2010 torna-se a terceira região mais urbanizada do Brasil (IBGE, 2013). A região Norte já foi a segunda mais urbanizada do país, entretanto, após a concentração do poder econômico na região Sudeste, além de fluxos migratórios do Norte para outras regiões do país, fez com que o crescimento da população urbana fosse desacelerado (CARVALHO, 2019; IBGE, 2013).

Apesar das grandes concentrações populacionais das regiões Sul e Sudeste já estarem bastante consolidadas, na região Nordeste as cidades médias passaram a ocupar recentemente uma posição de destaque na rede urbana regional, principalmente a partir da década de 1980 (BRITO; HORTA; AMARAL, 2018; CARVALHO, 2019). Nestas cidades, o padrão de expansão urbana ainda está muito associado ao crescimento populacional e à incorporação de novos territórios por meio da dilatação do perímetro urbano, ou seja, a chamada urbanização extensiva (SILVA; MONTE-MÓR, 2016).

Nestes casos, a incorporação de novos espaços ocorre por meio da expansão das áreas urbanas periféricas, muitas vezes motivada pela construção de conjuntos habitacionais para grupos de baixa renda e, mais recentemente, pela ocupação desses espaços pelos grupos de média e alta renda em condomínios fechados. Frequentemente, a infraestrutura acaba sendo deficiente e tardia, com o prejuízo adicional da não ocupação de vazios urbanos mais centrais e urbanizados, o que adicionalmente facilitaria a mobilidade urbana e a diminuição dos impactos ambientais (MAIA; LAGE; LEONELLI, 2019; MONTEIRO, 2020).

Consequentemente, os desafios urbanos contemporâneos tornam-se ainda mais relevantes no contexto recente de crise sanitária mundial, ocasionada pela pandemia do SARS-CoV-2 (HSU; CHIA; LIM, 2020). A literatura atual tem listado aspectos e características urbanas como importantes determinantes de uma maior ou menor incidência da pandemia. Muitos autores já conseguiram demonstrar, por exemplo: a relação positiva entre poluição do ar e as taxas de mortalidade pela COVID-19 (HE; PAN; TANAKA, 2020); a dimensão da incidência da COVID-19 em assentamentos urbanos informais (CORBURN *et al.*, 2020); a relação entre vulnerabilidade urbana e as taxas de mortalidade na atual pandemia (MISHRA;

GAYEN; HAQUE, 2020); e ainda as relações entre densidade urbana e a COVID-19 (DESAI, 2020; SALAMA ASHRAF, 2020).

Com relação a este último quesito, volta-se então a discutir, sob novos olhares, o quão compacta ou espraiada deveria ser uma cidade ideal. Em 2016, as Nações Unidas lançaram uma “Nova Agenda Urbana”, que buscava alcançar densidades populacionais apropriadas por meio da priorização e reutilização de áreas consolidadas, com privilégio para a compactação e a prevenção do espraiamento urbano (DESAI, 2020; VALENCIA *et al.*, 2019). No entanto, a nova realidade sanitária global certamente nos trará novos parâmetros e desafios urbanos que priorizem o bem estar e a saúde da população sob esta nova realidade (ACUTO *et al.*, 2020; NEWMAN AO, 2020).

Ainda sob a ótica da pandemia do SARS-CoV-2, passou-se a rediscutir não apenas qual seria o desenho ideal de uma cidade, mas também como ocorrem, ou deveriam ocorrer, as relações de integração e troca de fluxo de pessoas entre espaços urbanos conectados (YAKOB; YUSOF; HAMDAN, 2012). Nesse contexto, ficou ainda mais evidente que cidades conurbadas como Teresina, no estado do Piauí, e Timon, no estado do Maranhão, localizadas no nordeste brasileiro, podem ser mais bem analisadas quando consideradas como um único ente urbano, não apenas por compartilharem a mesma realidade socioeconômica, mas principalmente em termos de eficiência e controle da gestão pública.

Apesar desta evidência, ainda são poucos os trabalhos que consideram Teresina e Timon como um todo urbano conurbado. Muitos dos trabalhos recentes optam por considerar cada um dos espaços urbanos como entes separados e independentes, certamente por estas duas cidades estarem sob diferentes ordenamentos político-jurídicos em nível municipal e estadual (ESPINDOLA; CARNEIRO; FAÇANHA, 2017; LIMA; LOPES; FAÇANHA, 2019).

No entanto, por compartilharem a mesma realidade socioeconômica, ou seja, possuem índices socioeconômicos que se relacionam, visto que as relações de troca de mercadorias e fluxos de pessoas são contínuas, as cidades conurbadas apresentam os mesmos processos e agentes de expansão urbana, e os mesmos problemas e desafios que extrapolam os limites político-administrativos dos municípios. Assim, os planejamentos estratégicos dos municípios que compõem esses centros urbanos conurbados deveriam estar integrados e possuir ações coesas com o objetivo de solucionar ou mitigar os problemas existentes, integrar as ações nas áreas de infraestrutura, saneamento básico, uso e cobertura da terra, gerando uma integração entre os membros partícipes desses arranjos urbanos (MELO FILHO, 2020).

Desta forma, considera-se que um planejamento e gestão mais efetivos são mais eficientes e coerentes quando realizados de forma integrada (SHARIFI; KHAVARIAN-

GARMSIR, 2020). Neste sentido, a crescente disponibilidade de dados espaciais, plataformas de computação em nuvem e de análise de big data tem contribuído para o suporte a uma gestão urbana ágil e efetiva, pois permitem visões atualizadas da realidade dos arranjos urbanos em diversas escalas espaço-temporais (BOEING, 2021; CELES; BOUKERCHE; LOUREIRO, 2019; SILVA *et al.*, 2018).

Dados de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizados não apenas para mapear e monitorar a expansão urbana das cidades, mas também como base na incorporação de dados socioeconômicos, visando subsidiar uma série de ações que viabilizem o planejamento e a gestão sustentável dos centros urbanos, permitindo análises espaciais que integram dados de fontes diversas. Exemplos recentes do uso do sensoriamento remoto como subsídio ao mapeamento da expansão urbana são reportados em cidades dos Estados Unidos, China, Japão, Jordânia e Egito (AL-BILBISI, 2019; RIAD *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2019; ZHANG; CHENG, 2019). Adicionalmente, trabalhos recentes sobre a integração de dados de sensoriamento remoto com dados secundários foram globalmente reportados da China à Venezuela (LI *et al.*, 2020; SHI *et al.*, 2020; ZHANG; LI; CHEN, 2020; ZHAO *et al.*, 2020).

Diante desta realidade, e na ausência de outros estudos que contemplem tais questões, levantam-se as seguintes questões científicas para este trabalho: As dinâmicas espaciais da expansão urbana nas cidades de Teresina e Timon são similares? Os efeitos da expansão urbana na população local seguem as mesmas dinâmica e proporção em Teresina e Timon? A crescente disponibilidade de dados espaciais em plataformas de computação em nuvem poderia auxiliar uma gestão integrada deste arranjo urbano conurbado?

Tem-se como hipótese que Teresina e Timon apresentaram os mesmos processos e agentes de expansão urbana, podendo-se, desta forma, considerar que os perímetros urbanos destas duas cidades formam uma única unidade urbana, apesar de estarem sob distintos arranjos político-jurídicos em nível municipal e estadual.

Diante disto, tem-se como objetivo geral, analisar a dinâmica espacial da expansão urbana na conurbação das cidades de Teresina (Piauí) e Timon (Maranhão) a partir das alterações dos padrões espaciais de uso e cobertura da terra e seus efeitos sobre as populações locais das duas cidades.

Neste sentido, teve-se como objetivos específicos:

- a) Apontar as características das cidades de Teresina e Timon e a relação existente entre elas;
- b) Discutir os processos de urbanização e crescimento populacional, bem como os de expansão urbana, no contexto das cidades de Teresina e Timon;

c) Desenvolver uma estrutura de mapeamento semiautomático de terras urbanas na plataforma *Google Earth Engine* visando mensurar e comparar a expansão espaço-temporal da conurbação urbana de Teresina e Timon;

d) Analisar os impactos da expansão urbana sobre a população na área urbana de Teresina e Timon por meio da integração de dados de sensoriamento remoto e dados socioeconômicos;

Assim, neste trabalho pretende-se unir conhecimentos em planejamento urbano, sensoriamento remoto, geoprocessamento, computação e gestão pública para gerar subsídios para análise e planejamento voltados para o desenvolvimento urbano no nordeste brasileiro. Esse aspecto interdisciplinar adotado no trabalho condiz com os estudos desenvolvidos no PRODEMA, além de trazer uma contribuição metodológica unindo áreas do conhecimento distintas e criando uma metodologia reproduzível para outros estudos no contexto do PRODEMA, além de enfatizar a importância, em especial, do sensoriamento remoto para estudos urbanos.

Ressalta-se que neste trabalho, foi feita a opção de apresentar os resultados obtidos e suas respectivas discussões, em forma de artigos, que respondem aos objetivos propostos na tese, correspondentes aos capítulos quinto e sexto, enviados e publicados em revistas classificadas pela Capes, nos estratos A e B, na área de Ciências Ambientais.

Dessa forma, esta tese está estruturada em oito capítulos, sendo que no primeiro capítulo, **Introdução**, são apresentados tema, justificativa, problemática, hipóteses, objetivos gerais e específicos, bem como a estrutura da tese.

No segundo, terceiro e quarto capítulos apresenta-se revisão bibliográfica, enfocando de forma concisa, aspectos relacionados ao surgimento da cidade, urbanização, expansão urbana, regiões integradas, conurbações urbanas e características da relação existente entre as cidades de Teresina, no Piauí e de Timon, no Maranhão, objetos de estudo deste trabalho. Então, o segundo capítulo, intitulado “**Reflexões sobre Cidades: Surgimento, Evolução e Expansão**”, aborda alguns aspectos relacionados às cidades, expansão e processos de urbanização, baseados em revisão bibliográfica. No terceiro capítulo, denominado “**Expansão Urbana e Cidades Conurbadas**”, embasado em revisão de literatura, são apresentadas algumas questões relacionadas ao crescimento e expansão das cidades, e ao surgimento de regiões integradas e de conurbações urbanas.

No quarto capítulo, intitulado “**Cidades conurbadas: Algumas Características e a relação existente entre Teresina (PI) e Timon (MA)**”, em que, baseado em referencial teórico e em dados secundários, são apresentadas informações sobre as cidades de Teresina, localizada

no Piauí, e de Timon, situada no estado do Maranhão, refletindo sobre a relação existente entre elas.

No quinto capítulo, encontra-se o artigo intitulado “**Mapeamento de Territórios Urbanos Baseado em Séries Temporais de Sensoriamento Remoto na Plataforma do Google Earth: Estudo de Caso da Área da conurbação Teresina-Timon no Brasil**” que avalia a dinâmica espacial de expansão urbana ao longo das últimas quatro décadas (1985-2018), das cidades de Teresina, no Piauí e de Timon, no Maranhão.

O sexto capítulo traz o artigo intitulado “**Associação Entre Expansão Urbana e a Ilha de Calor Urbana Superficial na Área de Conurbação Teresina–Timon no Brasil**”, que busca avaliar o impacto da expansão urbana em cidadãos locais na área da conurbação das cidades de Teresina-Timon (CTT), localizadas nos estados do Piauí e do Maranhão no nordeste do Brasil, enfocando associação entre a temperatura da superfície da terra (TST) e o índice de vulnerabilidade social (IVS) na área da CTT.

No sétimo capítulo são apresentadas as “**Conclusões**” da tese e as proposições de soluções para a problemática apresentada.

Por fim, no oitavo capítulo intitulado “**Referências**”, está colocada a lista de autores citados durante todo o documento da tese.

2 REFLEXÕES SOBRE CIDADES: SURGIMENTO, EVOLUÇÃO E EXPANSÃO

Neste capítulo apresenta-se de forma geral o conceito de cidade, seu surgimento, evolução e alguns aspectos relacionados à expansão e processos de urbanização, baseados em revisão bibliográfica.

2.1 Surgimento e evolução das cidades

Conforme define Lewis Mumford em seu livro *The Culture of City* (MUMFORD, 1938), o conceito social de cidade é um conjunto formado por grupos primários, comuns a todas as comunidades, como famílias e vizinhanças; e grupos com fins específicos, característicos da vida nas cidades, denominados de associações.

Esses grupos coexistem e se sustentam através de organizações econômicas, que são igualmente de caráter mais ou menos corporativo ou pelo menos regulado publicamente. Outra característica comum aos grupos é que todos estão alojados em estruturas permanentes e ocupando uma área relativamente limitada. Mumford (1938) ainda relata que os meios físicos essenciais da existência de uma cidade são o local fixo, o abrigo durável, as instalações permanentes para montagem, intercâmbio e armazenamento, e que os meios sociais essenciais são a divisão social do trabalho, que serve não apenas à vida econômica, mas aos processos culturais.

Há vertentes do pensamento que defendem a complexidade de definir o que é cidade. A cidade possui vários aspectos que podem defini-la, como aspectos físicos, populacionais, econômicos, sociais, históricos, culturais etc. Uma discussão que se alonga durante muitos anos, e que não cessará, pois, uma característica que define bem uma cidade é seu caráter mutante e adaptativo, variando no tempo e no espaço (HENDERSON, 1997; LENCIONI, 2008; NATIONS, 2018; SANTOS, 1959; SCOTT; STORPER, 2015; STORPER; SCOTT, 2016; VICINO; HANLON; SHORT, 2007).

Lencioni (2008) apresenta um estudo para conceituar o termo cidade, que mesmo limitando o conceito de cidade ao contexto brasileiro, a definição apresentada coaduna com a concepção de cidade apresentada por Lewis Mumford. Portanto, neste trabalho o conceito de cidade está associado a um agrupamento de pessoas e construções físicas em áreas definidas, e que exercem relações de troca reguladas publicamente.

As primeiras cidades, conhecidas até o momento, surgiram na antiga Mesopotâmia, hoje região ocupada pelo Iraque. Foram frutos de uma mudança de comportamento das primeiras comunidades, ao dominarem a agricultura, implementarem a domesticação de animais e

abandonarem o estilo nômade de vida. E depois, intensificada com as transações comerciais entre os primeiros núcleos urbanos (SCOTT; STORPER, 2015).

No Brasil, as primeiras cidades surgiram a partir de pequenos povoados que tiveram origem de diversas formas. Azevedo (1957) caracteriza esses povoados como locais de habitações simples, ocupadas por não mais que dezenas de habitantes, cotidiano pacato, mas com momentos de agitação em datas cívicas, festivas ou religiosas. Também definiu esses povoados como embriões de cidades brasileiras e classificou-os em seis diferentes tipos a partir de suas origens: a) Lugares fortificados ou postos militares; b) Aldeias e aldeamentos de índios; c) Arraiais e currutelas; d) Engenhos/Usinas, fazendas ou bairros rurais; e) Patrimoniais e núcleos coloniais; e f) Pousos de viajantes e estações ferroviárias.

Os povoados originados de aldeamentos de índios surgiram da interferência portuguesa por catequistas desde o início da ocupação do Brasil, e posteriormente como obras do serviço de proteção ao indígena. Ambas as iniciativas tiveram atuação em boa parte do território nacional, porém com especial relação com a região amazônica, onde a maioria dos aglomerados urbanos devem suas origens aos aldeamentos indígenas. Além disso, esses aldeamentos são considerados como as primeiras obras urbanizadoras no Brasil (AZEVEDO, 1957).

Os arraiais e currutelas tinham suas origens em acampamentos de tropas volantes que eram promovidas pelas atividades de mineração, assim como pelos bandeirantes. Esse tipo de povoado era caracterizado por possuir uma população heterogênea, flutuante e sempre renovada. As civilizações mineiras foram essencialmente uma civilização urbana, em geral com uma área central, denominada “capital” e ao redor várias currutelas como áreas satélites. A atividade econômica da mineração foi a maior promotora da criação e desenvolvimento de cidades no interior do Brasil (AZEVEDO, 1957).

Outras atividades econômicas que se destacaram no processo de povoamento do Brasil foram as atividades agropastoris, com povoados originados de engenhos e, mais atualmente, usinas de açúcar, fazendas de gado e bairros rurais. Porém, os povoados originados da atividade açucareira tiveram ação urbanizadora menos uniforme e menos extensiva comparado com os aldeamentos e arraiais. Os engenhos e usinas não tiveram muito êxito na geração de cidades pois possuíam uma estrutura econômico-social anti-urbana. No entanto, a atividade pastoril deu origem a um número relativamente grande de cidades, em especial nas regiões nordeste e sul. No Piauí, destaca-se o povoado, originado de uma fazenda de gado, que se tornou a Vila da Mocha em 1712 e posteriormente, elevado em 1761, a categoria de cidade de Oeiras, primeira capital do Piauí. Assim como, também a cidade de Paulistana, antes denominada Paulista, como originada de povoados que cresceram a partir de uma fazenda de gado (AZEVEDO, 1957).

Timon-MA, uma das cidades objeto desta tese também surge a partir do povoamento originado de algumas fazendas e engenhos instalados próximos às margens do Rio Parnaíba que teve a denominação de Povoado São José do Parnaíba, depois elevado à categoria de vila com o nome Vila de Flores, para em 1924 tornar-se cidade de Timon (SANTOS, 2007). Contudo, Teresina-PI, a outra cidade objeto desta tese, surge como uma cidade planejada para ser a capital da Província do Piauí, em substituição à Oeiras (CHAVES, 2013).

Com uma concentração maior em São Paulo os povoados originados de bairros rurais foram sementes para o surgimento de várias cidades no interior paulista. Esses bairros surgiam ao longo de estradas que ligavam pequenos sítios e chácaras com atividades econômicas de baixa escala, mas diversificada. No entanto, entre povoados originados de engenhos, usinas ou bairros rurais, todos tinham uma capela cristã como elemento condensador do povoamento (AZEVEDO, 1957).

Os embriões de cidades denominados de patrimoniais e núcleos coloniais tornam-se mais comuns a partir do sec. XIX. Esses povoados surgiam a partir de doações de terras para uma capela, com posterior organização urbana ao redor e recebiam o nome do santo homenageado. O doador, em geral, desejava aferir lucro com a comercialização das terras ao redor da capela, esse tipo de atividade foi comum em parte do nordeste e sudeste do país. Na região sul destacaram-se os núcleos coloniais, a exemplos das sesmarias, que serviam para promover o povoamento de áreas doadas por Portugal. Os loteamentos de caráter leigo, de iniciativa privada ou pública, individual ou coletiva, para fins imobiliários que, em geral, recebiam nomes de pessoas de destaque ou do próprio investidor, foram mais densamente criados no interior paulista (AZEVEDO, 1957).

As vias de comunicação e transporte também tiveram uma grande contribuição no surgimento de povoados que vieram a tornar-se cidades. Ao longo das estradas por onde trafegavam os tropeiros foi o local ideal para o surgimento de pousos para alimentação e manutenção de arreios e ferragens, assim como cobrança de pedágios e tributos. Nos dias atuais os postos de combustíveis assumem esse papel de ponto de apoio nas estradas, porém ainda como embriões de cidades, alguns nunca chegaram ou chegarão a tornar-se cidades. No final do século XIX, com a expansão das vias férreas, as estações ferroviárias deram origem a diversos embriões de cidades, principalmente no planalto ocidental paulista derivada da atividade cafeeira (AZEVEDO, 1957).

Assim, o surgimento e evolução de muitas cidades brasileiras iniciam-se a partir desses povoados, que conseqüentemente atraíam interesses sociais, econômicos e políticos, tornando-se polos de atração e levando a aglutinação de um número cada vez maior de pessoas. Contudo,

esses polos necessitavam de conexões com outros centros urbanos para trocas comerciais, relações políticas, sociais e culturais. Essas conexões eram feitas basicamente com os centros urbanos próximos formando o que Brito e Pinho (2012) chamaram de “arquipélagos regionais”, e que tinham muitas dificuldades para manter articulações em nível nacional, devido à precariedade dos sistemas de transporte e comunicações.

A partir da segunda metade do século XIX esses arquipélagos ampliaram as suas conexões mercantis, graças a grande expansão da economia cafeeira e o expressivo surto de industrialização. Mesmo assim, concentrando as cidades mais importantes ainda na região litorânea, com destaque no interior do país apenas para Cuiabá na região Centro-Oeste (BRITO; PINHO, 2012).

O processo de industrialização traz consigo o conceito de urbano, como relativo ao espaço de convivência, necessário para as trocas comerciais, sociais e culturais, entre pessoas e entre outros centros urbanos. Para Léfèbvre (1999), apesar de considerar que o termo urbano não é um subproduto da industrialização, ele delimita sim que o termo está situado no âmbito da industrialização. Os termos urbano e cidade se confundem e se misturam em diversos aspectos. Vários autores trazem definições e delimitações para os termos urbano e cidades, que divergem em alguns detalhes e regiões (HENDERSON; WANG, 2007; ROBINSON; ROY, 2016; SANTOS, 2008; SCOTT; STORPER, 2015; STORPER; SCOTT, 2016).

Dependendo do país têm-se diferentes definições e critérios para delimitar cidades e urbano. Censos populacionais podem categorizar uma parcela da população localizada em determinadas áreas geográficas como população urbana, sendo que tais áreas geográficas não se enquadrariam no termo urbano em outros países. Uma cidade definida por limites administrativos pode não incluir áreas suburbanas ou periféricas, onde habitam parte da população que estuda ou trabalha na área central da cidade. Além disso, há casos em que, embora tenham governos locais diferentes, duas ou mais cidades adjacentes podem formar uma única mancha urbana (NATIONS, 2019).

Porém, Lencioni (2008) apresenta algumas observações gerais para auxiliar nas discussões sobre os conceitos de cidade e urbano e finaliza expressando que o termo cidade, no contexto brasileiro, não pode limitar à presença de pessoa voltada exclusivamente às atividades urbanas, pois adverte que existem muitas cidades com uma porcentagem significativa de população que mora em cidades, mas são dedicadas às atividades agrícolas. Também conclui que o urbano se relaciona à sociedade capitalista industrial, e, portanto, define o período histórico em que devemos tratar do processo de urbanização no Brasil.

2.2 Urbanização no Brasil

Segundo a ONU (2019) o processo de urbanização gera impacto em três dimensões: social, econômica e ambiental; pois trata-se de um processo complexo que transforma a superfície terrestre convertendo áreas, anteriormente rurais, em assentamentos urbanos, e com isso alterando o estilo de vida, a cultura e o comportamento das pessoas. Como consequência altera a relação entre o número de residentes em áreas urbanas comparando com moradores de áreas rurais. Assim, quando a população de área urbana supera os 50% do total de habitantes de uma região, então este espaço está urbanizado.

Em 1900, as áreas urbanas abrigavam apenas 13% da população mundial, em 1950 esse percentual teve um aumento gradativo para 29%. Seguindo essa tendência, em 2050 estima-se que os habitantes em áreas urbanas será de 6,3 bilhões de pessoas, correspondente a 70% da população global. O que seria quase o dobro da população urbana em 2010 (NATIONS, 2019).

No Brasil, a expansão urbana teve início nas primeiras décadas do século XX, motivado principalmente pelos processos de industrialização dos grandes centros metropolitanos, e pelo decorrente êxodo rural ocorrido entre os anos de 1950 e 1990. Nesse período, o país sofreu uma mudança de um modelo agrário-exportador para um modelo urbano-industrial. Pois, até 1950 o Brasil mantinha uma população predominantemente rural. A exportação de produtos agrícolas era a base das atividades econômicas, com destaque para o café, como principal produto de exportação (CARVALHO, 2019; SANTOS, 2008).

Em 1930, com o início do processo industrial, o país iniciou a criação das condições necessárias para o aumento do êxodo rural, que associado a industrialização, contribuíram também a concentração fundiária e a mecanização do campo. Em 1940, apenas 31% da população brasileira vivia em cidades. Foi a partir de 1950 que o processo de urbanização se intensificou, pois com a industrialização promovida por Getúlio Vargas e Juscelino Kubitschek houve a formação de um mercado interno integrado que atraiu milhares de pessoas para o Sudeste do país, região que possuía a maior infraestrutura e, conseqüentemente, a que concentrava o maior número de indústrias (CARVALHO, 2019; SANTOS, 2008).

Ao longo das décadas de 1970 e 1980, a população do país tornou-se majoritariamente urbana, tendo-se consolidado inicialmente nos grandes centros da região Sudeste, onde a oferta de emprego e de serviços, como saúde, educação e transporte, eram maiores, e a industrialização deu-se de forma mais rápida. Enquanto nas regiões Norte e Nordeste, o crescimento urbano era mais lento devido as grandes massas migratórias rurais terem se direcionado para os centros urbanos das demais regiões. Em 60 anos, a população rural aumentou cerca de 12%, enquanto

a população urbana passou de 13 milhões de habitantes para 138 milhões, um aumento de mais de 1.000% (BRITO; PINHO, 2012; LIMA; LOPES; FAÇANHA, 2017; MARICATO, 2000).

Atualmente, mais de 80% da população brasileira vive em áreas urbanas, o que equivale aos níveis de urbanização dos países desenvolvidos. Esse crescimento da população urbana trouxe também os problemas de falta de infraestrutura e saneamento para as cidades, principalmente nas regiões que concentravam mais pessoas onde se originam as regiões metropolitanas (ALVES *et al.*, 2010; BRITO; HORTA; AMARAL, 2018).

Em nível regional, a urbanização no Brasil não foi homogênea, devido às desigualdades econômicas e a tardia inserção de determinadas regiões na economia nacional. A região Sudeste foi a primeira região a ser considerada urbanizada, a partir de 1960, com 57% da população habitando áreas urbanas em relação à população rural. Pode-se dizer que o fato dessa região concentrar a maior parte das indústrias do país, foi também a que recebeu maior fluxo migratório vinde de áreas rurais, assim como outras regiões, em especial do Nordeste (MARANDOLA JR; MODESTO, 2012).

A construção de Brasília nos anos 1960 gerou um grande fluxo migratório para a região Centro-Oeste. Este fluxo se originava principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Durante o período de 1960 a 1970 o Centro-Oeste ocupou a segunda posição entre as regiões mais urbanizadas do país. A região Sul, com sua característica de propriedades familiares e baixa concentração fundiária, além de culturas diversificadas, apresentava uma baixa migração para as áreas urbanas, com isso, teve uma urbanização lenta entre os anos 1940 e 1970. Contudo, a partir dos anos 1970 a região Sul teve uma aceleração em sua urbanização e nos anos 2010 torna-se a terceira região mais urbanizada do Brasil. A região Norte já foi a segunda mais urbanizada do país, entretanto, após a concentração do poder econômico na região Sudeste, além de fluxos migratórios do Norte para outras regiões do país, fez com que o crescimento da população urbana fosse desacelerado (MARANDOLA JR; MODESTO, 2012).

Segundo o IBGE (2013), a região Nordeste é a que apresenta a menor taxa de urbanização no Brasil. Essa fraca urbanização está apoiada no fato de que dessa região partiram várias correntes migratórias para o restante do país e, além disso, o pequeno desenvolvimento econômico das cidades nordestinas não era capaz de atrair a sua própria população rural. Contudo, a expansão urbana nordestina tem aumentado significativamente a partir das décadas de 1980 e 1990, e a região tem apresentado acelerado processo de urbanização, com elevadas taxas de crescimento demográfico, e uma hierarquização urbana regional interligada por importantes cidades médias (MARANDOLA JR; MODESTO, 2012).

Em geral, nas cidades médias brasileiras, as tendências de concentração urbana e as altas taxas de densidade, largamente observadas nas cidades de grande porte, ainda não chegam a afetar de forma significativa a vida da população quanto a problemas de mobilidade e acesso a serviços públicos. No entanto, tais cidades têm apresentado graves dificuldades em atender as demandas por políticas públicas de gestão e de ordenamento territorial local (BRENNER; SCHMID, 2014; SMETS; SALMAN, 2015). Na tentativa de democratizar e dar transparência à gestão das cidades brasileiras, a Lei Federal nº 10.257/2001 (BRASIL, 2001), denominada Estatuto da Cidade, regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.

Dentre os instrumentos de gestão citados no Estatuto da Cidade destaca-se o Plano Diretor (capítulo III, art. 39 a 42). A sua obrigatoriedade incide sobre todos os municípios com mais de 20 mil habitantes e sobre alguns municípios inseridos em casos especiais, quais sejam: a) integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas; b) município que deseja fazer uso do artigo 182, § 4º da Constituição Federal, que possibilita ao poder público municipal implementar medidas que regulamentem áreas urbanas não edificadas, subutilizadas ou não utilizadas; c) integrantes de áreas de especial interesse turístico; d) inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional; e e) incluídas no cadastro nacional de Municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

O objetivo destes instrumentos de gestão estabelecidos no Estatuto da Cidade busca promover e garantir os princípios constitucionais de gestão democrática da cidade, por meio da participação popular e garantia da função social da propriedade que se propõem uma nova interpretação para o princípio individualista do Código Civil, entre outros princípios.

O Estatuto traz, ainda, as diretrizes gerais para a execução da política urbana, apresentadas no primeiro capítulo, dentre as quais pode-se destacar a gestão democrática, cooperação entre governos, planejamento das cidades e a garantia do direito a cidades sustentáveis. E em seguida descreve os instrumentos da política urbana, onde destacamos o plano diretor; disciplina do parcelamento, do uso e cobertura da terra; zoneamento ambiental; além de instrumentos de cunho orçamentário e econômico.

Dentro de área de estudo deste trabalho, chama-se a atenção para o município mais populoso. Teresina, a capital e maior cidade do Piauí, é uma cidade média nordestina que ao longo dos anos tem apresentado rápidas transformações em sua estrutura e fisionomia urbana,

com mudanças substanciais de expansão e adensamento de sua malha. Entre 1970 e 1991, Teresina apresentou elevadas taxas de crescimento populacional, com valor médio de crescimento igual a 5,50% ao ano. A partir do levantamento e análise dos dados dos Censos Demográficos do IBGE de 1980 e 2010, observa-se que em 1980 a população de Teresina não chegava a 400.000 habitantes, e que em 2010 passou a 814.230 habitantes, sendo atualmente polo de processos migratórios da região. Teresina foi também a cidade do Nordeste onde a renda per capita mais cresceu entre os anos de 1970 e 2000, com taxa média de crescimento anual de 4,16% (IBGE, 2013). Em Cruz, Espindola e Carneiro (2016), Nogueira, Espindola e Carneiro (2016), e Espindola, Carneiro e Façanha (2017) encontra-se uma detalhada análise da expansão urbana sofrida por Teresina durante os anos de 1970 e 2010, estabelecendo suas relações com a distribuição espacial da população, explicando a densidade demográfica e sua distribuição.

3 EXPANSÃO URBANA E CIDADES CONURBADAS

Neste capítulo são apresentadas algumas questões relacionadas ao crescimento e expansão das cidades, o surgimento de regiões integradas e de conurbações urbanas, embasadas em revisão bibliográfica.

3.1 Expansão urbana

Segundo a ONU (NATIONS, 2019), a expansão urbana pode se dar a partir de três fatores: reclassificação do uso da terra, processos migratórios e aumento natural da população. Esses fatores podem influenciar mais ou menos no processo de expansão urbana, dependendo de circunstâncias locais como políticas de ordenamento do território, mudanças demográficas de uma região, definições de cidade e urbano em um determinado país, dentre outras.

As políticas de ordenamento do território contribuem para a expansão urbana com o aumento do tamanho da área urbana em um determinado município. Quando há um aumento em área das cidades, em geral, há também a incorporação de assentamentos vizinhos e sua população, que antes eram classificadas como rurais. Assim como, um aumento populacional em determinada área rural poderá motivar as políticas para reclassificação dessa área como urbana.

Outro fator importante são os fluxos migratórios que contribuem para a expansão urbana sempre que o número de imigrantes é maior que o de emigrantes. Aqui no Brasil, boa parte da expansão urbana nos grandes centros podem ser associadas a fluxos migratórios originados de áreas rurais, especialmente os que ocorreram entre os anos 1950 e 1990, associados ao processo de industrialização dos grandes centros metropolitanos (CARVALHO, 2019). Os fluxos migratórios também constituem-se como o principal fator de expansão urbana nas cidades de Teresina e Timon, mesmo sem essas cidades terem sido acometidas de processo de industrialização mais intenso (CRUZ; ESPÍNDOLA; CARNEIRO, 2016; SANTOS, 2007).

Em relação ao contingente populacional, quando o número de nascimentos excede o número de mortes em determinada área ocorre um aumento natural da população. Os nascimentos são afetados pelo nível de fertilidade de uma população, e o número de mortes pela expectativa de vida. Aspectos como a distribuição etária da população contribuem para o equilíbrio populacional, uma vez que as populações mais velhas tendem a ter menos nascimentos e mais mortes. Outra causa está associada às mulheres que vivem em áreas urbanas terem maior acesso à educação e métodos modernos de planejamento familiar, que resultam em menores níveis de fertilidade comparados às mulheres em áreas rurais (NATIONS, 2019).

Independente do fator gerador, é consenso que a expansão urbana gera consequências, e vários estudos têm discutido sobre os impactos e as consequências dos processos de expansão urbana em diversas cidades ao redor do mundo. Esses processos, em geral, se dão com o avanço da mancha urbana sobre terras até então rurais, e a inevitável interação humana com a vida selvagem, com efeitos negativos às vezes para os humanos, às vezes para a vida selvagem, assim como também às vezes para ambos.

Em geral, os estudos apontam para as consequências ruins da expansão urbana, como maior tempo de deslocamento, maior dependência de transportes automotores públicos ou particulares, maior uso de energia, aumento dos custos dos serviços públicos, bem como a perda de espaços abertos e cobertura vegetal (SULTANA; WEBER, 2014). Bueno-Suárez e Coq-Huelva (2020), tal qual a ONU (NATIONS, 2019) categorizam os impactos da expansão urbana em três categorias: ambientais, sociais e econômicos.

Os estudos que abordam as influências da expansão urbana no contexto ambiental apresentam as emissões de carbono derivadas da substituição da cobertura vegetal; impacto na conservação da biodiversidade pela perda de áreas selvagens e vegetação dentro e nos arredores das cidades; aumento de demanda por água e outros recursos naturais; aumento de temperatura pela perda da cobertura vegetal; dentre outras (CHEN *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2020; CORREIA FILHO *et al.*, 2019; DOBBS *et al.*, 2019; SPERANDELLI; DUPAS; DIAS PONS, 2013), como algumas das perdas irreparáveis ao meio ambiente provenientes de processos de expansão urbana descontroladas, em especial na América Latina.

No aspecto social, a mobilidade urbana tem sido destacada como uma questão relevante em estudos sobre expansão urbana. Sultana e Weber (2014) apresentam que a relação entre densidade populacional e modo de transporte tem sido bem estudada, e os estudos confirmam que áreas com menor densidade populacional têm menos viagens de transporte público e mais uso de transporte particular, ao tempo em que áreas com alta concentração populacional apresentam uma correlação positiva com a utilização de transportes público, em detrimento do uso de transporte particular.

Ainda a respeito de mobilidade, Sultana e Chaney (2003) relatam que os tempos de deslocamento são maiores em áreas com baixa densidade e crescimento acelerado recente, e que em cidades com área de expansão recentes possuem viagens mais longas. Ismael (2020) destaca que mesmo em nível de bairros há uma relação entre áreas de baixa densidade e deslocamentos mais longos, e que nessa escala, baixas densidades reduzem a presença de oportunidades de trabalho local, gerando como efeito a necessidade de viagens mais longas.

Com isso, há uma associação entre viagens longas, consumo de energia, em especial combustíveis fósseis, e impactos ambientais como emissão de carbono e poluição.

Ismael (2020) também enfatiza que outro impacto referente à expansão urbana em áreas de baixa densidade e que privilegiam a utilização de transporte particular afeta diretamente às mulheres, pois as famílias que possuem apenas um carro, em geral é mais utilizado pelo homem, tornando a mulher vítima de menor acessibilidade.

Além dos efeitos impróprios da expansão urbana na mobilidade urbana, também são discutidos e investigados os impactos sociais de cidades em expansão sobre a segregação e a disponibilidade de habitação (BILAL *et al.*, 2019; RAUSKY; CHAVES, 2019), assim como as relações entre expansão urbana e racismo, educação, violência e doenças de saúde (GAVIRIA *et al.*, 2020; MOLINA; CZISCHKE; ROLNIK, 2019; ROBERTS; WILSON, 2009; ROTONDANO, 2019).

Frick e Rodríguez-Pose (2018) pesquisaram a existência de um tamanho certo de cidade que propicie crescimento econômico, e quais fatores podem influenciar na relação tamanho das cidades e desenvolvimento econômico em uma escala nacional. Os autores apresentam estudos que justificavam que grandes cidades trouxeram desenvolvimento e prosperidade, e o desenvolvimento, por sua vez, tornou possível o crescimento de grandes cidades; justificavam também que as grandes cidades levaram a uma maior produtividade e crescimento econômico através da geração de economias de aglomeração que permitiram um uso mais produtivo dos recursos disponíveis.

Contudo, essa relação entre grandes cidades e crescimento econômico tem sido questionada nas últimas décadas, principalmente com as observações de países de baixo desenvolvimento econômico que tiveram expansão urbana acelerada e não geraram desenvolvimento econômico, o que alterou o entendimento da relação tamanho das cidades e produtividade (NATIONS, 2014). Nesse contexto, Frick e Rodríguez-Pose (2018) focaram na avaliação da relação entre estruturas urbanas mais concentradas como indutoras de crescimento em oposição ao efeito do crescimento do tamanho das cidades, e concluíram que não há relação direta entre o tamanho das cidades e o desenvolvimento econômico do país, pois essa relação é altamente dependente do contexto.

Ou seja, uma grande parcela de setores econômicos que se beneficiam de economias de aglomeração, uma infraestrutura urbana bem desenvolvida e um nível adequado de eficácia de governança permite que os países aproveitem os benefícios de aglomeração de cidades maiores. Por outro lado, uma cidade mais espalhada leva ao aumento dos aluguéis e ao aumento no tempo

de deslocamento, o que reduz a produtividade das pessoas (BUENO-SUÁREZ; COQ-HUELVA, 2020; FRICK; RODRÍGUEZ-POSE, 2018; LU; CHEN; WANG, 2019).

Bueno-Suárez e Coq-Huelva (2020) elencam os principais custos da expansão urbana para os Estados Unidos e Europa Ocidental, e explicam sobre os custos diretos e indiretos. O modelo de expansão urbana nesses países está baseado no conceito de subúrbios, que implicou não só na expansão física das cidades e no aumento da mobilidade das pessoas, mas também em novas formas de segregação e diferenciação socioespaciais. O subúrbio nesse estudo é onde a classe média de renda alta desloca-se para as franjas da cidade à busca de espaço confortável, ambientes saudáveis e qualidade de vida com o contato com a natureza (HARVEY, 1985).

Apesar do modelo de expansão urbana sob o conceito de subúrbio de alta renda não ter sido o modelo implementado em grande parte da América Latina, hoje em dia já é possível perceber, também, esse modelo de ocupação da terra nos arredores das cidades médias, através da implantação dos condomínios de alto padrão. Portanto, é relevante também conhecer essa realidade e a relação de custos econômicos provenientes dela.

As perdas de tempo nos deslocamentos e congestionamentos, associado aos custos com combustíveis, despesas com a substituição de automóveis periodicamente e os custos de manutenção geram impacto no orçamento doméstico, e mostram a intersecção entre impactos sociais e econômicos com a expansão urbana (BUENO-SUÁREZ; COQ-HUELVA, 2020; COQ-HUELVA; ASIÁN-CHAVES, 2019; ISMAEL, 2020).

A implantação de conjuntos habitacionais, tanto de baixa renda como de alto poder aquisitivo, tais como os condomínios horizontais fechados, em locais mais periféricos contribui para o surgimento de vazios urbanos nas cidades contemporâneas.

Os vazios urbanos são definidos como espaços desocupados no perímetro urbano, dotados de infraestrutura, equipamentos e serviços públicos, em geral, não construídos ou que não cumprem nenhuma função social. Os vazios urbanos se originam tanto de espaços grandes ou pequenos, sem construções e que não tiveram um uso definido, como de espaços com construções abandonadas, arruinadas que já tiveram uso e função (CARNEIRO; SILVA, 2020).

O processo de desindustrialização na segunda metade do século XX originou vários vazios urbanos. Além das propriedades industriais, normalmente de propriedade privada, também geraram vazios urbanos os edifícios públicos que anteriormente abrigavam instalações ferroviárias, como estações e armazéns; penitenciárias, mercados públicos municipais e matadouros em desuso, além de sedes e instalações de empresas públicas e instalações militares (CAMERIN, 2018).

A outra origem dos vazios urbanos são os espaços sem construções e sem uso definido, que surgem durante o processo de expansão urbana e retenção de terra especulativa. Os proprietários dessas glebas de terra, em geral aguardam investimentos públicos ou privados nos seus arredores para que haja uma valorização delas.

As áreas desocupadas dentro do espaço urbano promovem a busca por terras mais distantes do centro das cidades, pois esses terrenos tornam-se caros a partir do momento que são servidos de infraestrutura e mantêm uma proximidade com o centro e suas atividades econômicas, o que dificulta sua compra ou locação, e como consequência, os vazios urbanos impulsionam a expansão urbana, pois forçam a busca por terras mais baratas, distantes das áreas centrais e mais consolidadas, que em geral não possuem a infraestrutura necessária (LIMA; LOPES; FAÇANHA, 2017).

Contudo, na busca por novas terras para ocupação, os proprietários de terra e o poder público possuem papel de relevância. Serão esses atores que irão definir qual parcela da terra, hoje de uso rural, será ocupada, determinando o desenho e a continuidade da mancha urbana. Nesse processo a população é levada a ocupar áreas inadequadas ao desenvolvimento urbano, penalizando seus moradores e também aos contribuintes que terão que arcar com maiores investimentos para suprir essas áreas da infraestrutura mínima necessária (MARICATO, 2000).

Porém, a cidade comporta-se como uma obra em andamento, e com isso ela permite ações de constantes ajustes, mitigações e reconceituação dos espaços. Nesse sentido, os agentes públicos precisam agir para requalificar os vazios urbanos, quer seja através de políticas públicas de ocupação dos terrenos desocupados (BRASIL, 2001, 2015), ou por meio da reutilização de instalações abandonadas para outras funcionalidades (CAMERIN, 2018; ROGGEMA, 2018).

Enfrentar o problema dos vazios urbanos ganha cada vez mais relevância nos processos de planejamento urbano. Para tal são necessárias estratégias bem planejadas que vão desde a identificação e tipificação desses vazios (BHASKARAN, 2018; LEE; NEWMAN, 2019), até a apresentação de alternativas para a conservação, reutilização, reabilitação dos vazios urbanos. Tais alternativas buscam regenerar não somente o aspecto físicos do espaço, mas também aspectos históricos, da memória afetiva e das relações simbólicas da população com o espaço urbano (GARCÍA; ESMERALDA, 2017; SPERANDELLI; DUPAS; DIAS PONS, 2013; TORRES, 2016).

3.2 Regiões metropolitanas, RIDEs e conurbações urbanas

A tipologia das cidades, assim como os diferentes parâmetros e critérios estabelecidos para a definição de regiões metropolitanas têm evoluído significativamente no Brasil e no mundo, principalmente, a partir da década de 1960, quando as tendências de concentração populacional em áreas urbanas conglomeradas começaram a se alterar, primeiramente na porção ocidental norte do globo, e mais recentemente, na América Latina (BERTINELLI; STROBL, 2007; COHEN, 2004; FREY; SPEARE, 1992).

Destaca-se que, principalmente após a Constituição de 1988, que atribuiu um significativo aumento de autonomia dos governos locais pelo aumento de suas receitas, a ampliação do espaço político municipal passou a defrontar-se com temas cuja territorialidade ultrapassam os limites administrativos do município, como é o caso das questões ligadas à infraestrutura urbana de transporte, saneamento, energia, e gestão ambiental (ROLNIK; SOMEKH, 2002).

No caso das metrópoles ou das conurbações urbanas contíguas, a questão é ainda mais delicada, pois o aumento da autonomia local acaba concentrando as decisões e esforços apenas no centro econômico e de maior receita, negligenciando, assim, problemas e questões que precisam ser endereçados em outras escalas. Se o planejamento e a gestão da infraestrutura urbana é um problema claro enfrentado pelas políticas municipais de diferentes aglomerações, outros, de natureza do desenvolvimento econômico, precisam também ser considerados neste contexto, pois apresentam os mesmos limites de territorialidade (MARTINS; VAZ; CALDAS, 2010).

Segundo Lencioni (2006) pode-se relacionar as características de uma metrópole como sendo uma forma urbana de tamanho populacional e territorial expressivos, que possui várias atividades econômicas, destacando-se serviços de ordem superior, que atraem inovação, cria e recebe um grande fluxo de informações e comunicação e atua como um ponto de conexão em redes diversas como, transporte, de informação, comunicação, cultura, consumo e poder. As metrópoles podem ser originadas da unificação de mancha urbana de duas ou mais cidades, processo denominado de conurbação urbana. Essa unificação acontece como consequência do espraiamento das regiões urbanas dessas cidades. Contudo, o surgimento de uma região metropolitana não é necessariamente vinculado ao processo de conurbação.

De modo geral, as diversas definições de regiões metropolitanas levam em consideração fatores como limites administrativos, concentração populacional, atividades econômicas e de provisão de serviços, ou de mercados de trabalho, sendo que todas elas partem da identificação

de uma área central articulada por uma região periférica (GROSTEIN, 2001; OECD, 2006). Ou seja, pelo menos dois critérios são relevantes nestas definições: densidade populacional elevada e alta mobilidade espacial entre a área central e seu entorno. Neste contexto, as Regiões Integradas de Desenvolvimento (RIDEs) diferem-se das regiões metropolitanas apenas pelo fato de serem constituídas pela União, uma vez que englobam municípios de mais de um estado da federação. A criação das RIDEs é instituída através do art. 43 da Constituição Federal (1988), que cria as regiões de desenvolvimento em municípios de diferentes estados, mas integrantes de mesmo complexo social e geoeconômico. Atualmente existem 3 RIDEs no Brasil, RIDE Distrito Federal e Entorno (Lei Complementar Nº 94, de 19/02/1998 e Decreto Nº 2.710, de 04/08/1999), RIDE Grande Teresina (Lei Complementar 11, de 19/09/2001 e Decreto 4.367, de 09/09/2001) e RIDE Polo Petrolina e Juazeiro (Lei Complementar Nº 113, de 19/09/2001 e Decreto Nº 4.366, de 9/09/2002).

A partir da década de 1970 observou-se a multiplicação de regiões metropolitanas pelo país, período em que o Governo Federal criou nove regiões metropolitanas, e teve como marcos a Constituição Federal de 1967, os Planos Nacionais de Desenvolvimento (PND), a Lei Complementar No 14/1973, que criou as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza e a Lei Complementar No 20/1974 que criou a região metropolitana do Rio de Janeiro.

Há indícios de que essa multiplicação de regiões metropolitanas aconteceu de forma meramente legal, pois nas regiões criadas inexisteriam relações de interdependência, ou conurbação, ou outros critérios que definem uma região metropolitana. A motivação para a criação dessas regiões metropolitanas pode ter sido para facilitar o acesso a recursos públicos federais, pois a lei de criação previa que os municípios partícipes das regiões metropolitanas e integrantes do planejamento integrado e dos serviços comuns teriam preferência na obtenção dos recursos federais e estaduais, inclusive sob a forma de financiamento e de garantias para empréstimos (SANTOS, 2018).

Nos anos 1990 foram criadas 13 regiões metropolitanas entre 1995 e 2000, período em que se intensificaram as migrações intrarregionais, diminuindo a migração em direção à região Sudeste, motivada pela desconcentração industrial a partir do Sudeste (AZEVEDO; ALVES, 2010), a partir desse fato as taxas de crescimento populacional passaram de 3,8%, na década de 1970, para 2,0% na década seguinte (FREITAS, 2012; IBGE, 2015; MARICATO, 2000). Dessa forma, o padrão de urbanização brasileiro, até a década de 1990, caracterizou-se pela expansão da mancha urbana das grandes metrópoles, pela transformação e modernização de seus espaços

intraurbanos, e pela difusão do modelo periférico de concentração populacional de famílias de baixa renda em conjuntos habitacionais populares distantes, e com baixa infraestrutura urbana.

A partir de 1990, o padrão periférico se manteve, contudo, as tendências de urbanização se alteraram, com declínio das taxas de crescimento das áreas metropolitanas existentes e aumento das taxas de crescimento das cidades médias, acompanhados de crescente dispersão espacial da população pelo território nacional, com predomínio de migrações intrarregionais e intraestaduais (LIMA, 1998; LIMOEIRO, 2015).

Este processo de urbanização conduziu à formação atual de 26 regiões metropolitanas, RIDEs e aglomerações urbanas com população superior a 1 milhão de habitantes, que somavam 93,2 milhões de habitantes, ou seja, 45,6% da população total brasileira em 2014 (IBGE, 2015). Aglomerações urbanas são unidades territoriais urbanas compostas de 2 ou mais municípios limítrofes, caracterizada por complementaridade funcional e integração das dinâmicas geográficas, ambientais, políticas e socioeconômicas (BRASIL, 2015).

Esses complexos metropolitanos compreendem, em geral, municípios com funções complementares, gestão independente, e capacidade financeira desigual (FREITAS, 2012; GROSTEIN, 2001). Assim, percebe-se que a quase maioria da população brasileira reside em grandes aglomerados de caráter metropolitano, com problemas urbanos que extrapolam os limites político-administrativos dos municípios ao equacionarem-se numa escala regional que leva em consideração uma rede integrada de cidades.

Nessa configuração, em que os problemas urbanos ultrapassam os limites municipais e, portanto, carecem de diretrizes que normatizem as relações intermunicipais, o Estatuto da MetrÓpole (BRASIL, 2015) tem como objetivo estimular e viabilizar ações integradas entre a união, os estados e municípios por meio de instrumentos que promovam o planejamento urbano em territórios de aglomerações urbanas e regiões metropolitanas.

Instituído através da lei 13.089, de 12 de janeiro de 2015, o Estatuto da MetrÓpole passa a ter função complementar ao Estatuto da Cidade, principalmente a respeito dos centros urbanos de maior dimensão. O Estatuto da Cidade regulamenta o tema do direito urbanístico, legislações reguladoras destinadas a ordenar os espaços habitáveis, de forma geral no conjunto das áreas urbanas de milhares municípios brasileiros, enquanto o Estatuto da MetrÓpole é destinado às unidades territoriais em maior escala atingidas pelo processo de metropolização pelo qual passam algumas cidades brasileiras.

Uma novidade apresentada pelo Estatuto da MetrÓpole é a definição de Funções Públicas de Interesse Comum – FPIC, que vem confirmar a essência das regiões metropolitanas e aglomerados urbanos. As FPICs são políticas públicas, ou ações nela inseridas, em que não

haja viabilidade de serem realizadas por um único município, ou que causem impactos a municípios limítrofes. Com isso, as Leis Complementares para criação de regiões metropolitanas e aglomerados urbanos, deverão prever, além dos municípios integrantes, que as FPICs sejam organizadas, planejadas, executadas; integradas, isto é, harmonizadas e em regime de cooperação entre os entes federados; e estar em espaços territoriais constituídos por municípios limítrofes. Portanto, as FPICs justificam a criação das unidades territoriais, a estrutura de governança inter-federativa e os meios de controle social da organização, do planejamento e da execução das FPICs. Como exemplos de FPICs destacamos o saneamento básico, notadamente abastecimento de água e rede de esgotos e serviço de limpeza pública; transportes e sistema viário; produção e distribuição de gás combustível canalizado; e aproveitamento dos recursos hídricos e controle da poluição ambiental (BRASIL, 2015).

A criação de regiões metropolitanas, na visão de Melchior e Campos (2016) tinha o “o objetivo de se pensar soluções aos problemas urbanos que extrapolavam a esfera dos municípios, sendo partilhados por cidades integrantes de uma aglomeração”.

Segundo informações do IBGE¹, em 2020, no Brasil, existiam 74 regiões metropolitanas (RM), sendo que na Paraíba são 12, o que o configura como o estado com maior número delas. Enquanto, tem-se o número de 17 de regiões integradas de desenvolvimento e aglomerações urbanas (RIDEs), que são definidas pelos governos estaduais e pela União.

Em relação à criação das RIDEs, Azevedo e Alves (2010) destacam três momentos históricos. O primeiro deles teve início com a formação das regiões metropolitanas, ocorrida nos anos de 1970, período do governo militar, quando foram criadas nove regiões metropolitanas, pelo Governo militar. Os marcos regulatórios foram a Constituição Federal de 1967 e os Planos Nacionais de Desenvolvimento (PNDs). Já o segundo período está relacionado aos movimentos de democratização e descentralização e pela Constituição Federal de 1988, tendo sido criadas 13 novas regiões metropolitanas, como também a RIDE do Distrito Federal e Entorno, em 1998 e as RIDEs do Polo Petrolina-Juazeiro e RIDE Grande Teresina, em 2001. Com o Governo Lula, teve início o terceiro período, que segundo Azevedo e Alves (2010, p. 89), foi

apoiado nos mesmos preceitos constitucionais, acrescidos da Emenda Constitucional nº19 de 1998, a favor da gestão associada e dos consórcios públicos. A instalação do Ministério das Cidades em 2003, juntamente com a retomada do planejamento regional pelo Ministério da Integração Nacional, conjugados a esforços de repactuação federativa empreendidos pela Presidência da República, inauguraram um novo paradigma. O Governo Federal torna os municípios metropolitanos elegíveis em

¹<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/29465-ibge-atualiza-a-lista-dos-municipios-que-integram-os-recortes-territoriais-brasileiros2>

processos de seleção de alguns programas, sem, entretanto, destinar recursos ou empreender um programa para incentivo e apoio aos estados.

Esses complexos metropolitanos compreendem, em geral, municípios com funções complementares, gestão independente, e capacidade financeira desigual (FREITAS, 2012; GROSTEIN, 2001). Assim, percebe-se que a quase maioria da população brasileira reside em grandes aglomerados de caráter metropolitano, com problemas urbanos que extrapolam os limites político-administrativos dos municípios ao equacionarem-se numa escala regional que leva em consideração uma rede integrada de cidades.

4 CIDADES CONURBADAS: ALGUMAS CARACTERÍSTICAS E A RELAÇÃO EXISTENTE ENTRE TERESINA (PI) E TIMON (MA)

No Piauí, estado da região Nordeste do Brasil, tem-se a Região Integrada de Desenvolvimento Econômico da Grande Teresina (RIDE Grande Teresina), criada pelo Decreto Nº 4.367, de 9 de setembro de 2002 (BRASIL, 2002). É um importante marco legal de definição da aglomeração urbana de caráter supra estadual, localizada na região de abrangência de municípios de Teresina, capital do Piauí, e Timon, no Maranhão.

A RIDE Grande Teresina é formada pelos municípios de Altos, Beneditinos, Coivaras, Currálinhos, Demerval Lobão, José de Freitas, Lagoa Alegre, Lagoa do Piauí, Miguel Leão, Monsenhor Gil, Nazária, Pau D'arco do Piauí, Teresina e União no estado do Piauí; e o município de Timon no estado do Maranhão.

A RIDE é centrada em ponto estratégico, entre os Rios Parnaíba e Poti, a 05°05' de latitude sul e 42°48' de longitude oeste, com todos os 14 municípios do Piauí pertencentes a mesorregião Centro-Norte Piauiense, e Timon, no Maranhão, pertencente a mesorregião Leste Maranhense. Os municípios apresentam clima tropical com dois períodos distintos: um quente e úmido, entre os meses de janeiro a julho; e outro quente e seco, entre os meses de agosto a dezembro. A temperatura média é de 29° C com uma variação de pouco menos de 10° C entre o dia e a noite.

Estes municípios ocupam uma área de 10.919 km², na qual viviam 1.194.911 habitantes em 2015 (IBGE, 2015). A vegetação da região apresenta exemplares de Caatinga, Mata de Cocais e Cerrado, encontrando-se com frequência palmeiras de babaçuais e carnaubais (BARTHOLOMÉ; BELWARD, 2005).

Como importante cidade do Nordeste brasileiro, Teresina tem, desta forma, apresentado elevadas taxas de urbanização nas últimas décadas, com grande incremento econômico e populacional, além de ter se tornado centro político-administrativo do estado e polo econômico da região. A partir da década de 1970, a expansão urbana de Teresina foi motivada por importantes investimentos em infraestrutura e habitação, o que resultou na migração maciça de pessoas atraídas por melhores condições de vida na cidade (SILVA; LOPES; MONTEIRO, 2015; CHAVES; LOPES, 2011; CRUZ; ESPÍNDOLA; CARNEIRO, 2016; FAÇANHA; VIANA, 2012).

Este processo de crescente urbanização atingiu também seus municípios vizinhos, em parte devido à proximidade espacial e à dinâmica urbana, dominada pelos fluxos e deslocamentos diários de pessoas e de mercadorias. Contudo, desde a sua instituição, a RIDE

Grande Teresina tem apresentado baixa capacidade de articulação político-institucional, principalmente nos temas relativos à mobilidade urbana, habitação, saneamento básico, drenagem urbana e meio ambiente.

Muitas vezes, o crescimento acelerado das cidades tem se confundido com desenvolvimento, sendo que, no entanto, muitos dos benefícios do crescimento são em verdade minimizados pelo oneroso agravamento dos problemas urbanos, causados pelo crescimento desordenado e excessivamente concentrado; pela demanda não atendida de recursos, serviços, e de estrutura física e administrativa; pelos impactos ao meio ambiente; e pela ineficácia de seu planejamento e gestão.

Também nos municípios da RIDE Grande Teresina, a problemática urbana está vinculada à crescente variabilidade de demandas, resultantes dos processos de urbanização e da espacialidade territorial que esta urbanização assume. No entanto, a melhoria da qualidade dos espaços urbanos e periurbanos desta aglomeração não está necessariamente relacionada à redução da pressão populacional ou da demanda por serviços, espaços e infraestrutura em curto ou médio prazo. Os fatores a serem ajustados, e que podem apresentar resultados mais rápidos e menos dispendiosos, são o planejamento eficiente e a gestão destes espaços a partir de políticas urbanas integradas e participativas.

No entanto, mesmo com suas fragilidades, Teresina, por ser a capital do estado do Piauí, exerce forte função polarizadora e de integração regional. Historicamente, o desenvolvimento urbano da região foi fortemente influenciado pela baixa inserção destes municípios na economia nacional e pelo seu fraco dinamismo econômico. Segundo Silva (2020, p. 72), “a maior parte das trocas de mercadorias se concretiza nos centros urbanos. Neles, concentram-se as instituições financeiras, os órgãos do Estado, as lojas comerciais, os estabelecimentos de serviços, pessoas e informações”.

Das cidades que compõem a RIDE Grande Teresina destaca-se a proximidade existente entre Teresina, capital do Piauí e Timon, cidade do Maranhão, separadas pelo rio Parnaíba, mas integradas por meio de diversas atividades, configurando-se como cidades conurbadas. Segundo Santos e Peixinho (2015, p. 40), o conceito de conurbação está relacionado à “unificação de áreas urbanas de diferentes unidades político-administrativas, formando uma mancha urbana contínua”.

Ressalta-se que a concentração de funções administrativas em Teresina faz com que a capital exerça função de atração de população em busca de emprego e serviços, atraindo principalmente a população de Timon, no vizinho estado do Maranhão. Observa-se, então, que a região formada por estas duas cidades, é caracterizada pela conurbação existente entre a

cidade de Teresina, que engloba 70% da população da RIDE, e a cidade de Timon (IBGE, 2013).

Alguns estudos têm sido desenvolvidos sobre cidades conurbadas, abordando aspectos diversos, como por exemplo, Laredo nos EUA e Novo Laredo no México (ZHAO; JENSEN; ZHAN, 2017), Petrolina e Juazeiro (GURGEL, 2017), Cuiabá e Várzea Grande (SILVA, 2020) e, ainda, as cidades de Florianópolis, Biguaçu, São José e Palhoça, Santa Catarina (SOUZA; SUGAI, 2018).

Também, é importante destacar as cidades de Petrolina e Juazeiro, que segundo Gurgel (2017, p. 847), “apesar da barreira física do Rio São Francisco, são ligadas por uma ponte, de modo que a fronteira político-administrativa interestadual não é um empecilho para que as cidades desenvolvam suas relações comerciais e se complementem nas funções urbanas”, situação que se assemelha a conurbação Teresina-Timon.

4.1 As cidades de Teresina (PI) e Timon (MA)

A Conurbação Teresina-Timon (CTT) teve início ao mesmo tempo em que surgiam as cidades de Teresina-PI e Timon-MA. O povoado de São José do Parnaíba, que deu origem à cidade de Timon nasceu à margem esquerda do rio Parnaíba. Segundo Santos (2007), os moradores do povoado São José do Parnaíba possuíam pequenas lavouras, que em conjunto com a prática da pesca mantinham suas subsistências, além de trabalharem em fazendas de gado, com produção de leite e carne para consumo interno, e engenhos da região, que produziam rapadura e aguardente.

A cidade de Teresina, a segunda cidade planejada do Brasil, foi construída para abrigar a capital da Província do Piauí, em substituição a Oeiras, e inaugurada em 1852. O local escolhido por Conselheiro Saraiva, denominado de Chapada do Corisco, fica à margem direita do rio Parnaíba, próximo à Vila do Poti, vila de pescadores que era situada na confluência dos rios Poti e Parnaíba no Piauí, hoje bairro Poty Velho, e ao povoado de São José do Parnaíba na província do Maranhão (CHAVES, 2013).

Após a instalação da capital da Província do Piauí em Teresina foi construído um porto à margem esquerda do rio Parnaíba próximo ao povoado São José do Parnaíba denominado Porto Cajazeiras. Esse porto impulsionou o transporte fluvial de pessoas e mercadorias entre o povoado São José do Parnaíba e a capital Teresina, assim como tornou-se o principal ponto de comunicação entre as Províncias do Maranhão e do Piauí (SANTOS, 2007). Percebe-se que desde o início da cidade de Teresina há uma relação de troca muito intensa entre os dois

municípios, principalmente por suas características fronteiriças, e uma influência muito grande da parte de Teresina sobre Timon, por sua condição de capital, portanto mais desenvolvida econômica e politicamente.

Separadas apenas pelo rio Parnaíba, as duas cidades tornam-se uma conurbação por apresentarem dinâmicas específicas e interações a partir de variadas motivações, como busca de trabalho, educação, saúde, lazer, habitação, que resultam em movimentos pendulares diários. Hoje existem três pontes interligando as cidades de Timon e Teresina, permitindo um fluxo maior de pessoas e mercadorias entre as cidades.

Na Tabela 4-1 apresenta-se o crescimento populacional das cidades de Timon e de Teresina, para os anos de 2000 e 2010, e estimativa para 202, segundo o IBGE.

Tabela 4-1 - População urbana e rural em 2000 e 2010 de Teresina e Timon

CIDADES	2000			TAXA URB	TAXA CRESC	2010			TAXA URB	TAXA CRESC	ÁREA (km ²)
	TOTAL	URB	RUR			TOTAL	URB	RUR			
TIMON	129.692	113.066	16 626	87,18%	20,71%	155.396	135.119	20.277	86,95%	19,82%	1 713,00
TERESINA	715.360	677.470	37 890	94,70%	19,37%	814.230	767.557	46.673	94,27%	13,82%	1 391,98

Fonte: IBGE (2013) elaborada pelo autor

É possível observar que as duas cidades tiveram diminuição nas suas taxas de crescimento populacional para o período de 2000 a 2010. Enquanto a taxa de crescimento populacional em Teresina reduziu de 19,37%, em 2000, para 13,82%, em 2010, ou seja, redução de 5,55 pontos percentuais, no mesmo período Timon apresentou decréscimo de 0,89 pontos percentuais, reduzindo de 20,71%, em 2000, para 19,82% em 2010.

Para 2020, a população estimada para Teresina foi de 868.075 pessoas, enquanto para Timon foi de 170.222 pessoas, para o mesmo período (IBGE, 2020a, 2020b). Com isso temos taxas de crescimento populacional estimadas para o período de 2010 a 2020 em 9,54% para Timon e 6,61% para Teresina. Esses valores seguem a tendência de decréscimo das taxas de crescimento populacional para as duas cidades, sendo que a estimativa de decréscimo para Teresina é de 7,2 pontos percentuais, enquanto em Timon a previsão é de diminuição em 10,28 pontos percentuais para os últimos 10 anos.

Estes dados demonstram uma tendência de diminuição acentuada nas taxas de crescimento populacional para toda a CTT nas últimas três décadas, reforçando a similaridade na dinâmica populacional entre as duas cidades.

4.2 Integração entre Teresina e Timon

É possível observar a existência do movimento de pessoas entre as cidades de Teresina e Timon, atraídas por atividades de trabalho, educação, saúde e moradia, configurando-se um movimento pendular. Segundo (2019, p.10), o movimento pendular “é caracterizado como o fluxo dos que deixam o local de moradia em busca de trabalho e/ou estudo em outro município, retornando à origem após cumprida a jornada proposta, geralmente em deslocamentos diários”.

Na visão de Jardim (2011, p. 59), “o deslocamento para trabalhar e/ou estudar apareceu, pela primeira vez, no Censo Demográfico 1970, com objetivo de estudar a expansão das metrópoles relacionadas com a mudança de lugar intrametropolitano”. O autor afirma, ainda, a necessidade de outros estudos, que abordem, também, questões como, “distância, duração, frequência, retenção, situação político-administrativa, redes sociais e urbana, condições e formas de deslocamento e motivações para as pessoas mudarem-se de lugar” (JARDIM, 2011, p.59).

Neste sentido, Ântico (2005, p.110) afirma que os deslocamentos pendulares, “caracterizados como um tipo de mobilidade populacional intraurbana, mais intensos em áreas de maior concentração da população, tornaram-se um importante aspecto a ser considerado na dinâmica urbana metropolitana”.

Em relação aos deslocamentos pendulares, existentes entre as cidades de Teresina e Timon, pode-se citar, por exemplo, o número de alunos e funcionários das duas maiores instituições de ensino público em nível superior e técnico, a Universidade Federal do Piauí e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, que trabalham nas unidades em Teresina e que moram em Timon (Tabela 4-2).

Tabela 4-2 - Servidores e Discentes das unidades em Teresina da UFPI e IFPI que residem em Timon-MA.

	IFPI		UFPI	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Nº Servidores Total	773		2104	
Nº Servidores Residentes em Timon	32	4,14%	40	1,90%
Nº Discentes Total	5265		36147	
Nº Discentes Residentes em Timon	410	7,79%	1077	2,98%

Fonte: Dados extraídos dos sistemas acadêmicos das instituições. Elaborada pelo autor

Todo o movimento pendular dentro da CTT se dá através das três pontes que unem as cidades de Teresina e Timon, mas também conta com serviços de pequenos barcos que fazem o transporte de pessoas e mercadorias entre os dois municípios através do rio Parnaíba. A mobilidade urbana entre as cidades será impulsionada com a recente criação do consórcio intermunicipal de mobilidade urbana, uma iniciativa pioneira no Brasil, pois atualmente o

transporte de passageiros entre as cidades se dá por meio de duas empresas de transporte público urbano, uma com sede em Teresina e outra em Timon.

Teresina é conhecida por seu polo de saúde que atrai pacientes de vários municípios do meio norte do Brasil, inclusive de Timon. Além disso, a movimentação de pessoas à busca de lazer é intensa entre as cidades, com Teresina recebendo grande número de timonenses que buscam shows artísticos, compras, gastronomia e parques, enquanto Timon recebe teresinenses em especial por seus mais de 40 balneários às margens de riachos naturais.

Porém, Timon inicia um período de grandes investimentos imobiliários e comerciais com a implantação de condomínios residenciais horizontais, shopping e a instalação do Parque Empresarial de Timon, ações que devem impulsionar mais ainda o trânsito de pessoas, mercadorias e serviços entre as duas cidades.

5 MAPEAMENTO DE TERRITÓRIOS URBANOS BASEADO EM SÉRIES TEMPORAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA PLATAFORMA DO GOOGLE EARTH: ESTUDO DE CASO DA ÁREA DA CONURBAÇÃO TERESINA-TIMON NO BRASIL²

Eduilson Lívio Neves da Costa Carneiro³
Wilza Gomes Reis Lopes⁴
Giovana Mira de Espindola⁵

Resumo

A área da conurbação de Teresina-Timon (CTT) é um exemplo de aglomeração urbana, situada em região de clima tropical de um estado inserido no ambiente semiárido da região nordeste do Brasil, vem mostrando um acelerado processo de desenvolvimento urbano ao longo das últimas quatro décadas (1985–2019). Este estudo desenvolveu um mapeamento semiautomático do quadro de território urbano usando a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) para (a) avaliar o crescimento espaço-temporal da área da CTT (1985–2018), e (b) quantificar as estruturas do atual tecido urbano na área da CTT (2019). Os principais resultados empíricos demonstram que o uso do conjunto de dados históricos *Landsat* é uma opção cabível para gerar mapas de território urbano consistentes ao longo dos anos. Teresina e Timon expandiram, respectivamente, de 70,34 km² e 12,20 km² em 1985 a 159,02 km² e 30,68 km² em 2018, com taxas médias de aumento anual de 3,05% e 3,69%, demonstrando uma tendência subjacente de crescimento contínuo e magnitude similar àquela de cidades asiáticas. Os resultados do mapeamento das estruturas do tecido urbano (TU) demonstram uma grande complexidade das superfícies urbanizadas, caracterizada por formas irregulares da cobertura urbana. Em 2019, a área metropolitana da CTT foi coberta por classes de uso do território urbano tais como telhados de cerâmica, outros tipos de telhado e superfície impermeável, nas proporções de 28,02%, 11,97% e 5,67%, respectivamente.

Palavras-chave: monitoramento; Landsat; Sentinel-2; *Random forest*; índices espectrais; ambientes semiáridos.

² Artigo publicado na revista *Remote Sensing*, classificação A1 em Ciências Ambientais, Fator de Impacto 4,848; recomenda-se a leitura da versão original em inglês (<https://www.mdpi.com/1055502>).

³ Tecnólogo em Processamento de Dados, doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFPI (eduilson@ifpi.edu.br).

⁴ Arquiteta, professora do Departamento de Construção Civil e Arquitetura e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFPI (wilza@ufpi.edu.br).

⁵ Engenheira Cartógrafa, professora do Departamento de Transporte e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFPI (giovanamira@ufpi.edu.br).

Abstract

Teresina-Timon conurbation (TTC) area is an example of urban agglomeration, situated in the semiarid environment of the northeast region of Brazil, which has shown an accelerated process of urban development over the last four decades (1985–2019). In this study, we developed a semiautomatic urban land mapping framework at the Google Earth Engine (GEE) platform to (a) evaluate spatiotemporal sprawl of the TTC area (1985–2018); and (b) quantify current urban fabric structures of TTC area (2019). The main empirical results demonstrate that the use of the Landsat historical dataset is a suitable option for generating consistent urban land maps across the years in semiarid environments. Teresina and Timon expanded, respectively, from 70.34 km² and 12.20 km² in 1985 to 159.02 km² and 30.68 km² in 2018, increasing annually at 3.05% and 3.69% averaged rate, showing an underlying tendency of continuous growth, and magnitude like Asian cities. The results of the urban fabric (UF) structures mapping demonstrate a high complexity of the urbanized surfaces, characterized by irregular shapes and variability of urban coverage. In 2019, the TTC metropolitan area was covered by urban land use classes as ceramic roofs, other types of roofs, and impervious surface, in the proportions of 28.02%, 11.97%, and 5.67%, respectively.

Keywords: monitoring; Landsat; Sentinel-2; random forest; spectral indexes; semiarid environments.

5.1 Introdução

O processo de urbanização vem transformando os ecossistemas de maneira permanente, gerando enormes quantidades de emissões de dióxido de carbono (CO₂), degradação da terra, poluição do ar, desigualdades sociais e prejuízo da saúde humana. Os processos de desmatamento e desflorestamento da vegetação nativa em assentamentos urbanos vem acelerando os mecanismos de perda de rede de carbono na cobertura vegetal, além de causar distúrbio na biodiversidade e rarefação do solo (FRIIS; NIELSEN, 2019; IOPPOLO *et al.*, 2019; MOROKE; SCHOEMAN; SCHOEMAN, 2019; ROVAI *et al.*, 2020). Em 2018, a Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES) identificou a expansão urbana dentre os mais significativos indutores de mudanças no uso da terra (OBERMEISTER, 2019), contribuindo para a perda de serviços ecossistêmicos e o declínio na subsistência baseada em florestas em áreas periurbanas. Juntamente ao crescimento populacional, o rápido processo de expansão urbana (EU) é apontado mundialmente como um desafio crucial ao bem-estar humano na Terra.

Entre 2000 e 2014, as áreas urbanas se expandiram globalmente mais rapidamente que a população mundial, resultando em uma queda nas densidades populacionais em cidades, o que implicou mais uma ameaça à sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, a Meta de Desenvolvimento Sustentável (MDS) associada a cidades prevê que, a fim de garantir uma urbanização sustentável, é necessário que melhoremos nosso entendimento acerca do gerenciamento da expansão urbana (ACUTO; PARNELL; SETO, 2018; RIVERA, 2013). Além

disso, a Nova agenda urbana das Nações Unidas (*United Nations New Urban Agenda* (UN-Habitat)) determinou a necessidade de otimizar a dimensão espacial da forma e extensão urbanas, priorizando a renovação urbana (CAPROTTI *et al.*, 2017). Por outro lado, a discussão em relação ao desenho urbano ideal, suas densidades populacionais sustentáveis e a integração de áreas por meio de infraestrutura e serviços bem conectados vem crescendo globalmente. Entretanto, as realidades são contrastantes entre os hemisférios norte e sul (SETO *et al.*, 2012).

Um oportuno e preciso controle das extensões urbanas é crítico para a elaboração de estratégias efetivas de planejamento público que priorizem a regeneração e readaptação das manchas urbanas. É necessário que se desenvolvam estruturas de trabalho que monitorem efetivamente o território urbano ao longo do tempo, levando em consideração suas características intraurbanas (DOBBS *et al.*, 2019). Na América Latina (AL), mais precisamente na maior parte das cidades brasileiras, a dificuldade de gerenciamento, manutenção e atualização de amplos conjuntos de dados de informações espaço-temporais resulta parcialmente da escassez de mapeamentos sistemáticos do território urbano (SEFAIR *et al.*, 2019). Entretanto, recentes avanços em plataformas de computação em nuvem, tais como o mecanismo *Google Earth Engine* (GEE), oferecem uma gama completa de observações territoriais de sensoriamento remoto acessada de maneira gratuita e semiautomatizada.

Diversos estudos têm demonstrado a robustez das séries temporais *Landsat* no monitoramento da expansão urbana (ALMAZROUI *et al.*, 2017; ESPINDOLA; CARNEIRO; FAÇANHA, 2017; SAINI; TIWARI, 2019). As características da família *Landsat*, as resoluções espaciais moderadas (30 m), a cobertura de repetição de 16 dias, os mecanismos de aquisição similares (resolução espectral, tamanho dos cenários) e o acesso gratuito a dados históricos desde 1985 são fatores que fazem desses satélites um conjunto de dados acessível para o mapeamento de território urbano (LI; GONG; LIANG, 2015; LU; COOPS; HERMOSILLA, 2017; SONG *et al.*, 2016). Além disso, a partir de 2015, os satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B se tornam mais uma opção acessível para o mapeamento de estruturas intraurbanas. Satélites Sentinel-2, com quatro bandas espectrais com resolução espacial de 10m e seis bandas com 20m, aumentaram nossa habilidade de mapear o tecido urbano (TU), por exemplo, ao podermos identificar a presença de vegetação ou áreas verdes, a densidade de prédios ou residências com tipos diferentes de telhados e redes de transporte (EL MENDILI *et al.*, 2020; IANNELLI; GAMBA, 2018; PESARESI *et al.*, 2016). Nesse sentido, monitorar a complexidade do tecido urbano em cidades de porte médio, especificamente no nordeste do Brasil, é ainda mais desafiador e relevante no âmbito do desenvolvimento de planejamento público.

Para obterem informação sobre a expansão urbana e estruturas intraurbanas, a maioria dos estudos urbanos recentes têm se utilizado de uma combinação de múltiplos conjuntos de dados de sensoriamento remoto e algoritmos de classificação, uma vez que tal combinação foi descrita como mais precisa que a abordagem tradicional, que considera o uso de um único classificador de imagens com uma amostra de treinamento relativamente pequena (BHAT *et al.*, 2017; PAL, 2005). Modelos preditivos, tais como o *random forest* (RF) (floresta aleatória), foram usados para gerar um esquema de decisão ideal para classificar os conjuntos de dados Landsat ou Sentinel-2 em diferentes aplicações ao redor do mundo (EL MENDILI *et al.*, 2020; HE *et al.*, 2019; IANNELLI; GAMBIA, 2018; LI; GONG; LIANG, 2015; PESARESI *et al.*, 2016; TELUGUNTLA *et al.*, 2018).

Nesse sentido, apesar de haverem surgido estudos modernos acerca da dinâmica espaço-temporal de área metropolitanas no Brasil, ainda há uma escassez de conhecimento sobre a produção de mapeamento de território urbano para cidades de médio porte, sendo que a maioria as descreve no enfrentamento de um acelerado processo de desenvolvimento urbano ao longo das últimas décadas. O Brasil é um país vasto e possui uma ampla variedade de características socioeconômicas e geográficas distribuídas em seus biomas. O processo de urbanização por todo o país tem mais comumente seguido um típico padrão centro-periférico caracterizado por uma área urbana central bem desenvolvida e uma periferia menos desenvolvida (CASTRIOTA; TONUCCI, 2018; CHAUVIN *et al.*, 2017).

Neste estudo, desenvolveu-se um mapeamento semiautomático de território urbano usando a plataforma *Google Earth Engine* para mapeamento da área de conurbação Teresina-Timon empregando o algoritmo “*random forest*”. São objetivos desse estudo: (a) avaliar sistematicamente a dinâmica espacial de expansão urbana ao longo das últimas quatro décadas (1985–2018) com base no conjunto de dados históricos Landsat e (b) quantificar as estruturas de tecido urbano em 2019 usando o conjunto de dados Sentinel-2. Com esse esforço, pretende-se criar mapas da expansão de um território urbano e características intraurbanas atualizados para futuras explorações acerca dos principais indutores da dinâmica urbana, como o aumento da população, a transformação dos aspectos socioeconômicos, condições de saúde e atributos ecológicos, considerados em uma perspectiva geográfica. Todos os mapas e métodos resultantes estão disponíveis gratuitamente.

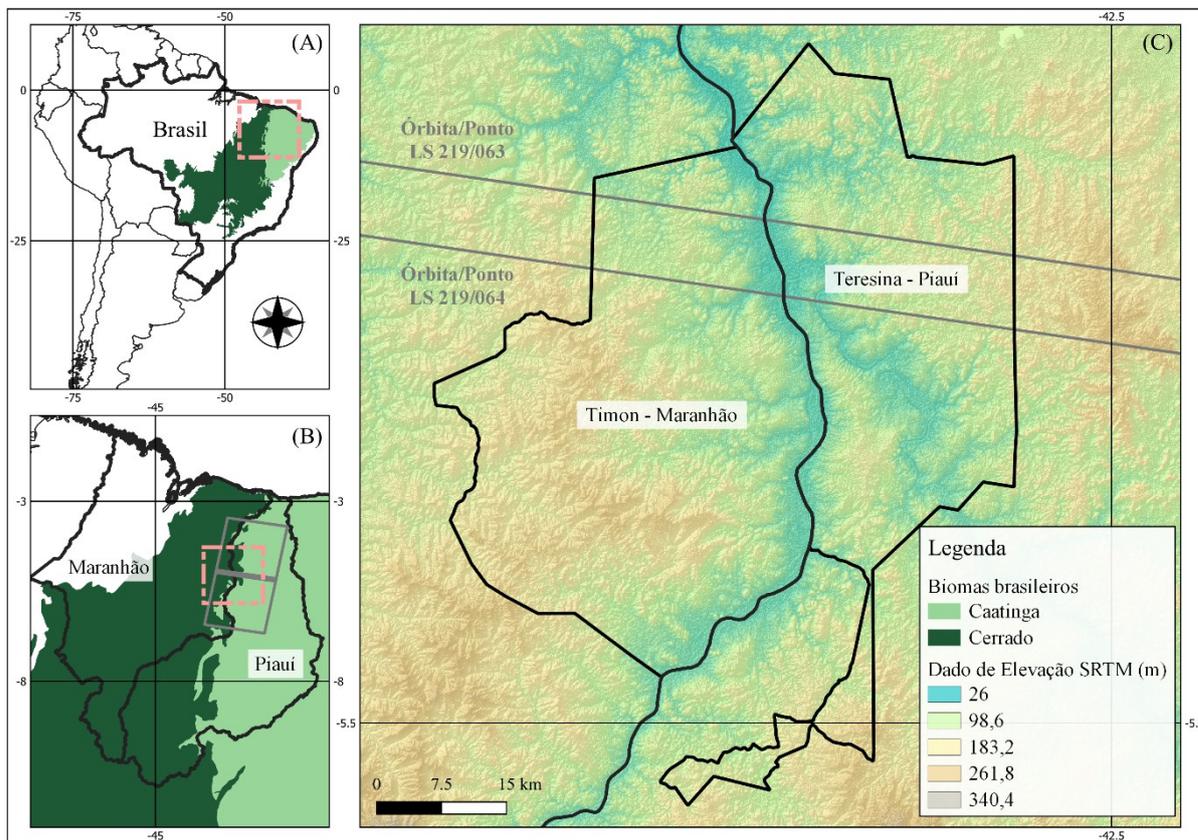
5.2 Materiais e métodos

5.2.1 Área de estudo

As duas cidades adjacentes de Teresina, no estado brasileiro do Piauí (PI), e Timon, no Maranhão (MA), vêm crescendo em uma taxa acelerada ao longo das últimas décadas. A área da conurbação de Teresina-Timon (CTT) é uma das três Regiões Integradas de Desenvolvimento Econômico (RIDE), composta por mais de um município oriundo de diferentes unidades federativas. As RIDEs brasileiras são similares às áreas metropolitanas, contudo, as cidades individuais pertencentes às RIDEs se encontram sob organizações político-institucionais distintas. Teresina e Timon são conectadas por três pontes ao longo de 300m de fronteiras d'água do Rio Parnaíba. Essas cidades compartilham diariamente fluxos de mercadorias, capital e habitantes, bem como suas dinâmicas urbanas ao longo dos anos a partir de um sistema interdependente.

A conurbação urbana de CTT está localizada em região de clima tropical correspondente ao tipo Aw, segundo classificação de Köppen, e situada em zona ecótona, no nordeste brasileiro, entre os biomas do Cerrado e da Caatinga (Figura 5-1). Essa zona ecótona abrange uma cobertura vegetal caracterizada por uma mistura de florestas semiúmidas e savanas, majoritariamente degradadas por mosaicos de agricultura ou pasto. A área de conurbação Teresina-Timon tem um clima tropical, mas se relaciona com regiões em um contexto de área semiárida com secas recorrentes, o que historicamente tem motivado grandes ondas de migração rural-urbana (ESPINDOLA; CARNEIRO; FAÇANHA, 2017; NOGUEIRA; ESPÍNDOLA; CARNEIRO, 2016). A população total estimada em 2019 era de um milhão de habitantes, com densidades populacionais médias variando entre 89,18 pessoas por km² no município de Timon e 584,94 pessoas por km² em Teresina (Tabela 5-1). Em termos de população total, Timon é maior que a segunda cidade mais populosa no estado do Piauí, depois de Teresina. A maior parte da população urbana de ambas as cidades se encontra concentrada em seu tecido contínuo, circundado por uma expressiva área rural.

Figura 5-1 - Localização da área de estudo: (A) Biomas do Cerrado e Caatinga no Brasil; (B) Maranhão (MA) e Piauí (PI) Estados brasileiros e a localização das imagens Landsat (LS) órbita/ponto 219/063 (norte) e 219/063 (sul); (C) Municípios de Timon-MA e Teresina-PI e o mapa de elevação do SRTM – Shuttle Radar Topography Mission.



Fonte: Elaborado pelo autor.

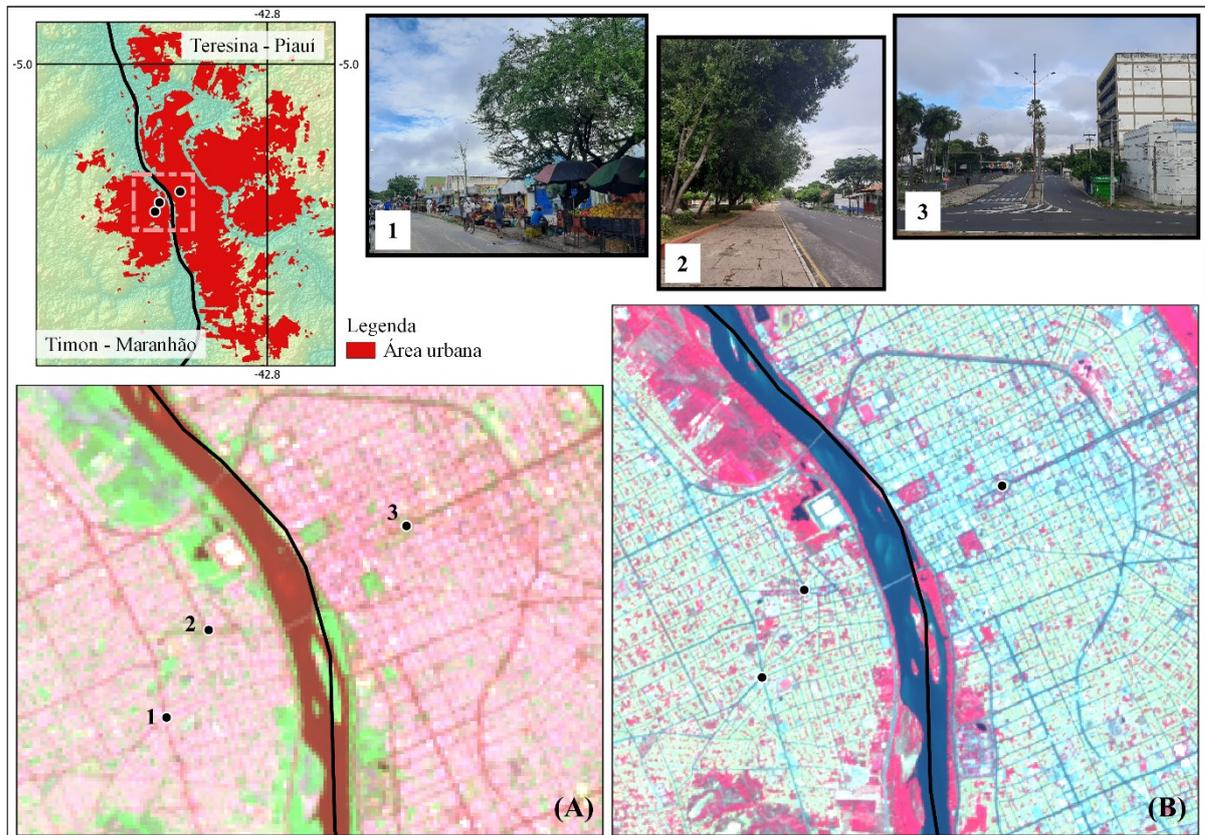
Cada uma dessas duas cidades tem implementado diferentes estratégias urbanas ao longo dos últimos anos, embora ambas venham seguindo as principais dimensões contidas no Estatuto das Cidades de 2001, o quadro legal que rege o desenvolvimento e gerenciamento urbanos no Brasil (LIMA *et al.*, 2020). Teresina, na qualidade de capital do Piauí e grande centro comercial, industrial e de serviços, concentra a maior parcela dos esforços na legislação urbana municipal em relação à delimitação de bairros urbanos e diretrizes para a ocupação urbana, tendo mais recentemente passado a atentar para a sustentabilidade ambiental. As áreas com prédios em Teresina estão muito mais concentradas que em Timon, sendo assim, a arborização das ruas do centro de Teresina é consequentemente menos evidente (Figura 5-2) (ROCHA *et al.*, 2018; JÚNIOR; ESPINDOLA; CARNEIRO, 2016; NOGUEIRA; ESPÍNDOLA; CARNEIRO, 2016). Entretanto, apesar da interdependência entre essas duas cidades, ainda há poucos esforços direcionados a compreender a dinâmica urbana da CTT como uma unidade. Há pouca informação acerca da temporalidade e magnitude das suas mudanças,

além disso, muito embora os valores do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) entre essas duas cidades estejam relativamente próximos (Tabela 5-1: 0,751 em Teresina e 0,649 em Timon), a porcentagem de redes de saneamento de águas residuais, por exemplo, varia na maioria das vezes (Tabela 5-1: 61,6% em Teresina e 38,0% em Timon).

Tabela 5-1 - Caracterização socioeconômica da área de conurbação Teresina-Timon.

Características	Teresina	Timon
Estado brasileiro	Piauí (PI)	Maranhão (MA)
População estimada em 2019	864.845 habitantes	169.107 habitantes
População pesquisada em 2010	814.230 habitantes	155.460 habitantes
População urbana em 2010	80,54%	71,15%
Densidade populacional em 2010	584,94 pessoas por km ²	89,18 pessoas por km ²
Área total	1.391,046 km ²	1.764,612 km ²
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) in 2010	0,751	0,649
Rede de Saneamento de Águas Residuais	61,6%	38,0%

Figura 5-2 - Área de cobertura urbana referente à expansão da conurbação Teresina-Timon (CTT) em 2018 com a localização das fotografias panorâmicas de campo; (A) Operational Land Imager (OLI) Composição de cores Landsat-8, bandas 6(R)5(G)4(B), data de aquisição em 07/12/2019, vegetação aparece em verde, enquanto que a área urbana está em tonalidade magenta; (B) Multi-Spectral Instrument (MSI) composição de cores Sentinel-2A, bandas 8(R)4(G)3(B), data de composição em 08/11/2019, vegetação aparece em vermelho, enquanto que a área urbana está em tonalidade azul; (1 e 2) fotografias panorâmicas de campo de Timon; (3) fotografia panorâmica de campo de Teresina.

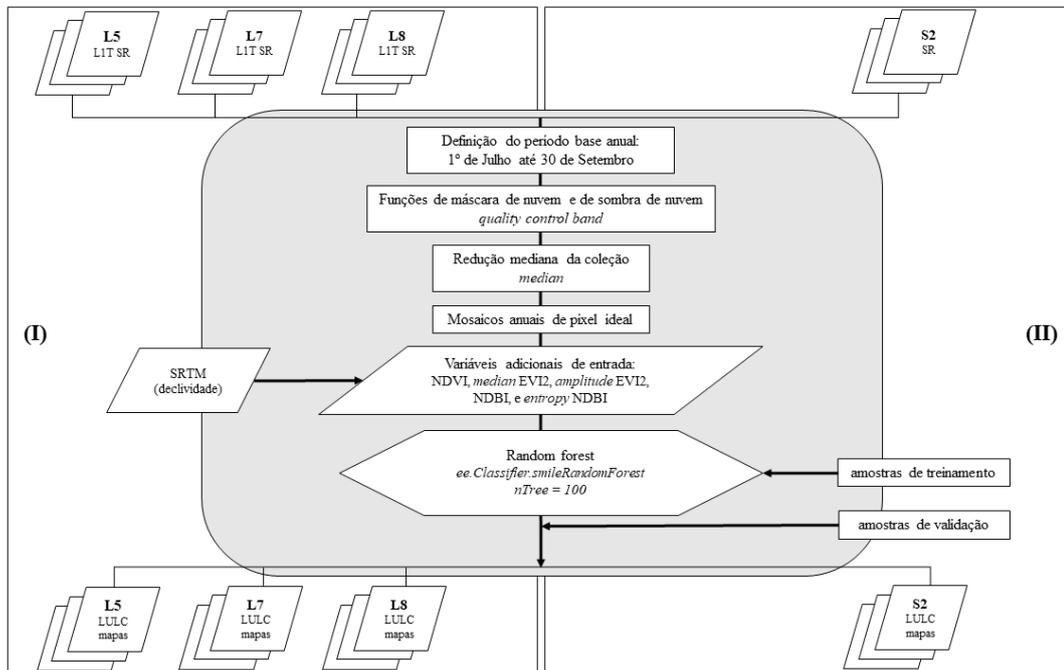


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.2 Método de classificação

A Figura 5-3 apresenta o quadro proposto para gerar mapas de território urbano. A estrutura de trabalho é praticamente a mesma para os dois procedimentos principais: (I) classificação do mosaico anual de Landsat (LS), coleta de 1985 a 2018 e (II) classificação do mosaico anual de Sentinel-2 (S2), coleta em 2019. Em relação à cobertura territorial, classificou-se inteiramente os dois municípios em (I) e as duas manchas urbanas adjacentes em (II). Além da seleção de diferentes conjuntos de dados, foram feitas adaptações em cada procedimento em relação às classes temáticas de uso e cobertura da terra (LULC) e os pontos amostrais usados (Tabela 5-2). O procedimento de fluxo de trabalho foi baseado em Rosa (2018) e Alencar *et al.* (2020).

Figura 5-3 - Fluxo de trabalho dos procedimentos utilizando os sensores: TM Landsat-5 (L5), ETM+ Landsat-7 (L7), OLI Landsat-8 (L8) e MSI Sentinel-2 (S2). Para Landsat (LS), o seguinte conjunto de dados: Coleta 1, Camada 1, reflectância ortorretificada de superfície (LIT SR). Para Sentinel-2, o seguinte conjunto de dados: reflectância de superfície (RS) Nível-2A. Variáveis adicionais: Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Melhorada 2 (EVI2), Índice de Construção da Diferença Normalizada (NDBI), Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5-2 - Lista de classes temáticas LULC usadas em cada conjunto de dados do sensoriamento remoto — Landsat e Sentinel-2, bem como as quantidades de dados amostrais utilizados, respectivamente.

Classes Temáticas de Landsat (I)	Quantidade de Dados Amostrados
Área urbana	1463
Solo descoberto	1484
Agricultura ou pastagem	1249
Água	1495
Savana	1495
Floresta	1441
Classes Temáticas de Sentinel-2 (II)	Quantidade de Dados Amostrados
Residencial—Coberturas de cerâmica	1457
Residencial—Outras coberturas	1459
Superfícies impermeáveis	1386
Solo descoberto	1484
Água	1495
Cobertura Vegetal (Savana e Floresta)	1492

5.2.2.1 Mosaicos anuais de Landsat e Sentinel-2

Foram processadas as imagens de *Thematic Mapper* (TM) Landsat-5 (L5), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) Landsat-7 (L7), *Operational Land Imager* (OLI) Landsat-8 (L8), e *Multi-Spectral Instrument* (MSI) Sentinel-2 (S2), acessadas via plataforma do *Google Earth Engine* (GEE) (<https://earthengine.google.com> (15 de fevereiro de 2021)). Para os mosaicos Landsat (LS), utilizou-se dados de reflectância de superfície atmosféricamente corrigida (SR) (Coleta 1 Camada 1 de reflectância de superfície) a uma resolução espacial de 30m e com cinco bandas de infravermelho próximo (IP) e visíveis, além de duas bandas infravermelho de ondas curtas (IOC), processadas para fins de referência de ortorretificação (LI, S. *et al.*, 2018). Para o mosaico Sentinel-2 (S2), utilizou-se dados de reflectância de superfície (Nível-2A) (DRUSCH *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2017), sendo que para essa última coleta, foram selecionadas as quatro bandas de resolução espacial de 10m, a partir de comprimentos espectrais visíveis e infravermelho próximo, além de um infravermelho de banda curta a uma resolução espacial de 20m (Tabela 5-3 e Tabela 5-4).

Tabela 5-3 - Cobertura temporal considerada para os dados de Landsat (LS) e Sentinel-2 (S2).

Sensor/Satélite	Coleta Filtrada	Resolução Espacial
TM Landsat-5 (L5)	1985 a 2011	30 m
ETM+ Landsat-7 (L7)	2012	30 m
OLI Landsat-8 (L8)	2013 a 2018	30 m
MSI Sentinel-2 (S2)	2019	10 m
MSI Sentinel-2 (S2)	2019	20 m (Apenas banda 11)

Tabela 5-4 - Lista de variáveis preditivas de entrada incluídas nos procedimentos de classificação. TM Landsat-5 (L5), ETM+ Landsat-7 (L7), OLI Landsat-8 (L8), MSI Sentinel-2 (S2) e Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Variáveis de Entrada	Significado/Fórmula
Banda azul	Banda 1 (L5 e L7); Banda 2 (L8); Banda 2 (S2)
Banda Verde	Banda 2 (L5 e L7); Banda 3 (L8); Banda 3 (S2)
Banda Vermelha	Banda 3 (L5 e L7); Banda 4 (L8); Banda 4 (S2)
Banda Infravermelho Próximo (NIR)	Banda 4 (L5 e L7); Banda 5 (L8); Banda 8 (S2)
Banda Infravermelho de Onda Curta (SWIR1)	Banda 5 (L5 e L7); Banda 6 (L8); Banda 11 (S2)
Banda Infravermelho de Onda Curta 2 (SWIR2)	Banda 7 (L5, L7 e L8)
NDVI (Índice de Vegetação com Diferença Normalizada)	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
EVI2 (Índice de Vegetação Melhorada 2)	$EVI2 = 2.5 \frac{NIR - Red}{NIR + 2.4Red + 1}$
NDBI (Índice de Construção da Diferença Normalizada)	$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}$
SRTM (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>)	Inclinação (em graus)

Produziu-se mosaicos anuais de pixel ideal ao fundirmos pixels de imagens distintas coletadas de primeiro de julho a 30 de setembro (ALENCAR *et al.*, 2020), período que cobre a estação seca. O filtro de data resultou de cinco a dez cenários LS para cada órbita/ponto (219/063 e 219/064) em cada ano. Aplicou-se as funções *cloud* e *cloud shadow* com a banda de controle de qualidade para cada imagem, o que gerou pixels com mínima cobertura de nuvem e melhores condições atmosféricas (Figura 5-3).

Para cada banda, usou-se a função *median* do GEE em cada pixel-localização selecionado dentro do período de intervalo. O valor resultante foi alocado para a respectiva pixel-localização final contida no mosaico anual. O valor da função *median* se destina à redução de dimensionalidade e eliminação de pixels corrompidos por ruído de nuvens ou sombras de nuvem não removidas no ajuste inicial. A Tabela 5-3 mostra os anos considerados para a filtragem dos dados coletados.

5.2.2.2 Processamento de dados Landsat e Sentinel-2

Variáveis de entrada adicionais foram incluídas no procedimento de fluxo de trabalho, como ilustrado na Figura 5-3 e Tabela 5-4. A partir dos conjuntos de dados Landsat e Sentinel-2, foram adicionados os valores do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), mediana do Índice de Vegetação Melhorada 2 (mediana EVI2) (JIANG *et al.*, 2008), espectro de variação de EVI2 relativo à diferença entre os valores mínimos e máximos (amplitude EVI2), índice normalizado de diferença de construção (NDBI) e textura espacial computada pela

função *entropy* do GEE para valores NDBI usando um kernel centrado de 5 pixels (*entropy* NDBI). Além disso, adicionou-se o valor de inclinação do *shuttle radar topography mission* (SRTM). Os valores sofreram reamostragem e normalização antes de inseridos como novas bandas das imagens.

Rosa (2018) e Alencar *et al.* (2020) demonstraram que a adição de variáveis de índices de sensoriamento remoto e dados topográficos têm contribuído para o melhoramento da precisão global dos resultados de classificação. Por exemplo, a amplitude EVI2 permite que se diferencie melhor os alvos que permanecem estáveis ao longo do ano (prédios, estradas ou áreas industriais) daqueles que variam durante o ano (sombra, vegetação, agricultura ou água). A banda texturizada (*entropy* NDBI) permite a diferenciação por meio de pixels adjacentes ao agregar informações de contexto, além de beneficiar a classificação de regiões mais homogêneas, refletindo a generalização satisfatória esperada para classificações de áreas urbanas.

Para processar a classificação, utilizou-se os parâmetros ótimos para o algoritmo *random forest* (RF) a partir da literatura (Figura 5-3) (BREIMAN, 2001), esperando que atingisse a maior classificação de precisão global possível. Diversos autores têm utilizado o número de árvores igual a 100 e o número de variáveis em cada fração igual à raiz quadrada do número total de variáveis (ALENCAR *et al.*, 2020; ROSA, 2018; THANH NOI; KAPPAS, 2017).

Os dados das amostras de treinamento e validação foram coletados com base na interpretação visual do sensoriamento remoto de imagens de alta resolução disponíveis no *Google Earth*. Fundamentados nessa interpretação visual, foram criados polígonos para cada categoria temática de uso da terra que não haviam se alterado ao longo dos anos. Foram selecionados aleatoriamente 80% do total das amostras para cada classe temática a partir desses polígonos e usados para o treinamento do algoritmo RF, enquanto 20% dos dados amostrais foram usados para validação, considerando os valores descritos na Tabela 5-2. A fim de avaliarmos a precisão de classificação, utilizou-se as duas medições mais populares na literatura: precisão global (PG) e Coeficiente Kappa (CK), derivadas da matriz de confusão da amostragem aleatória. Os coeficientes PG e CK foram obtidos em relação a cada ano.

5.2.3 Métricas da dinâmica urbana

Como sugerido por Espindola, Carneiro e Façanha (2017), e Wu *et al.* (2015), calculou-se dois índices para quantificação da magnitude de expansão urbana: o aumento anual (AI) e a

taxa anual normalizada de crescimento (AGR). AI (pixels por ano) e AGR (%) representam a extensão do crescimento anual e a taxa de crescimento anual das classes urbanas, respectivamente. P_{end} e P_{start} são os números de pixels categorizados como urbanos ao final e início dos períodos, respectivamente, e d é o intervalo de tempo em anos.

$$AI = \frac{P_{end} - P_{start}}{d}$$

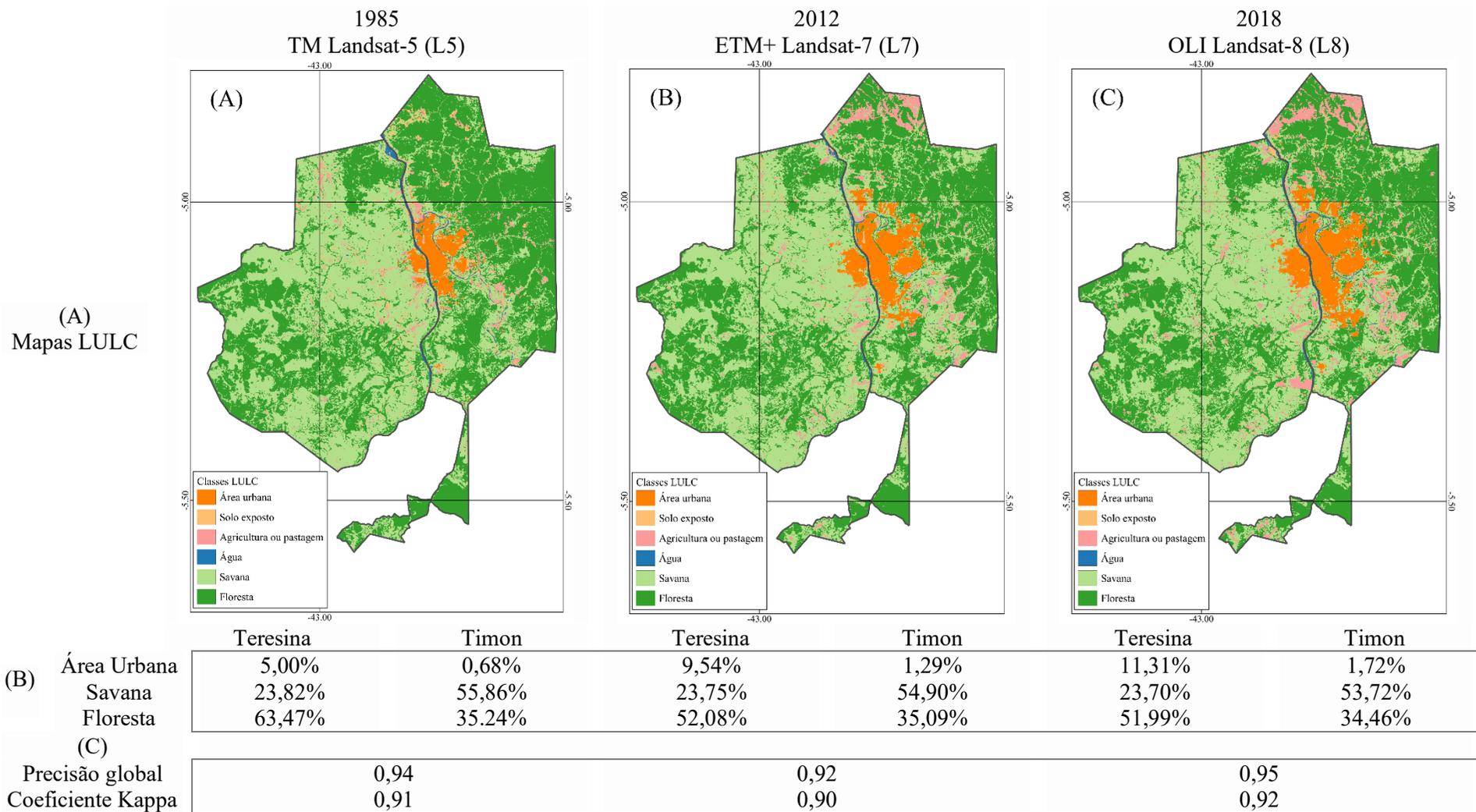
$$AGR = 100\% \times \left[\left(\frac{P_{end}}{P_{start}} \right)^{1/d} - 1 \right]$$

5.3 Resultados

5.3.1 Dinâmica Espacial de Expansão Urbana

A área da CTT vivenciou uma notável expansão urbana entre 1985 e 2018. Para uma avaliação sistemática da dinâmica espacial da expansão urbana ao longo dessas quatro décadas, foram criados os mapas de território urbano gerados a partir do processamento do conjunto de dados históricos Landsat. A Figura 5-4 ilustra os mapas de LULC para cada data selecionada (1985, 2012 e 2018) e cada sensor utilizado: TM (L5), ETM+ (L7) e OLI (L8), respectivamente. Mesmo considerando que na Figura 5-4, o intervalo de tempo não é constante, entende-se ser relevante demonstrar a consistência da classificação de LULC entre esses sensores ao longo dos anos. Percebe-se que a proporção da mancha urbana vem crescendo em ambos os municípios, abrangendo de 5,00% (1985) a 11,31% (2018) em Teresina e de 0,68% (1985) a 1,72% (2018) em Timon. Teresina expandiu de 70,34 km² a 159,02 km² entre 1985 e 2018, enquanto Timon expandiu de 12,20 km² a 30,68 km² durante o mesmo período.

Figura 5-4 - (A) Mapas LULC de TM (L5), ETM+ (L7) e OLI (L8) UTCT referentes aos anos de 1985, 2012 e 2018, respectivamente. (B) Proporção das classes temáticas LULC: Área Urbana, Savana e Floresta nos municípios de Teresina e Timon. (C) Precisão global (PG) e Coeficiente Kappa (CK) de cada classificação LULC.

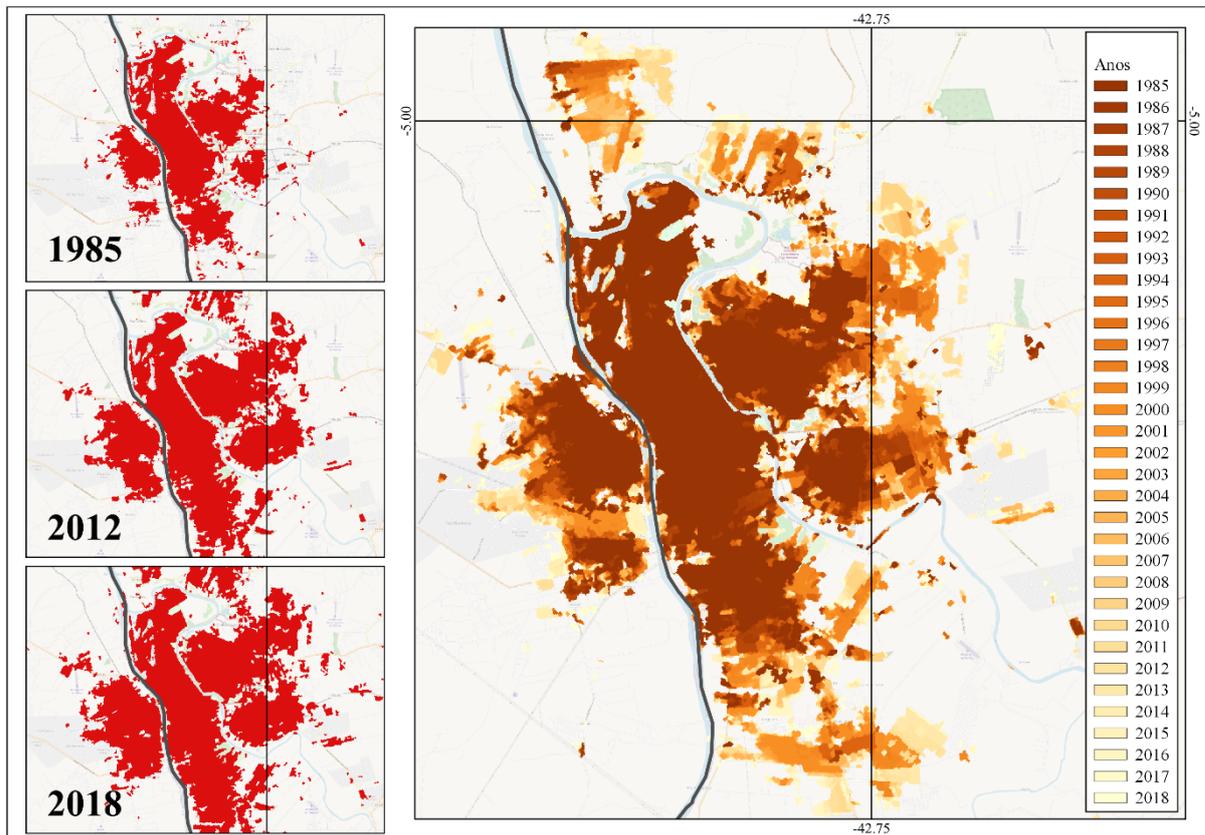


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados demonstram que o aumento da área urbana se baseou na substituição da cobertura vegetal (Floresta semiúmida e Savana), que vem declinando consideravelmente desde 1985. Entre 1985 e 2018, 161,31 km² de Floresta e 39,75 km² de Savana foram perdidos. Nos municípios de Teresina e Timon, a vegetação de savana predominante é caracterizada por um estrato arbustivo e arbóreo, com uma cobertura florestal em cerca de 60% e uma média de biomassa vegetal e estoques de carbono de 39,9 t C/ha (RIBEIRO *et al.*, 2011). Esse tipo de vegetação difere da floresta fechada e é caracterizada por uma vegetação mais densa com árvores relativamente amplas, o que corresponde a estoques de carbono de 68,6 t C/ha (BATLLE-BAYER; BATJES; BINDRABAN, 2010; BONINI *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2011). Como efeito, a expansão urbana influencia diretamente os ciclos de carbono e água na área da CTT.

Para entendermos mais profundamente os padrões anuais de expansão urbana (EU) em Teresina, Timon e na área da CTT como unidade, a Figura 5-5 mostra o movimento de expansão anual e contínuo dos seus territórios urbanos, apresentando a cobertura do território urbano em 1985 (L5), 2012 (L7) e 2018 (L8) e cada mapa anual do território urbano combinadamente. Neste estudo, todos os resultados da classificação revelaram altos valores de precisões globais (PG) e Coeficientes Kappa (CK), abrangendo de 90% a 95%. O mapa combinado anualmente de LULC demonstra que o território urbano continua a aumentar e expandir até áreas suburbanas. Além disso, ao longo desses 33 anos, Teresina e Timon têm passado por um rápido processo de consumo de terra em quase todas as direções partindo do centro urbano original. Os resultados demonstram a característica e as tendências do território da paisagem urbana na área da CTT, uma vez que essas duas cidades apresentaram uma crescente trajetória monotônica.

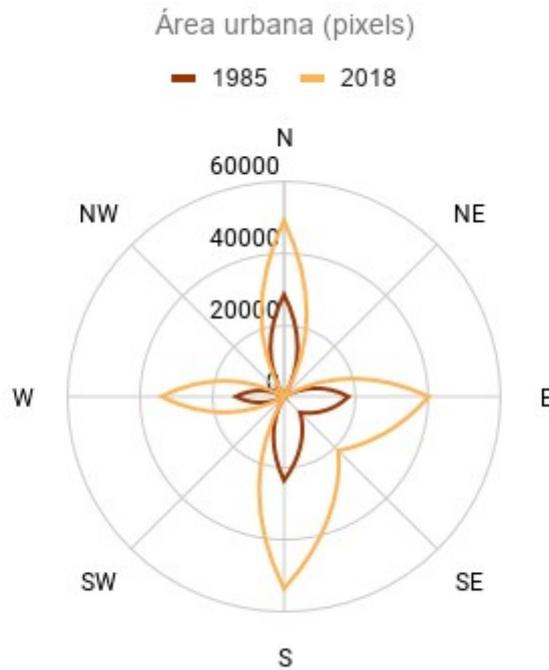
Figura 5-5 - Classificação do território urbano obtida a partir das imagens TM (L5), ETM+ (L7) e OLI (L8) de 1985, 2012 e 2018, respectivamente. Expansão urbana temporal gerada entre 1985 e 2018 na área de CTT.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 5-6, analisou-se as principais direções da dispersão na área da CTT mais detalhadamente. Embora tenha-se um aumento significativo de tais tendências, o movimento de expansão nas direções sul (S) e leste (E) foi proeminente. O centro dessas direções é o ponto categorizado como 3 na Figura 5-2.

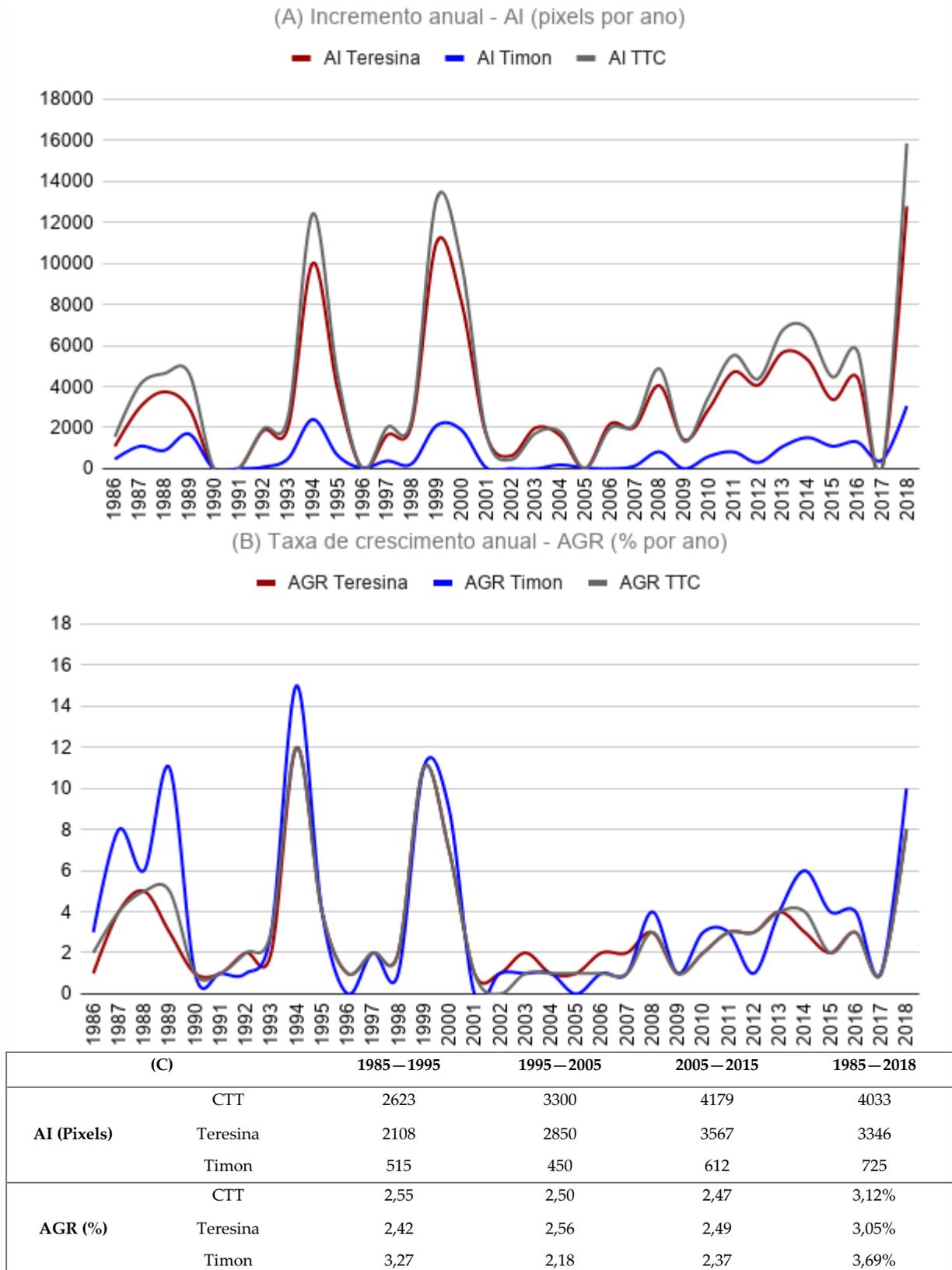
Figura 5-6 - Mudanças em pixels (resolução espacial de 30 m) na cobertura do território urbano de 1985 a 2018 para cada um dos cinco setores (N, E, SE, S e W) na área de CTT em 1985 e 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, a Figura 5-7A–C demonstra que apesar do aumento constante na área da CTT, a velocidade de crescimento variou ao longo dos anos. Foram apresentadas a magnitude da expansão urbana revelada pelo crescimento anual (AI, em pixels) e a taxa anual de crescimento urbano medida e normalizada (AGR, %) para Teresina, Timon e a área da CTT como unidade. Como a proporção da área urbana de Teresina é maior na área da CTT, o padrão de AI no gráfico (Figura 5-7A) é similar ao padrão apresentado para Teresina. Em 2018, 84% do território urbano da área da CTT ocorreu em Teresina, enquanto em Timon foi de 16%. Então, o maior AI ocorreu durante o período de 2017–2018 para as três áreas, seguido de 1998–1999 e 1993–1994. Além disso, a Figura 5-7A ilustra uma tendência positiva crescente ao longo da década de 2006–2016.

Figura 5-7 - (A) Incremento anual (AI) (em pixels) para cada ano de 1985 a 2018 referentes a: área de CTT (cinza), Teresina (vermelho) e Timon (azul). (B) Taxas de crescimento urbano anual normalizada (AGR) (%) para cada ano de 1985 a 2018 referentes a: CTT área (cinza), Teresina (vermelho) e Timon (azul). (C) AI e AGR computados em relação às décadas: 1985—1995, 1995—2005, 2005—2015, bem como a média para o período de 1985—2018.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a remoção do efeito do tamanho da cidade, as áreas da CTT, Teresina e Timon tiveram uma AGR média de 3,12%, 3,05% e 3,69% (2018–1985), variando de 0,30% a 12,31%, 0,51% a 11,74%, e de 0,17% a 15,38% no período de 2018–1985, respectivamente (Figura 5-7B). A Figura 5-7C mostra que durante as três décadas selecionadas, as AGR foram praticamente constantes na extensão das duas cidades e na área da conurbação. Esses números têm magnitudes similares às aquelas observadas por Wu *et al.* (2015) em cidades asiáticas, como Pequim, que atingiu uma AGR média de 3,70% no período de 1980–2010. Em outro estudo, conduzido por Fu *et al.* (2019), a taxa de expansão anual para outro aglomerado de cidades na China esteve entre 4% e 10% durante o período de 2000–2010.

5.3.2 Caracterização do Tecido Urbano

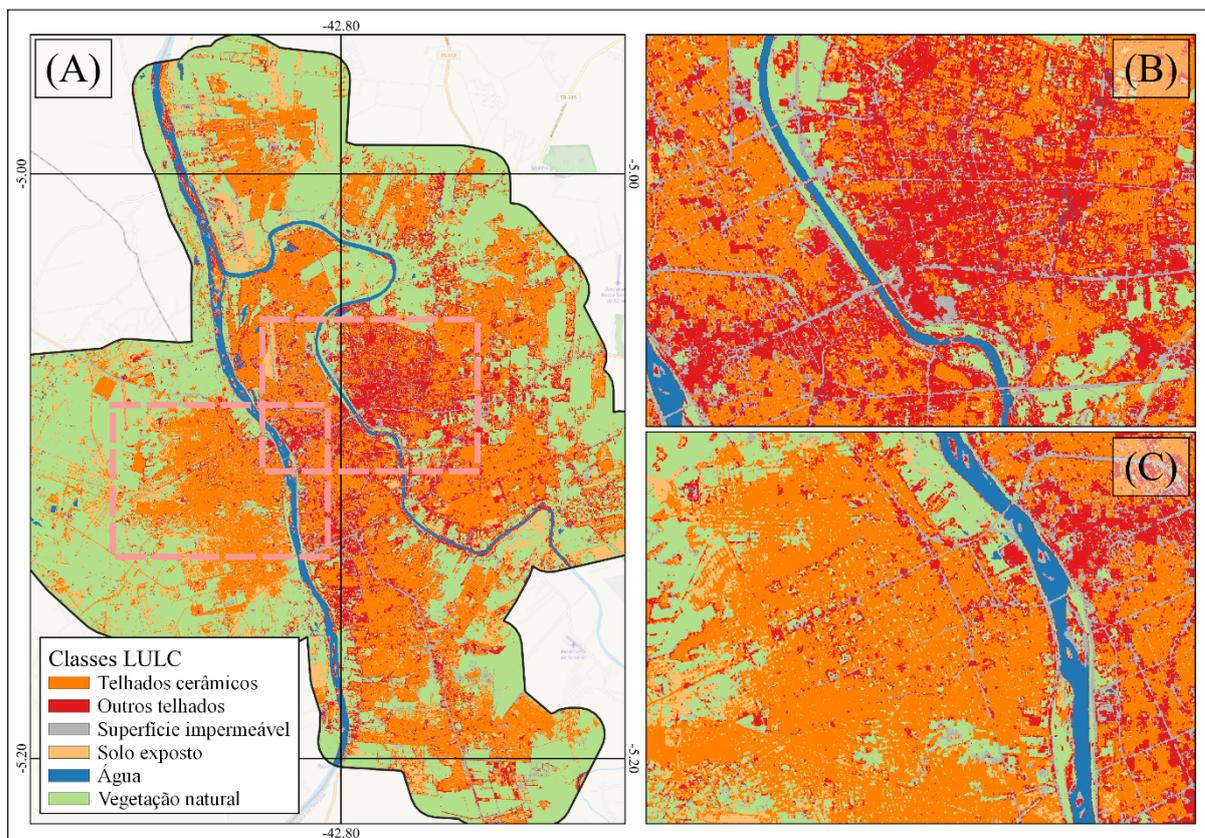
A Figura 5-8 ilustra a classificação do LULC de 2019 gerada a partir do conjunto de dados Sentinel-2. Para tal resultado, obtive-se PG e CK de 0,94 e 0,91, respectivamente. Para caracterizar o tecido urbano (TU) na área da CTT, tem-se a proporção das classes LULC diretamente associada às características intraurbanas: Residencial — Telhados de cerâmica, Residencial — Outros telhados e Superfícies impermeáveis. Na área da CTT, 28,02% do território urbano foram cobertos por telhados de cerâmica, enquanto 11,97% foram cobertos por outros telhados, incluindo telhados de concreto, metálicos ou de amianto. Usualmente, telhados de cerâmica vermelha são associadas a residências familiares, sendo que os resultados mostram uma predominância desse material com uma alta densidade de construção em toda a cidade de Teresina (30,84%) e Timon (21,38%). Por outro lado, outros tipos de telhado também são frequentes, sendo que nessa área são mais associados a prédios comerciais ou apartamentos. Essa cobertura apresenta uma diferença considerável entre Teresina (15,42%) e Timon (3,85%). De fato, parte do recente desenvolvimento urbano de Teresina se baseou em crescimento vertical, especialmente em seus bairros de classe alta.

Na literatura, a cobertura de superfície impermeável normalmente aparece como indicador de densidade construída no território urbano (SLONECKER; JENNINGS; GAROFALO, 2001). As superfícies impermeáveis foram definidas como aquelas que não podem ser infiltradas pela água. São geralmente construídas com materiais antropogênicos, como em ruas e estradas, telhados, estacionamentos e instalações externas (WENG, 2012). Embora as telhas dos telhados também possam integrar essa categoria, diferencia-se os telhados em outras classes temáticas a fim de distinguir-se os locais sem assentamento de população. Mesmo encontrando proporções de superfície impermeável semelhantes em Teresina (6,45%)

e Timon (3,83), a interpretação visual dos resultados (Figura 5-8B, C) demonstra que em Timon, além de ser menos recorrente, essa categoria de uso da terra é combinada à classe de cobertura vegetal. A categoria também corresponde a 5,67% do território urbano total na área da CTT.

A categoria de superfície impermeável se mostra relevante ao se associar à temperatura de superfície do território urbano. Reporta-se que áreas de superfície impermeável produzem uma temperatura de cerca de 10 graus mais alta que a cobertura florestal (LU; WENG, 2006). Dessa forma, é importante mapear tal categoria para a administração do planejamento e recursos urbanos e ambientais. Como resultado, o padrão de uso de terra encontrado em Timon pode contribuir para um desenho urbano que reforce o conforto térmico da população (CORREIA FILHO *et al.*, 2019).

Figura 5-8 - Mapa de LULC para 2019 derivado dos dados de Sentinel-2. (A) Área urbana de CTT. (B) Subconjunto mostrando a zona central de Teresina. (C) Subconjunto mostrando a zona central de Timon. Proporção das classes temáticas LULC na área urbana: Residencial—Telhados de cerâmica, Residencial—Outros telhados e Superfície impermeável.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Discussão

É relevante a compreensão da dinâmica espacial de desenvolvimento urbano na conurbação de cidades sob diferentes organizações político-institucionais, como no caso da área de Teresina-Timon. A maioria dos conjuntos de dados de sensoriamento remoto está disponível gratuitamente, o que nos oferece um vasto panorama sobre como cidades geminadas evoluíram, além de um planejamento urbano mais efetivo. Ademais, as plataformas de computação em nuvem vêm revolucionando as maneiras com as quais lidamos com as características de processamento de imagem. Entretanto, quadros que integram dados de sensoriamento remoto disponíveis gratuitamente em plataformas de computação em nuvem desenvolvidas para o monitoramento de território urbano ainda são escassos. Os resultados desse estudo demonstram a robustez das imagens de Landsat e Sentinel-2 para o planejamento e gerenciamento urbanos. O uso de imagens históricas de Landsat é bem documentado na literatura acerca do monitoramento da expansão urbana (GRĂDINARU; KIENAST; PSOMAS, 2019; LU *et al.*, 2019; MOHAMMADY; DELAVAR, 2016; RAHMAN, 2016). Por outro lado, os satélites Sentinel-2 ainda estão sendo avaliados (BENEDETTI; PICCHIANI; DEL FRATE, 2018; LORET *et al.*, 2017; RAHAR; PAL, 2020), nesse sentido, demonstrou-se que as classes de território urbano selecionadas para este estudo foram classificadas satisfatoriamente. A habilidade das imagens do Sentinel-2 em distinguir diferentes tipos de telhado abre novas possibilidades para o modelamento de densidades populacionais no território urbano. A medição de paisagem empregada também promoveu um entendimento mais profundo da sustentabilidade ambiental do crescimento da CTT.

Além disso, mostrou-se que o território urbano da área da CTT apresenta uma tendência subjacente de crescimento contínuo. Os resultados da análise deste estudo sugerem que comparativamente a outras cidades na América Latina, esse crescimento tem sido mais horizontal que vertical. Um achado fundamental deste estudo é que o padrão de crescimento na área da CTT ainda é mais relevante que a densificação do tecido urbano. Durante as últimas quatro décadas, uma elevada densidade de remoção de vegetação e consumo de terra na área da CTT implica uma ameaça crítica à sustentabilidade urbana, uma vez que esse tipo de mudança no uso da terra é frequentemente associado ao rápido declínio em serviços locais de ecossistema. Nesse cenário, a abertura de novos espaços para o desenvolvimento urbano nas cidades de Teresina e Timon gerou implicações ambientais centrais, especialmente por saber-se que os principais indutores de tal crescimento urbano periférico são usualmente mais relacionados a fatores econômicos e agrários que ao bem-estar da população. A análise da

paisagem contida nos resultados resume o tamanho, a forma e a distribuição espacial da dinâmica da expansão urbana na área da CTT, reforçando que os padrões observados resultam de complexas interações ambientais e sociopolíticas. Como a área de conurbação é localizada ao longo de rios, faz-se necessário enfatizar um desenvolvimento urbano equilibrado com a qualidade da água.

Na área da CTT, as dinâmicas urbanas foram influenciadas pela diversificação e pelo crescimento das economias nacional e local, assim como pelo aumento populacional. A área apresentou ciclos de pesada expansão urbana, seguidos de períodos de crescimento esparso. Tais ciclos estiveram diretamente relacionados à importância do papel do governo federal no financiamento da infraestrutura urbana. Nessa região, os subsídios federais seguiram tipicamente a forma de restrições políticas e econômicas.

Durante a década de 90, a população cresceu em um ritmo acelerado, acompanhando um movimento que havia sido descrito em outras cidades de porte médio no Brasil e na América Latina (BOLAY; RABINOVICH, 2004; DA MATA *et al.*, 2005; FERGUSON, 1992; HENRÍQUEZ; AZÓCAR; ROMERO, 2006; SRIDHAR; WAN, 2010). Após os anos noventa, o crescimento da área da CTT foi parcialmente motivado por programas do governo federal que implementaram planos nacionais residenciais buscando erradicar o déficit de residências amplas no país com foco em famílias de baixa renda.

Após a crise econômica de 2008, enormes investimentos na infraestrutura deslocaram a população para zonas periféricas sem um planejamento urbano adequado, o que se refletiu em alteração no uso e cobertura da terra (LULC), seguidamente dos impactos ambientais e problemas de saúde pública causados pelo desconforto térmico, particularmente em regiões semiáridas. A implementação das políticas nacionais de residências na CTT contribuiu para a atual forma do território urbano, uma vez que a maior parcela das áreas residenciais aparecera nas zonas periféricas de Teresina e Timon. No entanto, os investimentos em infraestrutura urbana nunca foram compatíveis com a quantidade da população realocada em novas áreas periféricas.

Ainda que trabalhos empíricos que abordam o crescimento de cidades de porte médio na América Latina sejam raros, comumente enfatizando apenas grandes áreas metropolitanas, como São Paulo e Rio de Janeiro, no Brasil, os resultados apresentados corroboram com Inostroza, Baur e Csaplovics (2013). Os achados desse estudo mostram que, como uma típica área urbana na América Latina, a CTT expressa uma dinâmica espacial caracterizada por altas taxas de consumo de terra e graus de fragmentação. A área da CTT manifestou o mesmo padrão de crescimento radial de outras cidades latino-americanas, caracterizadas por uma expansão

periférica de baixa densidade acompanhada de falta de infraestrutura, desencadeada por uma regularização precária do uso da terra (ALENCAR; ESPINDOLA; CARNEIRO, 2018; BARTON; RAMÍREZ, 2019; ESPINDOLA; CARNEIRO; FAÇANHA, 2017; HUANG; LU; SELLERS, 2007; MONKKONEN *et al.*, 2018). Essa tendência geral de crescimento disperso também contribui para a redução de atividades residenciais em áreas centrais bem-servidas, receptivas a segregação socioespacial (LOPES; MOTTE-BAUMVOL; THÉVENIN, 2017; MAFFINI; MARASCHIN, 2018).

5.5 Conclusões

O processo de urbanização influencia fortemente o funcionamento do ecossistema e dos serviços locais. A expansão urbana contribui para a recorrência de eventos climáticos extremos passíveis de causar ainda mais impactos na paisagem. O objetivo deste estudo foi aprimorar o entendimento sobre o processo de urbanização em uma área de conurbação na América Latina usando plataformas de computação em nuvem e dados de sensoriamento remoto gratuitos. Atualmente, o conjunto de dados históricos Landsat é o recurso mais empregado para monitorar mudanças regionais contínuas no uso da terra retrocedendo até os anos de 1980. Entretanto, Sentinel-2 vem emergindo como uma alternativa que permite uma análise mais detalhada. O ótimo desempenho da plataforma de computação GEE traz uma característica mais intuitiva ao usuário quanto à manipulação de grandes quantidades de dados de sensoriamento remoto, sendo, portanto, mais adequada para avaliações e gerenciamento urbanos.

Dessa forma, o estudo propôs um quadro semiautomático para o mapeamento do território urbano na área da CTT. Os mapas produzidos resultaram em inventários espacialmente explícitos acerca das extensões e condições urbanas. Os resultados demonstraram que a aglomeração urbana na área da CTT experimentou um crescimento acelerado entre 1985 e 2019. Apesar dos resultados serem promissores, ainda se faz necessário que se incorporem tais abordagens nas estruturas principais da administração urbana que acomoda a distribuição político-institucional de cada cidade. A administração conjunta de Teresina e Timon fundamentada no quadro proposto permitiria uma administração urbana mais dinâmica a partir da criação de políticas públicas urbanas integradas. Para investigações futuras, sugere-se estudos adicionais acerca da nova dinâmica de cidades de médio porte no âmbito da expansão urbana e políticas de planejamento. É necessário que se investigue mais aprofundadamente os principais indutores de desenvolvimento urbano na América Latina em contraste com panoramas locais, nacionais e internacionais distintos.

6 ASSOCIAÇÃO ENTRE EXPANSÃO URBANA E A ILHA DE CALOR URBANA SUPERFICIAL NA ÁREA DE CONURBAÇÃO DE TERESINA-TIMON NO BRASIL⁶

Eduilson Lívio Neves da Costa Carneiro⁷
Wilza Gomes Reis Lopes⁸
Giovana Mira de Espindola⁹

Resumo

As consequências negativas das disparidades do crescimento urbano normalmente levam a impressionantes níveis de segregação, marginalização e injustiças, particularmente no contexto de mudanças climáticas. Entender as relações entre expansão urbana e vulnerabilidade social vem se tornando extremamente necessário no âmbito de gerenciamento de município e desenvolvimento urbano sustentável. Embora o estudo acerca da urbanização na América Latina (AL) já tenha sido extensamente discutido, pouca atenção tem sido direcionada a compreender como a população é afetada pelo movimento de expansão da orientação urbana após a crise econômica de 2008. Enormes investimentos em infraestrutura moveram a população para zonas periféricas sem que houvesse um adequado planejamento urbano, o que se refletiu em alterações no uso de terra e cobertura de terra (LULC), seguidas de impactos ambientais e questões de saúde pública causados pelo desconforto térmico, notadamente em regiões inseridas num contexto do semiárido. O objetivo deste artigo é avaliar os efeitos da expansão urbana na população local da área da conurbação de Teresina-Timon (CTT), localizada no nordeste do Brasil. Foram aplicados procedimentos de métrica descritiva (Estatística de Moran e Índice de Vulnerabilidade Social) e produtos orbitais derivados de sensoriamento remoto — mapas de LULC e temperatura da superfície da terra (TST). Os resultados indicaram que o programa de residências ‘Minha Casa, Minha Vida’ (PMCMV) tem aumentado significativamente os valores de consumo de terra per capita desde 2009, mostrando

⁶ Artigo publicado na revista *Land*, classificação B3 em Ciências Ambientais, Fator de Impacto 3,395; recomenda-se a leitura da versão original em inglês (<https://www.mdpi.com/2073-445X/10/5/516>).

⁷ Tecnólogo em Processamento de Dados, doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFPI (eduilson@ifpi.edu.br).

⁸ Arquiteta, professora do Departamento de Construção Civil e Arquitetura e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFPI (wilza@ufpi.edu.br).

⁹ Engenheira Cartógrafa, professora do Departamento de Transporte e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFPI (giovanamira@ufpi.edu.br).

uma clara tendência de expansão. A substituição gradual de cobertura vegetal por assentamentos residenciais resultou em uma TST elevada. O Programa PMCMV contribuiu substancialmente para uma mudança no uso de terra e cobertura de terra, o que ampliou a extensão de áreas urbanizadas e alterou o microclima local.

Palavras-chave: métricas de paisagem urbana; ilha de calor urbana; índice de vulnerabilidade social; estatística I de Moran.

6.1 Introdução

O acelerado crescimento da urbanização tem representado um desafio para a sustentabilidade global. As cidades têm se expandido continuamente em termos de população e tamanho, o que geralmente culmina em degradação ambiental e transformação permanente do ecossistema local (PRAKASH *et al.*, 2020; SETO *et al.*, 2011; SHAO *et al.*, 2021). Conseqüentemente, o desenvolvimento urbano tem sido indicado como um dos promotores de perdas de carbono a partir da substituição da cobertura vegetal, distúrbios na biodiversidade e rarefação do solo (CHEN *et al.*, 2020; DOBBS *et al.*, 2019; GAVIRIA *et al.*, 2020). Nesse contexto, a expansão urbana tem sido identificada globalmente como um dos resultados mais significativos de processos de urbanização associados a uma vasta gama de questões sociais, ambientais e de saúde pública. Neste trabalho, definiu-se expansão urbana em termos de desenvolvimento disperso e amplas extensões de infraestrutura urbana de baixa densidade (EWING; HAMIDI, 2015). Dessa maneira, mesmo considerando sua cobertura relativamente pequena (SETO *et al.*, 2011), descreve-se que o consumo de terra na expansão urbana exerce profundo impacto na conservação da biodiversidade, assim como carbono, água, nitrogênio e ciclos de aerossol em escalas local e global.

Na América Latina (AL), 82,5% da população total reside em cidades, com um crescimento a uma taxa de 0,94% por ano. Projeções mostram que até 2050, a população urbana da AL continuará a aumentar em cerca de 34% (BONGAARTS; O'NEILL, 2018; SALIM; BOSCO, 2016). Após os anos de 2050, devido ao declínio projetado da sua população, abandonos de áreas construídas são uma possibilidade, ainda que a recuperação vegetal de territórios urbanos seja raramente reportada. Portanto, a conversão da vegetação nativa em território urbano é provavelmente irreversível (CHEN *et al.*, 2020; NATIONS, 2015; ROVAI *et al.*, 2020), sendo assim, em nosso continente, o movimento histórico de concentração da

população em grandes áreas urbanizadas introduz a necessidade de um bom gerenciamento do desenvolvimento urbano (ACUTO; PARNELL; SETO, 2018; RIVERA, 2013).

Além disso, compreender os processos de expansão urbana se torna ainda mais relevante no âmbito de priorizar pontos essenciais de conservação e regiões de alta diversidade biológica. Os impactos da expansão urbana sobre a terra e seu ecossistema local dependem diretamente da natureza dos impulsionadores políticos e históricos, comumente associados à AL, com uma fraca presença de governança e instituições de planejamento. Além dos efeitos adversos da expansão urbana no ambiente, é também crucial que se discutam e investiguem os impactos sociais da dispersão de cidades na segregação e disponibilidade das residências (BILAL *et al.*, 2019; RAUSKY; CHAVES, 2019). Recentemente, vem crescendo a atenção às relações entre expansão urbana e racismo, educação, violência e doenças (CREȚAN; MÁLOVICS; BERKI, 2020; MOLINA; CZISCHKE; ROLNIK, 2019; ROBERTS; WILSON, 2009; ROTONDANO, 2019).

Ademais, diversos estudos têm demonstrado que na AL, e notadamente no Brasil, os processos de urbanização seguem um típico padrão centro-periférico caracterizado por uma área urbana central bem desenvolvida e uma periferia menos desenvolvida (INOSTROZA; BAUR; CSAPLOVICS, 2013; LEITE *et al.*, 2020; OJIMA; HOGAN, 2009; SABATINI, 2006; SALIM; BOSCO, 2016; SPERANDELLI; DUPAS; DIAS PONS, 2013). Após 2009, a dispersão do território urbano no Brasil foi majoritariamente motivada pela criação de políticas públicas denominadas Programa de Aceleração de Crescimento (PAC), bem como o programa de residências ‘Minha Casa, Minha Vida’ (PMCMV), que foi criado para erradicar o déficit em residências no país. O PMCMV ofereceu suporte financeiro à construção de cerca de quatro milhões de unidades residenciais no território brasileiro (KLINK; DENALDI, 2014; MOUROUGANE; PISU, 2011; SHIMBO, 2019).

No entanto, sem um planejamento urbano apropriado, acelerados investimentos em infraestrutura podem gerar uma vasta gama de problemas, tais como altas taxas de alterações no uso de terra e cobertura de terra (LULC). Para entendermos e associarmos as questões ambientais e sociais geradas por uma acelerada expansão urbana, é necessário que quantifiquemos a magnitude e características da expansão urbana e as relacionemos ao movimento populacional ao longo do tempo. Muitas avaliações da expansão urbana têm sido conduzidas e descritas em diversas aglomerações urbanas globalmente, particularmente em regiões de acelerado desenvolvimento urbano, tais como Ásia e América Latina (CARNEIRO; LOPES; ESPINDOLA, 2021; CORREIA FILHO *et al.*, 2019; ESPINDOLA; CARNEIRO; FAÇANHA, 2017; QIAN *et al.*, 2015; WU *et al.*, 2015). A maioria das medidas propostas se

utiliza de indicadores unidimensionais, enquanto os multidimensionais são descritos como confusos e menos abrangentes, uma vez que um conjunto de dados completo nem sempre se encontra disponível (EWING; HAMIDI, 2015).

Mesmo sabendo que a expansão urbana é um fenômeno multidimensional, a agregação de um conjunto de indicadores unidimensionais vem sendo amplamente descrita (HAMIDI; EWING, 2014; ZHOU *et al.*, 2019). Nesse contexto, o conjunto de dados de sensoriamento remoto tem sido extensamente utilizado para quantificar e caracterizar a expansão urbana e, na maioria dos casos, os mapas de LULC são devidamente combinados com dados do censo. As características da família Landsat, tais como resolução espacial moderada (30m), cobertura de 16 dias, consistência dos mecanismos de aquisição (resolução espectral, tamanho das cenas) e o acesso gratuito a dados históricos desde 1985, tornaram esses satélites um conjunto de dados acessível para o mapeamento da dinâmica do território urbano (CARNEIRO; LOPES; ESPINDOLA, 2021; LI; GONG; LIANG, 2015; LU; COOPS; HERMOSILLA, 2017; SONG *et al.*, 2016).

Após 2015, os satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B passam a representar mais uma opção acessível para o mapeamento de estruturas intraurbanas. Os satélites Sentinel-2, com quatro bandas espectrais a uma resolução espacial de 10 m e seis bandas a 20 m, têm melhorado a habilidade de mapeamento do tecido urbano, por exemplo, ao identificarem a presença de vegetação ou áreas verdes, bem como a densidade dos prédios ou residências com diferentes tipos de telhados e rede de transporte (CARNEIRO; LOPES; ESPINDOLA, 2021; EL MENDILI *et al.*, 2020; IANNELLI; GAMBA, 2018; PESARESI *et al.*, 2016). A temperatura da superfície da terra (TST) derivada de um conjunto de dados de sensoriamento remoto também tem sido empregada para monitorar o desconforto térmico local associado às mudanças em LULC em áreas urbanas (CORREIA FILHO *et al.*, 2019).

Estudos recentes empregaram a temperatura da superfície da terra como um indicador para estimar a ilha de calor urbana superficial (ICUS), primariamente considerando as variações inter e intraurbanas de temperatura (GOLDBLATT *et al.*, 2021). Alterações na temperatura superficial média e ICUS são amplamente ligadas às tendências de processos de urbanização por todo o mundo (CHEN *et al.*, 2020; PENG *et al.*, 2012; SRIVASTAVA; MAJUMDAR; BHATTACHARYA, 2009). Métodos tangíveis para estimar ICUS são preferidos quando mensurações completas *in situ* não estão disponíveis para determinar a extensão e as características da ilha de calor urbana (ICU). ICUS e ICU são comumente caracterizadas de acordo com as variações encontradas na temperatura do ar, influenciando diretamente o bem-

estar e o desconforto térmico das pessoas (LIU *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2021).

Ademais, estudos inovadores têm explorado as relações entre expansão urbana e vulnerabilidade social por todo o mundo (BHANJEE; ZHANG, 2021; SABRIN *et al.*, 2020). Bhanjee e Zhang (2021) demonstraram que dispersões formais e informais exercem diferentes influências na vulnerabilidade social. Semelhantemente, Mereine Berki *et al.* (2020) revelaram os impactos sociais da dispersão de cidades na segregação e disponibilidade de residências, além do papel da mitigação da pobreza para pessoas segregadas, por sua vez, Málovics *et al.* (2019) mostraram a importância de oferecer um sentimento de pertencimento a pessoas vulneráveis que não possuem residências pelas quais possam arcar.

Medidas quantitativas de vulnerabilidade social são primariamente empregadas para determinar os impactos das mudanças socioeconômicas e ambientais, bem como os efeitos de desastres e eventos climáticos extremos em uma escala local (KHAN, 2012). Dessa maneira, conceitualmente, a vulnerabilidade se define como a susceptibilidade de um sistema a prejuízos, enquanto a vulnerabilidade social se refere à sensibilidade de comunidades locais e a maneira com as quais estas respondem a danos (BHANJEE; ZHANG, 2021; SPIELMAN *et al.*, 2020).

Nesse contexto, indicadores de vulnerabilidade social são comumente empregados como uma alternativa para a inclusão de componentes sociais em análises socioeconômicas e ambientais. Além disso, Connolly (2018) argumenta que abordar a vulnerabilidade social é crucial para determinar a resiliência urbana local. Sendo assim, indicadores de vulnerabilidade social se referem à capacidade de resiliência das pessoas em resposta a um estressor externo. Tais indicadores são combinados a partir de diversas categorias de dados sociodemográficos, tais como características socioeconômicas, demográficas, de vizinhança e de saúde (FREITAS; D'AVIGNON; CASTRO, 2019).

Nesse sentido, a vulnerabilidade social resulta das desigualdades sociais e locais (HUMMELL; CUTTER; EMRICH, 2016), e indicadores sintéticos, como o índice de vulnerabilidade social (IVS), se direcionam a reduzir a complexidade e permitir seu uso em práticas de planejamento. Os dados sociodemográficos de pesquisas do censo permitem a inclusão de variáveis associadas à dimensão espacial da vulnerabilidade social. Devido às heterogeneidades da dispersão em espaços urbanos, os padrões de desenvolvimento de centros urbanos influenciam diretamente a qualidade de vida das pessoas. O IVS tem sido largamente aplicado em análises urbanas (AROCA-JIMENEZ *et al.*, 2017; GU *et al.*, 2018; SABRIN *et al.*, 2020; TASCÓN-GONZÁLEZ *et al.*, 2020), sendo que a maioria dos estudos geralmente

emprega o índice de vulnerabilidade social para destacar as áreas onde há amplas concentrações de habitantes vulneráveis (FAHY *et al.*, 2019; HOSSAIN; MENG, 2020).

Para entender as relações entre expansão urbana e vulnerabilidade social, este estudo busca avaliar o impacto da expansão urbana em cidadãos locais na área da conurbação Teresina– Timon (CTT), localizada no nordeste do Brasil. O enfoque é na área de acelerada urbanização da CTT, uma das três Regiões Integradas de Desenvolvimento Econômico (RIDE) brasileiras de áreas urbanas biestaduais, juntamente a mais de uma unidade federativa. Os objetivos do estudo são: (a) medir o consumo de terra per capita (CTpC) e o Coeficiente de Moran (MCoef) para caracterizar a expansão urbana na área da CTT de 2000 a 2019, (b) avaliar a associação entre a temperatura da superfície da terra (TST) e o índice de vulnerabilidade social (IVS) na área da CTT, e (c) avaliar os impactos da expansão urbana na TST em relação aos assentamentos do programa residências na área da CTT de 2000 a 2019.

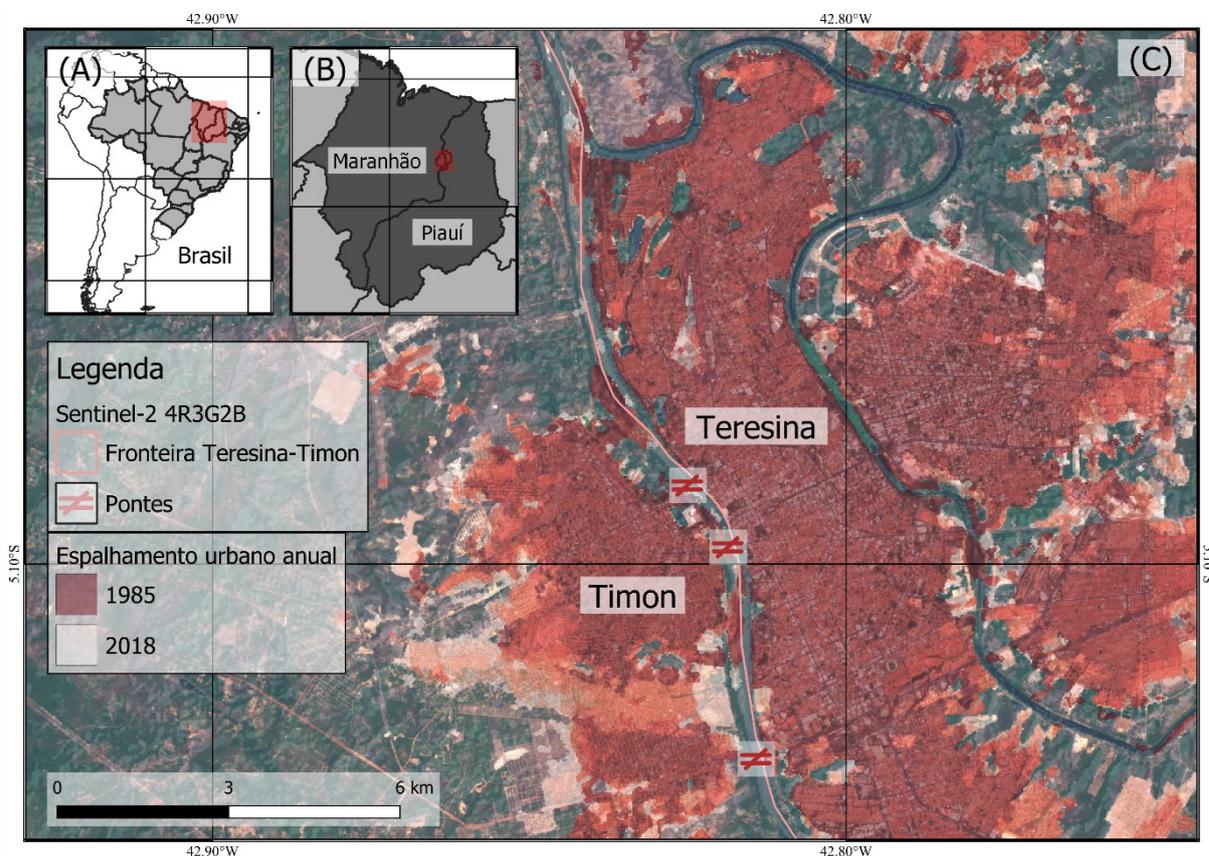
Este estudo complementa a literatura vigente sobre expansão urbana e pessoas vulneráveis baseando-se na importância regional da América Latina e sua relevância mais ampla em estudos relacionados a esse tópico no contexto de mudança climática em países em desenvolvimento.

6.2 Materiais e Métodos

6.2.1 Área de estudo

A área da conurbação de Teresina-Timon, localizada no Nordeste do Brasil (NEB), apresentava uma área urbana de 208,13 km² em 2019 (Figura 6-1). Sua população total estimada em 2019 era de um milhão de habitantes, com média de densidades populacionais variando de 89,18 habitantes por km² no município de Timon a 584,94 habitantes por km² em Teresina. O Produto Interno Bruto (PIB) per capita em 2017 foi de 6785,28 USD em Teresina, e 3245,85 USD em Timon, apontando valores abaixo dos padrões brasileiros de 9607,79 USD (Tabela 6-1). A área da CTT é uma das três Regiões Integradas de Desenvolvimento Econômico (RIDE) brasileiras de regiões urbanas biestaduais e mais de uma unidade federativa. As RIDEs brasileiras são semelhantes às áreas metropolitanas, muito embora as cidades individuais nas RIDEs estejam sob organizações político-institucionais específicas. Teresina e Timon são conectadas por três pontes que atravessam 300m de fronteira d'água no rio Parnaíba.

Figura 6-1 - Localização da área de estudo: (A) Brasil na América do Sul; (B) Maranhão (MA) e Piauí (PI) Estados brasileiros; (C) Áreas urbanas de Timon—MA e Teresina—PI na composição de cor em MultiSpectral Instrument (MSI) Sentinel-2A , bandas 4(R)3(G)2(B), dados de aquisição em 8 de Novembro de 2019. Em vermelho, crescimento urbano anual de 1985 a 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6-1 - Caracterização socioeconômica da área de conurbação de Teresina–Timon.

Características	Teresina	Timon
Estado brasileiro	Piauí (PI)	Maranhão (MA)
População estimada em 2019	864.845 habitantes	169.107 habitantes
População pesquisada em 2010	814.230 habitantes	155.460 habitantes
População urbana em 2010	80,54%	71,15%
Densidade populacional em 2010	584,94 habitantes/km ²	89,18 habitantes/km ²
Área urbana total estimada em 2019	168,64 km ²	39,49 km ²
Índice de Desenvolvimento Urbano (IDH) em 2010	0,751	0,649
Produto Interno Produto (PIB) per capita	USD 6785,28	USD 3245,85

A área de estudo é definida de acordo com os bairros urbanos designados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010 (2013), mais um *buffer* de 1 km, que inclui todo o território urbano atual correspondente a essas cidades.

De acordo com a classificação Köppen, o clima da área é tropical e corresponde ao tipo Aw. Há uma pequena variação na amplitude térmica na área da CTT como um ambiente semiárido, com uma média anual de 27,6°C. Em relação à precipitação, o valor da média anual é de 1349 mm, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, de dezembro a maio, e uma seca, de junho a novembro (MARENGO *et al.*, 2019; PAREDES-TREJO; BARBOSA; LAKSHMI KUMAR, 2017). Na área da CTT, a variação interanual de precipitação é relacionada às características atmosféricas e oceânicas de ampla escala. Anomalias pluviiais são parcialmente atribuídas aos fenômenos do *El Niño* e da Oscilação do Sul (ENSO). A variação interanual de precipitação também se relaciona a anomalias na temperatura superficial do mar (TSM) no Atlântico e a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCI) (LEMOS *et al.*, 2002; SANTOS; DE FARIAS, 2017). Essas variações influenciam diretamente a média de temperaturas na região, contexto no qual Marengo *et al.* (2019) também reportaram secas recorrentes.

6.2.2 Dados de sensoriamento remoto e censo

Dados usados neste estudo abrangem: (1) dados de sensoriamento remoto, incluindo bandas multiespectrais e térmicas de Landsat-5 (L5), Landsat-7 (L7), Landsat-8 (L8) e Sentinel-2 (S2) (apenas multiespectral), acessadas via plataforma do *Google Earth Engine* (GEE) e (2) dados do censo de 2010 agregados à unidade de coleta do censo do IBGE (2013). Os mapas de classificação de LULC, derivados das multibandas espectrais, incluíram seis tipos de classes temáticas: Área Urbana, Solo Descoberto, Agricultura ou Pastagem, Água, Savana e Floresta. Primeiramente, gerou-se os mapas de LULC de 2000 a 2018, considerando a classificação de mosaicos de pixel anuais da coleta de Landsat. Processou-se a classificação do mosaico de pixel anual da coleta de Sentinel-2 para a geração do mapa 2019 de LULC (Tabela 6-2).

Tabela 6-2 - Cobertura temporal para os dados Landsat e Sentinel-2

Sensor/Satélite ¹⁰	Coleção Filtrada	Resolução Espacial
TM Landsat-5 (L5)	2000 a 2011	30 m
ETM+ Landsat-7 (L7)	2012	30m
OLI Landsat-8 (L8)	2013 a 2018, e 2019 (somente TIR)	30m
MSI Sentinel-2 (S2)	2019	10 m
MSI Sentinel-2 (S2)	2019	20 m (somente Banda 11)

¹⁰ *Thematic Mapper* (TM) Landsat-5 (L5), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) Landsat-7 (L7), *Operational Land Imager* (OLI) Landsat-8 (L8) e *MultiSpectral Instrument* (MSI) Sentinel-2 (S2).

O procedimento de fluxo de trabalho é descrito por Carneiro, Lopes e Espindola (2021b). Foram utilizados dados de reflectância de superfície atmosféricamente corrigida (RS). Os mosaicos anuais foram criados a partir do agrupamento de pixels de diferentes imagens coletadas de 1 de julho a 30 de setembro (ALENCAR *et al.*, 2020). Variáveis de entrada adicionais foram integradas ao procedimento de classificação a partir da adição de valores de: Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Melhorada 2 (EVI2), Índice de Construção de Diferença Normalizada (NDBI) dos conjuntos de dados Landsat e Sentinel-2 e o valor de inclinação do *shuttle radar topography mission* (SRTM). Foram selecionados os parâmetros ideais para o algoritmo *random forest* (RF) na plataforma GEE para fins de processamento da classificação. A avaliação da precisão para cada mapa de classificação de LULC foi realizada com a utilização de duas métricas mais amplamente empregadas na literatura – Precisão Global (PG) e Coeficiente de Kappa (CK) – e todos os resultados da classificação mostraram altos valores para ambos, variando de 90% a 95%.

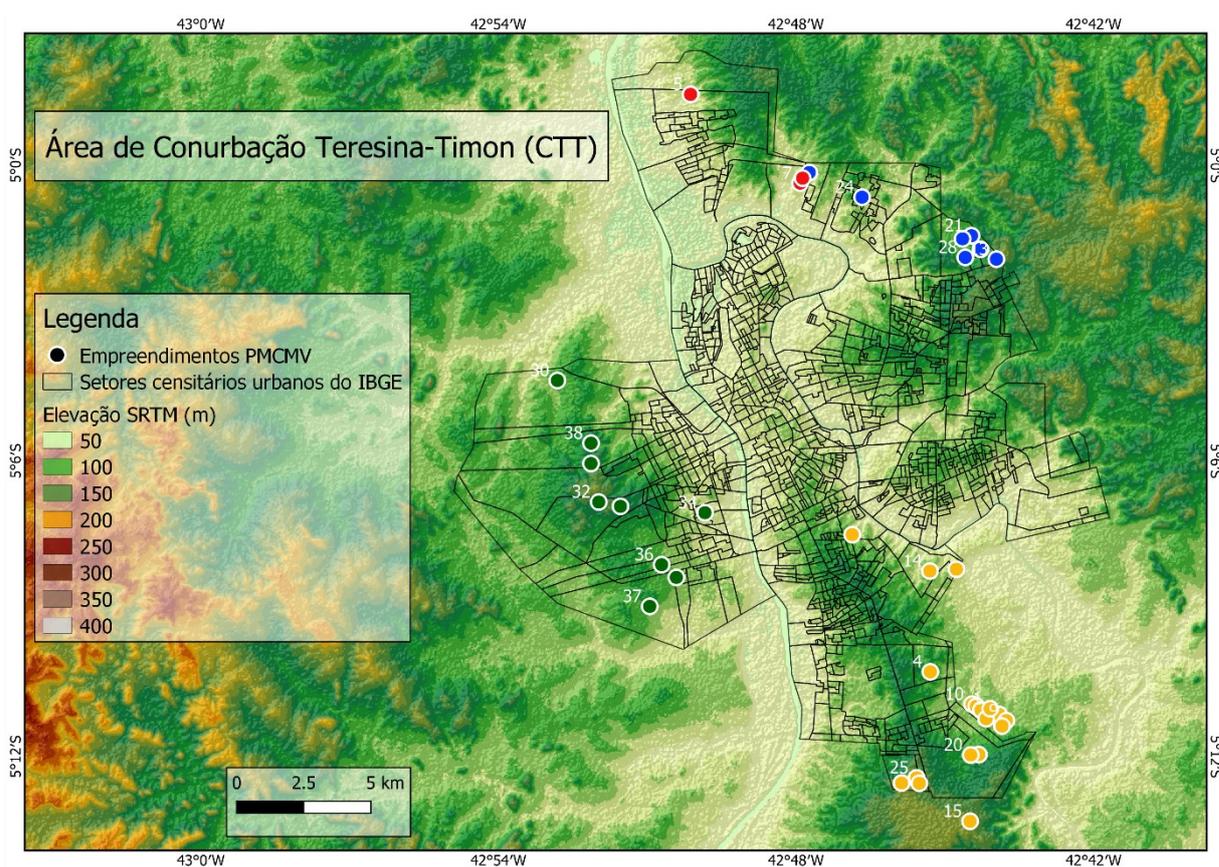
As estimativas da temperatura da superfície da terra (TST) foram igualmente obtidas por meio da plataforma *Google Earth Engine*, considerando o conjunto da série temporal Landsat descrito na Tabela 6-2. As estimativas de TST foram acessadas a partir de canais de infravermelho térmico (IVT) de satélites das séries Landsat primariamente aplicáveis em estudos locais e de pequena escala. Portanto, adaptou-se o código da GEE com base em Ermida *et al.* (2020) aplicando os valores de emissividade superficial para os anos de 2000, 2010 e 2019.

Os dados demográficos foram obtidos por meio do IBGE, agregados em um nível de bloco censitário em relação ao ano de 2010 (Figura 6-2). Esses dados são os mais atuais acessíveis em uma escala espacial e o que contêm a maior quantidade de variáveis socioeconômicas. A metodologia aplicada para computar o índice de vulnerabilidade social foi descrita por Freitas *et al.* (2018), que utilizaram o índice de vulnerabilidade composto construído a partir de três indicadores sintéticos: (i) Indicador da Vulnerabilidade da Estrutura Social (IVES), que computa a densidade residencial e a proporção de pessoas alfabetizadas responsáveis pelas residências; (ii) Indicador de Vulnerabilidade da Estrutura Residencial (IVER), que computa a proporção do abastecimento de água de banheiros, coleta de lixo e eletricidade nas residências e (iii) indicador de vulnerabilidade da infraestrutura urbana (IVIU), que computa a proporção de iluminação pública, estradas pavimentadas e arborização em residências vizinhas.

Também se utilizou as trinta e oito (38) localizações de empreendimentos do PMCMV (Figura 6-2) para a análise da variabilidade do calor espacial. Agregou-se os dados da média

mensal da temperatura do ar coletados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dados de uma estação meteorológica localizada no centro da área da CTT, na cidade de Teresina e mantida pela EMBRAPA Meio Norte. A estação fornece os dados de temperaturas do ar máxima, mínima e média, velocidade do vento, umidade relativa média do ar, precipitação, pressão e radiação líquida.

Figura 6-2 – Setores censitários urbanos de 2010 na área da CTT (polígonos de borda preta). Localização dos empreendimentos do programa federal de residências ‘Minha Casa, Minha Vida’ construídas após 2009 (pontos coloridos). Mapa de elevação do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (ao fundo).



6.2.3 Métrica espacial para medir a expansão urbana e seus impactos na população local

A partir das classificações de LULC, foram gerados dados sintéticos de varredura nos quais pixels nas classes temáticas ‘Área Urbana’ foram categorizados com valor igual a ‘1’, enquanto todos os restantes foram marcados com valor igual a ‘0’. Dentre os vários indicadores que foram desenvolvidos para avaliar a expansão urbana, adotou-se duas mensurações propostas por Zhou *et al.* (2019): consumo de terra per capita (CTpC), para medir a densidade e Coeficiente Global de Moran I (MCoef), para computar o agrupamento.

O Coeficiente Global de Moran (I) é provavelmente o indicador mais comumente empregado para medir simultaneamente a autocorrelação espacial baseada em localizações e valores determinados. A inferência para Moran I se baseia na hipótese nula de aleatoriedade espacial, um índice que testa a autocorrelação espacial em características geográficas e manipula três padrões de distribuição: aleatoriedade ($I = 0$), agrupamento ($I > 1$) e dispersão ($I < 1$) (ESTIRI, 2012). Nesse estudo, o Coeficiente Global de Moran (I) reflete a autocorrelação espacial do território urbano, abrangendo de -1 a 1. Portanto, altos valores positivos do MCoef indicam que áreas de alta densidade são estreitamente agrupadas.

Diversos estudos têm demonstrado que o MCoef é capaz de diferenciar a compacidade a partir da dispersão e representa um indicador eficaz para medir o grau de compacidade (RAHMAN, 2012; TSAI, 2005; ZHOU *et al.*, 2019). Por outro lado, o consumo de terra per capita foi calculado como a área urbana total pela população total, quantificando a área desenvolvida de cada cidadão. O CTpC é um indicador relevante por ser facilmente comparável em todo o mundo. Calculou-se as medidas tanto do CTpC quanto do MCoef em duas escalas espaciais: a resolução de grade de 30 m 30 m, entre 2000 e 2018 (séries Landsat) e a uma resolução de grade de 10x10 m em 2019 (Sentinel-2).

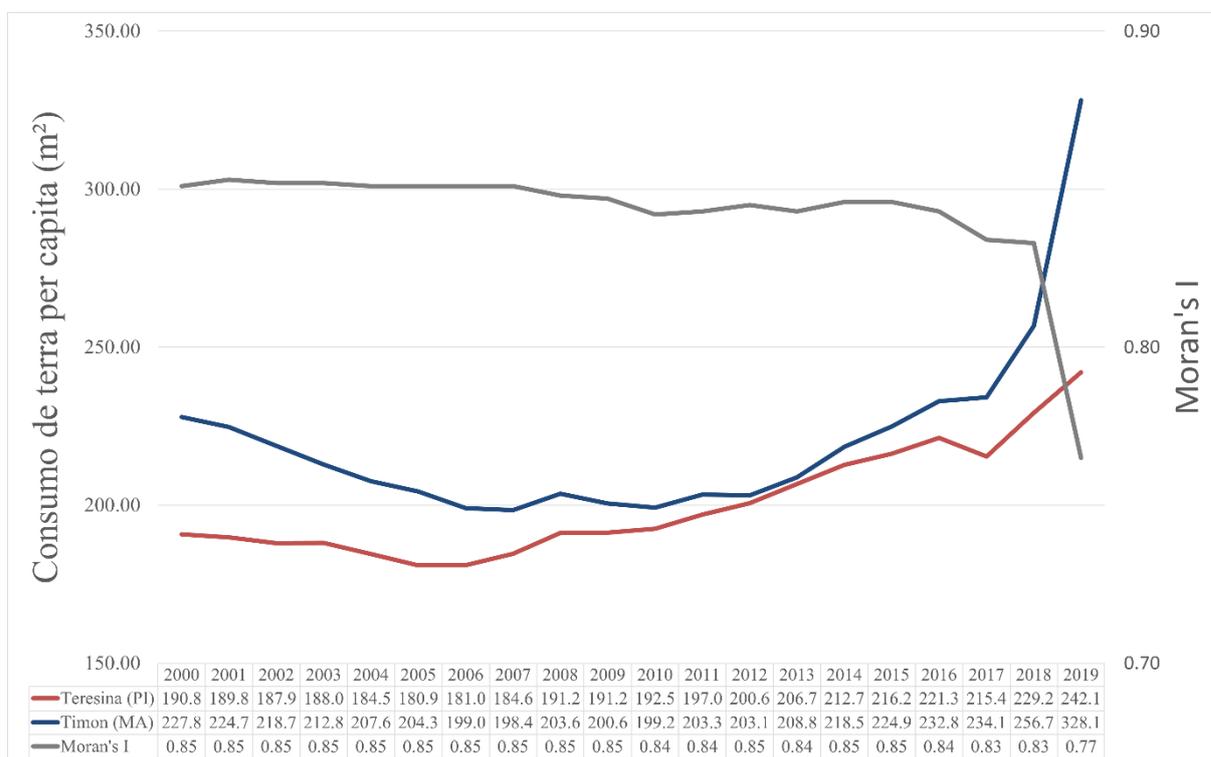
Foram também computados os valores de I de Moran local bivariado para medir a autocorrelação espacial entre as variáveis selecionadas considerando a agregação dos dados na escala espacial com uma resolução de grade de 100x100m. A estatística I de Moran local bivariado foi medida entre: (I) as classes temáticas *Área urbana* em 2000, 2010 e 2019 e a temperatura da superfície da terra (TST) em 2000, 2010 e 2019, respectivamente, e (B) índice de vulnerabilidade social (IVS) — e seus indicadores sintéticos (IVES, IVER e IVIU) — em 2010 e a temperatura da superfície da terra (TST) em 2000, 2010 e 2019.

6.3 Resultados

6.3.1 Padrões de ocupação de terra e adensamento da área CTT

O consumo de terra per capita na área da CTT apresentou uma aparente tendência de decréscimo entre 2000 e 2006, seguida por um período de incremento de 2007 a 2019 (Figura 6-3). A Figura 6-3 também demonstra que Teresina e Timon apresentaram a mesma velocidade de expansão urbana (CARNEIRO; LOPES; ESPINDOLA, 2021) e mudanças na densidade populacional. Em Teresina, o CTpC variou de 190,83 m² (2000) a 181,00 m² (2006) e de 184,67 m² (2007) a 242,11 m² (2019), já em Timon, o CTpC variou de 227,89 m² (2000) a 199,05 m² (2006) e de 198,42 m² (2007) a 328,19 m² (2019).

Figura 6-3 - Consumo de terra per capita (CTpC) e o coeficiente global de Moran I (MCoef) do território urbano na área da CTT de 2000 a 2019



Fonte: Elaborado pelo autor.

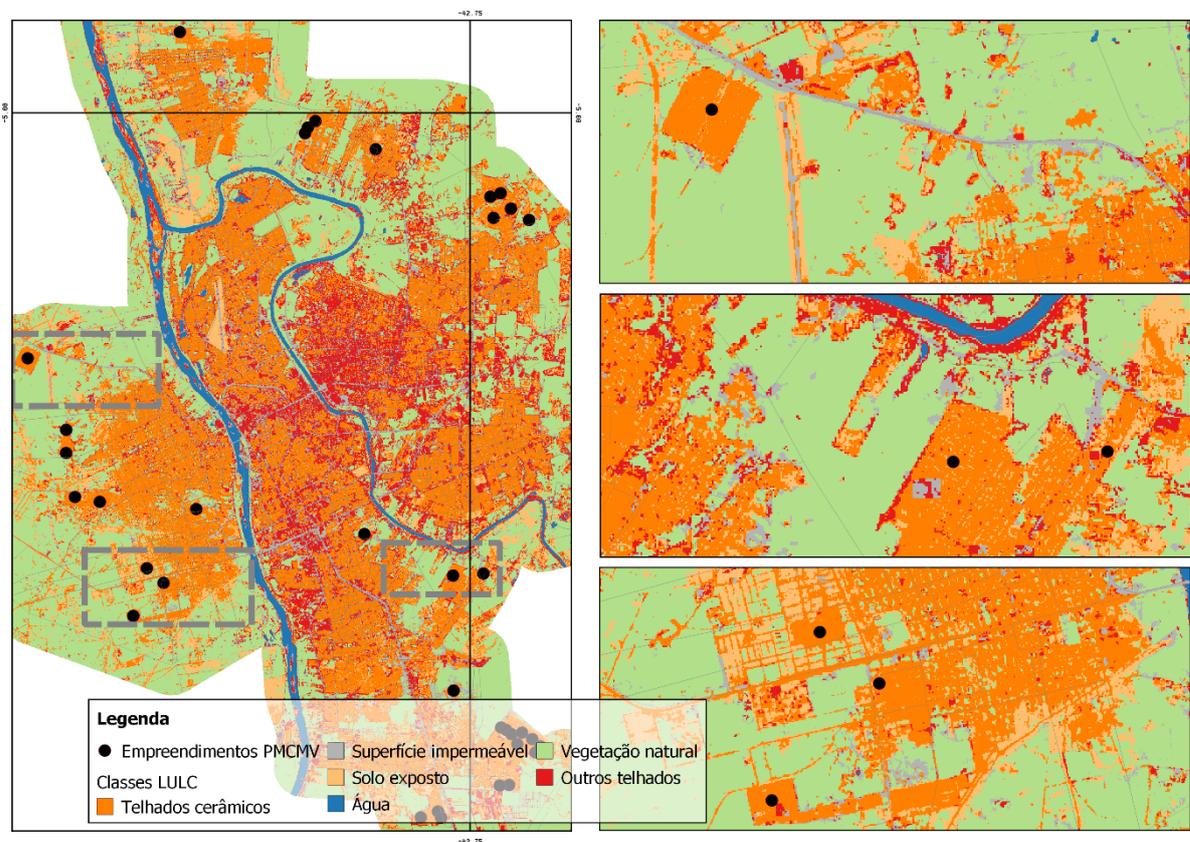
Os resultados demonstram que Teresina e Timon apresentaram padrões de variações de CTpC semelhantes. Timon permaneceu constantemente com valores de CTpC mais altos que Teresina ao longo dos anos. Tal tendência se dá primariamente devido aos baixos padrões de verticalização em Timon, cidade na qual a verticalização nas edificações é praticamente inexistente. Em comparação a centros urbanos brasileiros mais amplos, Teresina também apresenta um padrão baixo de verticalização de edifícios, sendo que seu processo de verticalização ainda é muito concentrado em sua zona leste, onde reside a maioria dos habitantes de alta renda (ESPINDOLA; CARNEIRO; FAÇANHA, 2017).

Outro possível fator para os valores mais altos de CTpC em Timon seria o baixo preço da terra na cidade em comparação à Teresina. Parte dos habitantes de Timon é composta de pessoas que mantêm suas rotinas profissionais e sociais em Teresina, uma tendência explicada pelos preços mais baixos de terra e residências em Timon, permitindo o estabelecimento de unidades residenciais mais amplas (MAGALHÃES, 2004). Assim como vários outros exemplos de cidades-dormitório no Brasil (OJIMA *et al.*, 2010; OJIMA; PEREIRA; SILVA, 2016), o movimento pendular existente na CTT nos ajuda a reforçar a hipótese de que as duas

idades apresentam os mesmos processos e agentes de expansão urbana. Ademais, isso reforça que os perímetros urbanos dessas duas cidades formam uma única unidade, apesar de estarem inseridos em diferentes organizações políticas e legais em um nível municipal e estadual.

Entre 2007 e 2019, a Figura 6-3 ilustra as curvas crescentes de CTpC para Teresina e Timon. Como resultado da dispersão do tecido urbano, observou-se o surgimento de espaços urbanos vazios localizados entre as regiões centrais consolidadas de Teresina e Timon, bem como as novas áreas de ocupação periférica apresentadas na Figura 6-4 (pontos pretos). Há uma especulação imobiliária dos espaços urbanos vazios e uma valorização das áreas que antes pertenciam a zonas rurais. Além disso, tal ocupação periférica sempre se caracteriza por uma infraestrutura urbana deficiente que serve aos seus habitantes inadequadamente. Os resultados mostram que a construção de imóveis residenciais representa um importante fator impulsionador de expansão urbana na área da CTT.

Figura 6-4 - Mapa de LULC de 2019 derivado dos dados de Sentinel-2. Detalhamento dos empreendimentos do PMCMV dentro do tecido urbano (à direita).



Fonte: Elaborado pelo autor.

O MCoef foi empregado para avaliar esse deslocamento da franja urbana, demonstrando uma tendência de queda (2010–2019) após vários anos de valores constantes (2000–2009) (Figura 6-3). Valores de MCoef mais baixos implicam organizações urbanas menos compactadas e conectadas. Tal tendência de queda é consistente com a existência de espaços urbanos vazios (Figura 6-4) deixados pela retomada do programa nacional de residências que favorece a ocupação das áreas periféricas.

6.4 Microclimas Locais e a Vulnerabilidade Social

Teresina e Timon são cidades com altas temperaturas médias do ar. Ambas vem perdendo parte da sua cobertura de vegetação em seus processos de expansão urbana, o que se opõe a uma condição ideal para promover sombra e conforto térmico, bem como manter a umidade relativa do ar.

As análises dos dados da média mensal de temperatura do ar revelaram uma tendência de aumento em 2000 e 2019, já em agosto de 2000, 2010 e 2019, as temperaturas do ar medidas foram de 26,87, 27,71 e 28,41 °C, respectivamente. Estudos climatológicos relataram que secas na região estão se tornando mais severas, com uma significativa tendência de declínio para a precipitação anual, que se associa ao aumento na temperatura do ar (MARENGO *et al.*, 2020; MARENGO; BERNASCONI, 2015; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017).

A temperatura da superfície da terra (TST) estabelece uma estimativa da distribuição espacial e variabilidade na temperatura ambiente, como parâmetro, e representa um indicador crítico da qualidade de vida da população, uma vez que permite analisar as mudanças no conforto térmico (WANG *et al.*, 2021). Em geral, a substituição gradual de cobertura vegetal por áreas residenciais e comerciais resulta em um aumento significativo de TST. Ademais, diferentes tipos de material para telhado influenciam diretamente a dinâmica da temperatura. Materiais para telhado são, em geral, cerca de 20°C mais elevados que a água ou vegetação (LEUZINGER; VOGT; KÖRNER, 2010).

A Figura 6-5 traz os mais elevados valores de temperatura nas áreas urbanizadas e densamente povoadas. Ao longo desses anos (2000, 2010 e 2019), surge um significativo aumento na TST na região da CTT. Os tons em azul (temperaturas baixas) em 2000 foram gradualmente substituídos por mais tons em vermelho (temperaturas altas) em 2019. A comparação entre os anos 2000 e 2019 demonstra que as áreas azuis no tecido urbano da CTT foram praticamente suprimidas. Ao analisar-se cada ano, o que se observa é que, em geral, há áreas periféricas com alta variação de temperatura, particularmente quando se comparam os

mapas de 2010 e 2019. Há uma forte associação entre a elevação da temperatura nas áreas dos empreendimentos do PMCMV.

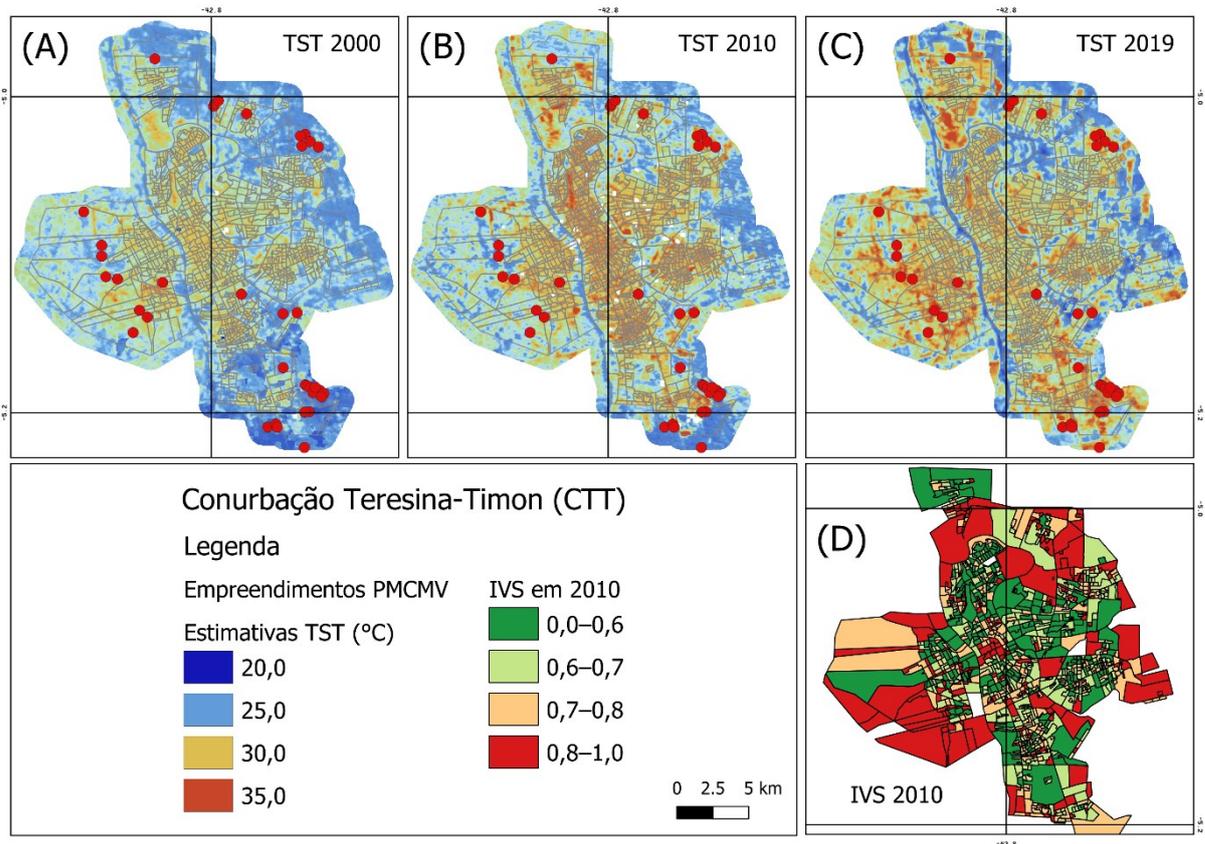
A Figura 6-5D apresenta a distribuição espacial do índice de vulnerabilidade social (IVS) em 2010. Valores de IVS mais baixos aparecem nas zonas centrais de Teresina–Timon e na zona leste de Teresina, enquanto valores mais altos de IVS se concentram nas zonas periféricas.

A Tabela 6-3 mostra os resultados da Estatística Bivariada de Moran considerando os seguintes fatores: o território urbano total em 2000, 2010 e 2019 e TST nesses anos, respectivamente, e o índice de vulnerabilidade social (IVS) — e seus indicadores sintéticos (IVES, IVER e IVIU) — em 2010 e TST em 2000, 2010 e 2019.

Os resultados apontam que a associação entre cobertura de terra e a temperatura da superfície da terra é significativamente positiva e aumentou de 0,538 em 2000, com 0,556 em 2010, e em 0,574 em 2019. Os resultados confirmam que superfícies urbanas impermeáveis são comumente identificadas a partir de um TST mais elevado em comparação aos tipos naturais de LULC (GOLDBLATT *et al.*, 2021). Por outro lado, a associação entre o IVS e seus indicadores sintéticos é majoritariamente negativa. Entretanto, observa-se uma diminuição dessas tendências negativas ao longo dos anos, uma associação negativa que sugere que os habitantes mais vulneráveis residem em áreas com baixos valores de temperatura superficial, o que poderia ser explicado pela cobertura natural que permaneceu em áreas periféricas.

Todos os indicadores sintéticos (IVES, IVER e IVIU) mantiveram essa associação negativa, sendo que o indicador de vulnerabilidade da estrutura residencial (IVER) obteve os valores negativos mais elevados. Em 2019, o indicador de vulnerabilidade da infraestrutura urbana (IVIU) apresentou uma associação positiva, indicando que mesmo as zonas periféricas se tornaram mais quentes.

Figura 6-5 - Estimativas de temperatura da superfície da terra (TST) na área da conurbação de Teresina-Timon em 2000 (A), 2010 (B) e 2019 (C). Distribuição espacial do índice de vulnerabilidade social (IVS) em 2010 (D).



Fonte: Elaborado pelo autor.

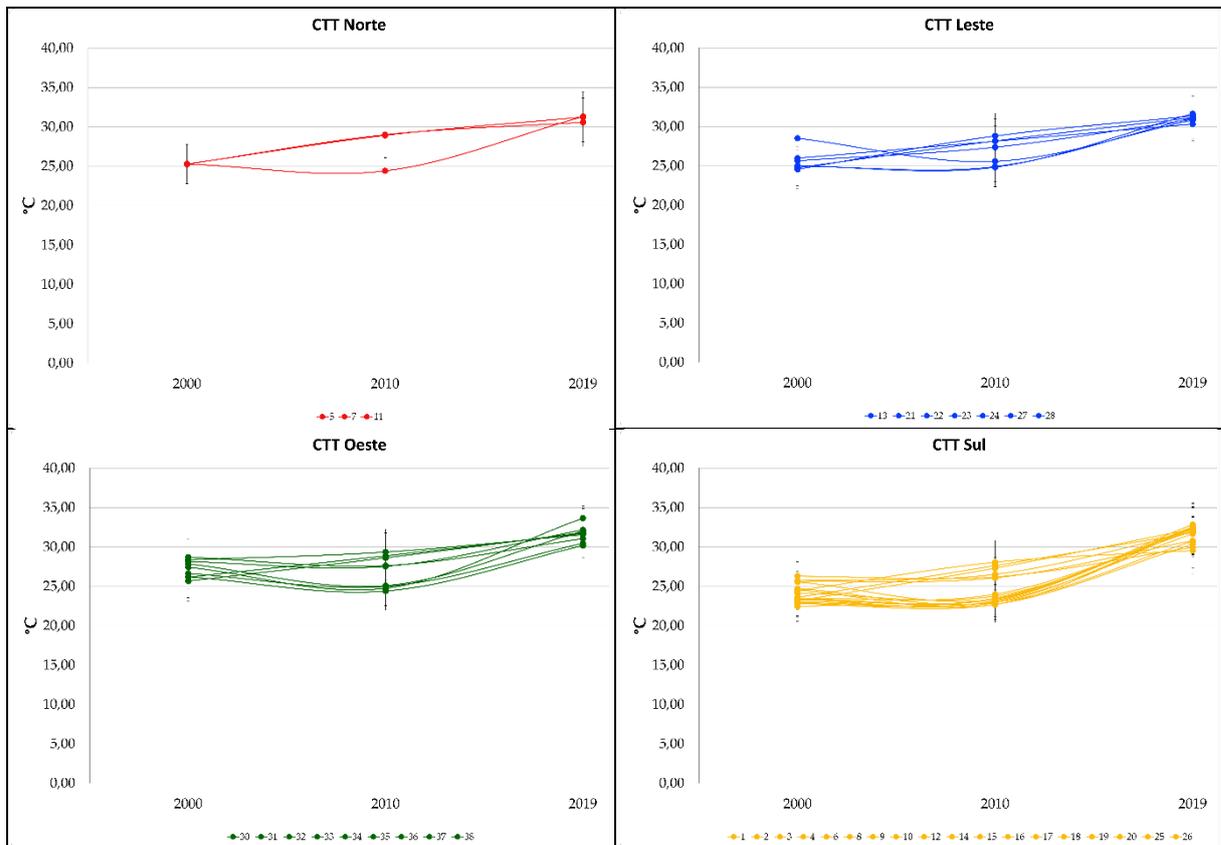
Tabela 6-3 - Bivariado de Moran I computado entre: as classes temáticas Área Urbana e a temperatura da superfície da terra e o índice de vulnerabilidade social (IVS) — e seus indicadores sintéticos (IVES, IVER e IVIU) — em 2010 e a temperatura da superfície da terra.

Moran I Bivariado	TST 2000	TST 2010	TST 2019
2000 Urbano	0,538	-	-
2010 Urbano	-	0,556	-
2019 Urbano	-	-	0,574
IVS	-0,119	-0,098	-0,063
IVES	-0,114	-0,075	-0,074
IVER	-0,133	-0,084	-0,015
IVIU	-0,123	-0,103	0,096

A Figura 6-6 ilustra as variações na TST nas localizações onde os complexos residenciais do PMCMV foram estabelecidos. Esses gráficos apresentam uma clara tendência de elevação de temperaturas após o estabelecimento desses complexos a partir de 2009. Demonstra-se que a implementação do PMCMV influenciou o aumento de cerca de 5 a 10°C

no microclima local. Mesmo confirmando que as mudanças na TST são apenas um indicador para a ilha de calor urbana superficial (ICUS), os resultados demonstram que a tendência de implementação de assentamentos residenciais e respectivos impactos são evidentes na qualidade do conforto térmico.

Figura 6-6 - Temperatura da Superfície da Terra (TST) em 2000, 2010 e 2019 para cada localização onde um empreendimento do PMCMV foi instalado, agrupando nas direções: Norte, Leste, Oeste e Sul na área da CTT.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5 Discussão

A área da CTT vem vivenciando uma vasta expansão urbana desde 1980 (CARNEIRO; LOPES; ESPINDOLA, 2021; ESPINDOLA; CARNEIRO; FAÇANHA, 2017). O aumento das terras urbanas desenvolvidas é superior àquele de áreas metropolitanas consolidadas no Brasil (MOSCHETTO; RIBEIRO; DE FREITAS, 2021). Esse acelerado desenvolvimento urbano foi diretamente associado a mudanças no consumo de terra per capita. As métricas comumente empregadas para medir a compactidade da expansão urbana, CTpC e MCoef, sugerem uma forma de urbanização menos compactada e com uma tendência de dispersão.

Até 2006, o ritmo de expansão urbana em Teresina e Timon era mais lento que o de crescimento populacional, caracterizando um processo de compactação urbana. No entanto,

essa realidade não foi desenhada pelo decréscimo no déficit residencial. Durante esse período, políticas residenciais nacionais tiveram menos expressão na área de estudo, com menos áreas em expansão que a população em aumento (REN, 2018; VALENÇA; BONATES, 2010).

Em 2009, o início do programa residencial PMCMV resultou em uma ocupação urbana periférica mais intensa. Como regra, programas brasileiros de residências se direcionaram à orla urbana a partir da aquisição de terras mais distantes do centro consolidado e desvalorizadas no ponto de vista imobiliário, buscando assim uma massiva disseminação de unidades residenciais ao mínimo custo possível. Essa é uma prática que gera pressão por expansão da área urbana, resultando em uma ocupação per capita da terra mais ampla e um consequente decréscimo na compactação urbana (BIDERMAN; HIROMOTO; RAMOS, 2018; NETO; MOREIRA; SCHUSSEL, 2012).

Em comparação a outras realidades internacionais, os valores de CTpC encontrados para a área da CTT foram semelhantes àqueles descritos por Zhou *et al.* (2019) para a enorme região de Beijing, na China. Entretanto, os valores de MCoef foram muito mais altos para a CTT, o que indica que o processo de expansão urbana nessa área ocorreu de uma maneira muito mais centralizada, provavelmente devido à pressão população mais baixa. Esse é um aspecto que permite compreender melhor as características da expansão urbana, oferecendo políticas públicas de planejamento urbano essenciais.

Ademais, as duas medidas empregadas, CTpC e MCoef, tiveram valores extremos em 2019. Nesse contexto, valores mais altos de CTpC e mais baixos de MCoef são diretamente relacionados à resolução espacial do satélite Sentinel-2, empregados para gerar o mapa de LULC para aquele ano. Neste trabalho, um dos fatores que motivou o uso de diferentes escalas de análise foi a crescente disponibilidade de plataformas de computação em nuvem que utilizam dados de sensoriamento remoto de diversos sensores, tais como *Google Earth Engine* (GEE). O fácil uso dessas plataformas, combinadamente à ampla variedade de dados, torna ainda mais importante entender os impactos das escolhas metodológicas nos resultados da análise urbana. Zhou *et al.* (2019) evidenciaram as vantagens da análise espaço-temporal em múltiplas escalas.

Nas últimas duas décadas, o processo de expansão urbana na área da CTT tem influenciado a vulnerabilidade social de uma maneira homogênea em toda a região. A dinâmica de ocupação de terras periféricas para a implantação do Programa PMCMV é a mesma que ocorre em Teresina e Timon, resultando em CTpC mais alto e MCoef mais baixo. Essa tendência confirma que a área urbana tem se tornado mais abrangente, trazendo consigo consequências de tal fenômeno, tais como a distância do centro urbano, promoção de espaços urbanos vazios, substituição de cobertura vegetal por tecido urbano e impactos ambientais.

Estudos recentes revelam que áreas urbanas planejadas são menos vulneráveis socialmente que áreas urbanas informalmente desenvolvidas. No contexto da área da CTT, o Programa PMCMV é derivado de planejamento urbano formal, entretanto, esses assentamentos são comumente implementados com uma qualidade inferior de segurança de posse e estrutura residencial. Portanto, como demonstrado por Bhanjee e Zhang (2021), a implementação do Programa PMCMV na área da CTT se relaciona mais à dispersão de áreas com maior vulnerabilidade social, especialmente considerando os aspectos de qualidade de vida (como o conforto térmico) e mobilidade. Áreas com um desenvolvimento disperso do uso da terra resultam na destruição do ambiente natural e da terra agrícola nas áreas periurbanas, levando a diferentes formas de poluição, saneamento precário e serviços urbanos reduzidos e baixa densidade.

Em relação ao conforto térmico, as baixas latitudes das áreas do semiárido brasileiro são responsáveis pelas altas temperaturas nas cidades. Juntamente às mudanças em UTCT, são geradas alterações no equilíbrio energético, evidenciadas na geração de ICUS (HAASHEMI *et al.*, 2016; MOHAMMAD; GOSWAMI; BONAFONI, 2019). ICUS é um importante exemplo de impacto antropogênico no ambiente, especialmente no âmbito da interação humano-ambiente por meio do processo de urbanização, principalmente no contexto de mudança climática.

Além disso, temperaturas do ar elevadas em ambientes urbanos são identificadas como fator causal em problemas de saúde progressivos, tais como doenças cardiovasculares e respiratórias. Na área da CTT, o aumento médio na TST tem sido associado à alteração no LULC e à implementação das residências do programa PMCMV. Houve um aumento considerável na TST, principalmente nas áreas onde os complexos residenciais foram estabelecidos.

6.6 Conclusões

Plataformas de computação em nuvem vêm mudando a maneira com a qual integramos e analisamos dados de sensoriamento remoto (CARNEIRO; LOPES; ESPINDOLA, 2021). Os dados gratuitamente acessíveis associados a essas plataformas permitem compreender o ritmo dos processos de urbanização (MUGIRANEZA; NASCETTI; BAN, 2020; TAMIMINIA *et al.*, 2020). Dados históricos ligados à dinâmica populacional permitem analisar as interrelações entre expansão urbana e impactos sociais. Ademais, uma melhor resolução espacial dos dados disponíveis, como é possível a partir do Sentinel-2 (MOHAMMADNEJAD, 2020), permite que

se caracterize o tecido urbano e a associação da ampliação da superfície impermeável artificial urbana aos padrões mais elevados de ilha de calor urbana superficial (RANAGALAGE *et al.*, 2020; WANG, Z. *et al.*, 2020).

Neste estudo, utilizou-se uma combinação de dados espaciais e mensurações para discutirmos as relações entre expansão urbana e seus impactos na população local de uma conurbação urbana no nordeste brasileiro. Empregou-se uma combinação de dados de sensoriamento remoto e dados do censo para medir a variação no consumo de terra ao longo do tempo e a implicação de densidades urbanas mais elevadas no conforto térmico local.

Os dados e métodos utilizados demonstraram ser significativamente relevantes no âmbito da integração dessas análises. Muitos estudos no contexto da América Latina enfocam na expansão urbana ou no aumento da temperatura local sem integrar esse tipo de análise. Monitorar as interligações entre processos de urbanização e a vulnerabilidade social é crucial para uma manutenção sustentável de centros urbanos e permitir o assentamento de mais saudáveis em ambientes residenciais.

As principais conclusões são as seguintes: o uso de plataformas de computação em nuvem e dados de sensoriamento remoto trazem um ganho significativo a partir de uma resolução espacial mais alta para computar métricas urbanas espaciais, o programa residencial PMCMV é um dos principais impulsionadores da recente expansão urbana na área da CTT, e os assentamentos do PMCMV influenciam diretamente o conforto térmico local, contribuindo para a intensificação da ilha de calor urbana superficial.

Os resultados destacam a importância de quantificar a expansão urbana em escalas temporais e espaciais múltiplas considerando os indicadores quantitativos. Os resultados descritos neste estudo podem aprimorar o entendimento acerca da vulnerabilidade social urbana e dos fatores de planejamento urbano (uso e dispersão de terra) em políticas públicas urbanas. Na área da CTT, como um exemplo de áreas menos desenvolvidas no sul do globo, tais análises podem preencher as lacunas derivadas da ausência de medidas de campo.

7 CONCLUSÕES

Considerando os aspectos relacionados ao monitoramento da expansão urbana em cidades médias do nordeste brasileiro utilizando sensoriamento remoto, esta pesquisa é a primeira tentativa de avaliar plataformas de computação em nuvem, com o uso de estruturas de dados abertos e gratuitos, para o planejamento e a gestão urbana destas cidades.

Sabe-se que no Brasil, o orçamento municipal é sempre limitado para atender todas as demandas de uma cidade. Neste sentido, processos e rotinas que facilitem esta gestão devem ser priorizados, principalmente em ambientes de pesquisa aplicada. Os resultados desta pesquisa demonstraram que a plataforma *Google Earth Engine* se mostrou compatível com estas demandas, por disponibilizar dados de sensoriamento remoto em várias escalas temporais e espaciais, em conjunto com diversos algoritmos de processamento digital de imagens, e de apresentação e visualização de resultados.

Neste sentido, destaca-se entre os aspectos mais relevantes gerados a partir desta pesquisa os scripts e mapas produzidos, que serão amplamente disponibilizados, englobando o espaço urbano de Teresina e de Timon, sua expansão espraiada, características urbanas, assim como as mudanças de uso e cobertura da terra. Reforça-se que tais produtos podem orientar o desenvolvimento conjunto de políticas públicas que minimizem os efeitos negativos da expansão urbana e busquem mais equilíbrio entre espaços urbanizados e espaços verdes dentro da cidade para garantir a qualidade de vida da sua população.

Outra importante contribuição da presente pesquisa foi a concepção das manchas urbanas de Teresina e Timon como uma unidade, apesar de seus diferentes arranjos político-administrativos em nível municipal e estadual. Esta pesquisa foi a primeira a considerar esta conurbação urbana enquanto unidade. Muito tem se discutido sobre a Região Integrada de Desenvolvimento Econômico da Grande Teresina (RIDE Grande Teresina), no entanto, sem avançar, pelo menos a nível de pesquisa, no entendimento conjunto dos seus agentes e processos de transformação. Contudo, o presente trabalho contribuiu com dados e análises quantitativas no entendimento que as dinâmicas espaciais da expansão urbana na CTT são similares.

A realidade de que Teresina e Timon referem-se a um mesmo tecido urbano é pouco explorada na literatura local. Assim, esta pesquisa buscou apresentar suas características e tendências comuns, visando também facilitar e orientar o desenvolvimento de políticas públicas que levem em consideração o movimento pendular existente.

Foi possível observar que as cidades de Teresina e Timon apresentaram acelerado e simultâneo processo de crescimento urbano, com formas de ocupação rarefeita e espraiada, sem

ações efetivas do poder público, com impactos ambientais negativos significativos, conforme demonstrado no primeiro artigo da presente pesquisa.

O processo de ocupação urbana na CTT foi caracterizado ainda pela segregação de parcela da população, e por agentes públicos com atuações insuficientes para suprir as necessidades desta população periférica, que sofre com o aumento evidente do microclima local, conforme discutido no segundo artigo. Esse processo foi demonstrado como sendo uniforme em ambas as cidades, e os efeitos da expansão urbana na população da CTT são análogos.

Por fim, espera-se que estas informações possam servir como referência para a implementação de um sistema de monitoramento da expansão urbana da CTT e de outras cidades em mesmo contexto, combinando dados de sensoriamento remoto e dados secundários, visando melhorar o gerenciamento urbano e os impactos ambientais do desenvolvimento local.

8 REFERÊNCIAS

- ACUTO, Michele *et al.* Seeing COVID-19 through an urban lens. **Nature Sustainability**, [s. l.], v. 3, n. 12, p. 977–978, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00620-3>
- ACUTO, Michele; PARNELL, Susan; SETO, Karen C. Building a global urban science. **Nature Sustainability**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 2–4, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0013-9>
- AL-BILBISI, Hussam. Spatial Monitoring of Urban Expansion Using Satellite Remote Sensing Images: A Case Study of Amman City, Jordan. **Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 2260, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11082260>
- ALENCAR, Ane *et al.* Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 924, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12060924>
- ALENCAR, Paulo Gustavo de; ESPINDOLA, Giovana Mira de; CARNEIRO, Eduilson Lívio Neves da Costa. Dwarf cashew crop expansion in the Brazilian semiarid region: Assessing policy alternatives in Pio IX, Piauí. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 79, p. 1–9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.042>
- ALMAZROUI, Mansour *et al.* Application of Landsat Data for Urban Growth Monitoring in Jeddah. **Earth Systems and Environment**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 25, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41748-017-0028-4>
- ALVES, Humberto Prates da Fonseca *et al.* Dinâmicas de urbanização na hiperperiferia da metrópole de São Paulo: análise dos processos de expansão urbana e das situações de vulnerabilidade socioambiental em escala intraurbana. **Revista Brasileira de Estudos de População**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 141–159, 2010.
- ÂNTICO, Cláudia. Deslocamentos pendulares na região metropolitana de São Paulo. **São Paulo em Perspectiva**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 110–120, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-88392005000400007>
- AROCA-JIMENEZ, Estefania *et al.* Construction of an integrated social vulnerability index in urban areas prone to flash flooding. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 17, n. 9, p. 1541–1557, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1541-2017>
- AVTAR, Ram *et al.* Population–Urbanization–Energy Nexus: A Review. **Resources**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 136, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/resources8030136>
- AZEVEDO, Aroldo de. Embriões de Cidades Brasileiras. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 25, p. 31–69, 1957.
- AZEVEDO, Heloisa Pereira Lima; ALVES, Adriana Melo. Rides – por que criá-las? **Geografias**, Belo Horizonte, v. 06, n. 2, p. 87–101, 2010.
- BARTHOLOMÉ, E.; BELWARD, A. S. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 26, n. 9, p. 1959–1977, 2005. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/01431160412331291297>

BARTON, Jonathan R.; RAMÍREZ, María Inés. The Role of Planning Policies in Promoting Urban Sprawl in Intermediate Cities: Evidence from Chile. **Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 24, p. 7165, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11247165>

BATLLE-BAYER, Laura; BATJES, Niels H.; BINDRABAN, Prem S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 137, n. 1–2, p. 47–58, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.02.003>

BENEDETTI, Alessia; PICCHIANI, Matto; DEL FRATE, Fabio. Sentinel-1 and Sentinel-2 Data Fusion for Urban Change Detection. In: , 2018, Valencia. **IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**. Valencia: IEEE, 2018. p. 1962–1965. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8517586>

BERTINELLI, Luisito; STROBL, Eric. Urbanisation, urban concentration and economic development. **Urban Studies**, [s. l.], v. 44, n. 13, p. 2499–2510, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00420980701558442>

BHANJEE, Sheliza; ZHANG, Sumei. Do urban planning and sprawl affect social vulnerability? An assessment of Dar es Salaam. **Development Southern Africa**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 189–207, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0376835X.2020.1818549>

BHASKARAN, Rekha. Urban Void - a “Bypassed” Urban Resource. **SSRN Electronic Journal**, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3208217>

BHAT, Parvaiz A. *et al.* Urban sprawl and its impact on landuse/land cover dynamics of Dehradun City, India. **International Journal of Sustainable Built Environment**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 513–521, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.10.003>

BIDERMAN, Ciro; HIROMOTO, Martha H.; RAMOS, Frederico R. **The Brazilian Housing Program Minha Casa Minha Vida Lincoln Institute of Land Policy: Effect on Urban Sprawl**. [S. l.]: IEEE, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/resrep22034.1>.

BILAL, Usama *et al.* Inequalities in life expectancy in six large Latin American cities from the SALURBAL study: an ecological analysis. **The Lancet Planetary Health**, [s. l.], v. 3, n. 12, p. e503–e510, 2019. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30235-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30235-9)

BOEING, Geoff. Spatial information and the legibility of urban form: Big data in urban morphology. **International Journal of Information Management**, [s. l.], v. 56, p. 102013, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.09.009>

BOLAY, Jean Claude; RABINOVICH, A. Intermediate cities in Latin America risk and opportunities of coherent urban development. **Cities**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 407–421, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2004.07.007>

BOLOGNA, Mauro; AQUINO, Gerardo. Deforestation and world population sustainability: a quantitative analysis. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 7631, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63657-6>

BONGAARTS, John; O’NEILL, Brian C. Global warming policy: Is population left out in the

cold? **Science**, [s. l.], v. 361, n. 6403, p. 650–652, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aat8680>

BONINI, Isabelle *et al.* Collapse of ecosystem carbon stocks due to forest conversion to soybean plantations at the Amazon-Cerrado transition. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 414, p. 64–73, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.038>

BRASIL. **Decreto No. 4.367, de 9 de setembro de 2001**. Regulamenta a Lei Complementar No 112/2001, que autoriza o Poder Executivo a criar a Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina e instituir o Programa Especial de Desenvolvimento da Grande Teresina, e dá outras providências. BRASIL: [s. n.], 2002.

BRASIL. **Lei 10.257 de 10 de julho de 2001**. BRASIL: [s. n.], 2001.

BRASIL. **Lei 13.089, de 12 de janeiro de 2015**. Institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei No. 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. BRASIL: [s. n.], 2015.

BREIMAN, Leo. Random forests. **Machine Learning**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

BRENNER, Neil; SCHMID, Christian. The ‘Urban Age’ in Question. **International Journal of Urban and Regional Research**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 731–755, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12115>

BRITO, Fausto; HORTA, Claudia Julia Guimarães; AMARAL, Ernesto F. L. A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas. **OSFramework Preprints**, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31219/osf.io/84b92>

BRITO, Fausto; PINHO, Breno Aloísio T Duarte de. A dinâmica do processo de urbanização no Brasil, 1940-2010. *In:* , 2012, Águas de Lindóia-SP. (ABEP, Org.) **XVIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais**. Águas de Lindóia-SP: [s. n.], 2012.

BUENO-SUÁREZ, Carlos; COQ-HUELVA, Daniel. Sustaining What Is Unsustainable: A Review of Urban Sprawl and Urban Socio-Environmental Policies in North America and Western Europe. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 11, p. 4445, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12114445>

CAMERIN, Federico. La gestión de las áreas militares en Italia: dificultades para la reconversión y oportunidades a través de la “consulta pública”. **Bitácora Urbano Territorial**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 159–169, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n1.68386>

CAPROTTI, Federico *et al.* The New Urban Agenda: key opportunities and challenges for policy and practice. **Urban Research and Practice**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 367–378, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17535069.2016.1275618>

CARNEIRO, Eduilson; LOPES, Wilza; ESPINDOLA, Giovana. Urban Land Mapping Based on Remote Sensing Time Series in the Google Earth Engine Platform: A Case Study of the Teresina-Timon Conurbation Area in Brazil. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 1338, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13071338>

CARNEIRO, Gilberto Rodrigues; SILVA, Edjane Esmerina Dias da. Vazios urbanos: a não

utilização dos imóveis municipais em Campina Grande e o descumprimento da função social da propriedade. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [s. l.], v. 12, p. 1–12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.e20190294>

CARVALHO, Rodrigo Coelho De. As migrações e a urbanização no Brasil a partir da década de 1950 : um breve histórico e uma reflexão à luz das teorias de migração. **Revista Espinhaço**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 24–33, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3345139>

CASTRIOTA, Rodrigo; TONUCCI, João. Extended urbanization in and from Brazil. **Environment and Planning D: Society and Space**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 512–528, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0263775818775426>

CASTRO SILVA, Guilhermina; REIS LOPES, Wilza Gomes; MONTEIRO, Maria do Socorro Lira. Presença de condomínios horizontais fechados nas cidades contemporâneas: expansão e transformações do espaço urbano de Teresina, Piauí. **Geosul**, [s. l.], v. 30, n. 59, p. 145–167, 2015.

CELES, Clayson; BOUKERCHE, Azzedine; LOUREIRO, Antonio A. F. Crowd Management: A New Challenge for Urban Big Data Analytics. **IEEE Communications Magazine**, [s. l.], v. 57, n. 4, p. 20–25, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2019.1800640>

CHAUVIN, Juan Pablo *et al.* What is different about urbanization in rich and poor countries? Cities in Brazil, China, India and the United States. **Journal of Urban Economics**, [s. l.], v. 98, p. 17–49, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jue.2016.05.003>

CHAVES, Joaquim Raimundo Pereira. **Obra Completa: Monsenhor Chaves**. 2a. edição. Teresina: Fundação Municipal de Cultura Monsenhor Chaves, 2013.

CHAVES, Sammya Vanessa Vieira; LOPES, Wilza Gomes Reis. A vulnerabilidade socioambiental em Teresina, Piauí, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, [s. l.], v. 2, n. 47E, 2011.

CHEN, Danling *et al.* Measurement of the eco-environmental effects of urban sprawl: Theoretical mechanism and spatiotemporal differentiation. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 105, n. November 2018, p. 6–15, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.059>

CHEN, Guangzhao *et al.* Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways. **Nature Communications**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 537, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14386-x>

CHEN, Mingxing *et al.* Influence of urban scale and urban expansion on the urban heat island effect in metropolitan areas: Case study of beijing–tianjin–hebei urban agglomeration. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 21, p. 1–19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12213491>

COHEN, Barney. Urban growth in developing countries: A review of current trends and a caution regarding existing forecasts. **World Development**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 23–51, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.04.008>

- CONNOLLY, James J.T. From Systems Thinking to Systemic Action: Social Vulnerability and the Institutional Challenge of Urban Resilience. **City and Community**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 8–11, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/cico.12282>
- COQ-HUELVA, Daniel; ASIÁN-CHAVES, Rosario. Urban Sprawl and Sustainable Urban Policies. A Review of the Cases of Lima, Mexico City and Santiago de Chile. **Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 20, p. 5835, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11205835>
- CORBURN, Jason *et al.* Slum Health: Arresting COVID-19 and Improving Well-Being in Urban Informal Settlements. **Journal of Urban Health**, [s. l.], v. 97, n. 3, p. 348–357, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11524-020-00438-6>
- CORREIA FILHO, Washington Luiz Félix *et al.* Impact of urban decadal advance on land use and land cover and surface temperature in the city of Maceió, Brazil. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 87, n. January, p. 104026, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104026>
- CRETAN, Remus; MÁLOVICS, György; BERKI, Boglárka Méreiné. On the Perpetuation and Contestation of Racial Stigma: Urban Roma in a Disadvantaged Neighbourhood of Szeged. **Geographica Pannonica**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 294–310, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5937/GP24-28226>
- CRUZ, I.C.S.; ESPÍNDOLA, G.M.; CARNEIRO, E.L.N.C. Três décadas de expansão urbana e concentração populacional em Teresina, Piauí, Brasil. **Espacios**, [s. l.], v. 37, n. 24, 2016.
- DA MATA, Daniel *et al.* **Examining The Growth Patterns Of Brazilian Cities**. Washington, D. C., EUA: The World Bank, 2005. (Policy Research Working Papers).v. 1113 Disponível em: <https://doi.org/10.1596/1813-9450-3724>
- DE FREITAS ROCHA, Anárya Teresa *et al.* Visceral leishmaniasis and vulnerability conditions in an endemic urban area of Northeastern Brazil. **Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, [s. l.], v. 112, n. 7, p. 317–325, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/trstmh/try058>
- DERKZEN, Marthe L. *et al.* Shifting roles of urban green space in the context of urban development and global change. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, [s. l.], v. 29, p. 32–39, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.10.001>
- DESAI, Dhaval. Urban densities and the Covid-19 pandemic: Upending the sustainability myth of global megacities. **Observer Research Foundation**, [s. l.], v. 244, n. May, p. 1–38, 2020.
- DOBBS, Cynnamon *et al.* Urban ecosystem Services in Latin America: mismatch between global concepts and regional realities? **Urban Ecosystems**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 173–187, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0805-3>
- DODMAN, David; ARCHER, Diane; SATTERTHWAITTE, David. Editorial: Responding to climate change in contexts of urban poverty and informality. **Environment and Urbanization**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 3–12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0956247819830004>
- DRUSCH, M. *et al.* Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES

Operational Services. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 120, p. 25–36, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>

DUQUE, Juan C. *et al.* Spatiotemporal dynamics of urban growth in Latin American cities: An analysis using nighttime light imagery. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 191, p. 103640, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103640>

EL MENDILI, Lamiae *et al.* Towards a Multi-Temporal Deep Learning Approach for Mapping Urban Fabric Using Sentinel 2 Images. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 423, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12030423>

ERMIDA, Sofia L. *et al.* Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 9, p. 1471, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/RS12091471>

ESPINDOLA, Giovana Mira de; CARNEIRO, Edilson Lívio Neves da Costa; FAÇANHA, Antonio Cardoso. Four decades of urban sprawl and population growth in Teresina, Brazil. **Applied Geography**, [s. l.], v. 79, p. 73–83, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.018>

ESTIRI, Hossein. Tracking Urban Sprawl: Applying Moran's I Technique in Developing Sprawl Detection Models. *In:* , 2012. (Rula Awwad-Rafferty & Lynne C. Manzo, Org.) **Emergent Placemaking: Proceedings of the 43rd Annual Conference of the Environmental Design Research Association. EDRA 43 Seattle**. [S. l.]: Environmental Design Research Association, 2012. p. 47–53.

EWING, Reid; HAMIDI, Shima. Compactness versus Sprawl. **Journal of Planning Literature**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 413–432, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0885412215595439>

FAÇANHA, Antonio Cardoso; VIANA, Bartira Araújo da Silva. Planejamento e gestão urbana em Teresina (PI): notas da agenda 2015 como Plano Diretor. **Revista Equador (UFPI)**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 60–78, 2012.

FAHY, Benjamin *et al.* Spatial analysis of urban flooding and extreme heat hazard potential in Portland, OR. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 39, n. September 2018, p. 101117, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101117>

FERGUSON, B. W. Inducing local growth: two intermediate-sized cities in the state of Parana, Brazil. **Third World Planning Review**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 245–265, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.3828/twpr.14.3.q7252217uxj60h08>

FREITAS, Camila Rizzini; D'AVIGNON, Alexandre Louis de Almeida; CASTRO, Ana Célia. Urban social vulnerability and climate change in Rio de Janeiro city associated with population mobility. **Journal of Environmental Policy & Planning**, [s. l.], v. 21, n. 6, p. 797–810, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1674135>

FREITAS, Ruskin. Regiões Metropolitanas: uma abordagem conceitual. **Revista Hum@nae**, [s. l.], v. 4, n. 1, 2012.

FREY, William H; SPEARE, Alden. The Revival of Metropolitan Population Growth in the United States: An Assessment of Findings from the 1990 Census. **Population and**

Development Review, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 129, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1971864>

FRICK, Susanne A.; RODRÍGUEZ-POSE, Andrés. Big or Small Cities? On city size and economic growth. **Growth and Change**, [s. l.], v. 49, n. 1, p. 4–32, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/grow.12232>

FRIIS, Cecilie; NIELSEN, Jonas Ø. Global Land-Use Change through a Telecoupling Lens: An Introduction. In: TELECOUPLING. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 1–15. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-11105-2_1

FU, Yingchun *et al.* Characterizing the spatial pattern of annual urban growth by using time series Landsat imagery. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 666, p. 274–284, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.178>

GARCÍA-AYLLÓN, Salvador. Rapid development as a factor of imbalance in urban growth of cities in Latin America: A perspective based on territorial indicators. **Habitat International**, [s. l.], v. 58, p. 127–142, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.10.005>

GARCÍA, López; ESMERALDA. From Void to Opportunity. **Procedia Environmental Sciences**, [s. l.], v. 37, p. 637–646, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.050>

GAVIRIA, Simon *et al.* Invisible walls: Measuring the impact of organized violence on urban expansion. **Cities**, [s. l.], v. 97, n. October 2019, p. 102498, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102498>

GOLDBLATT, Ran *et al.* Remotely sensed derived land surface temperature (Lst) as a proxy for air temperature and thermal comfort at a small geographical scale. **Land**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 410, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land10040410>

GRĂDINARU, Simona R.; KIENAST, Felix; PSOMAS, Achilleas. Using multi-seasonal Landsat imagery for rapid identification of abandoned land in areas affected by urban sprawl. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 96, p. 79–86, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.022>

GROSTEIN, Marta Dora. Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos “insustentáveis”. **São Paulo em perspectiva**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 13–19, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-88392001000100003>

GU, Honghuan *et al.* A hierarchical pattern of urban social vulnerability in Shanghai, China and its implications for risk management. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 41, p. 170–179, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.047>

GURGEL, Ana Paula Campos. As metrópoles do interior do Nordeste: a caracteriza o de um tipo metropolitano regional. **Cadernos Metrópole**, [s. l.], v. 19, n. 40, p. 841–864, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2017-4007>

HAASHEMI, Sirous *et al.* Seasonal variations of the surface urban heat Island in a semi-arid city. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 352, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs8040352>

HAMIDI, Shima; EWING, Reid. A longitudinal study of changes in urban sprawl between 2000 and 2010 in the United States. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 128, p. 72–82, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.04.021>

HARVEY, David. **The urbanization of capital**. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1985. v. 2

HE, Guojun; PAN, Yuhang; TANAKA, Takanao. The short-term impacts of COVID-19 lockdown on urban air pollution in China. **Nature Sustainability**, [s. l.], v. 3, n. 12, p. 1005–1011, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0581-y>

HE, Yuanhuizi *et al.* Feature comparison and optimization for 30-M winter wheat mapping based on Landsat-8 and Sentinel-2 data using random forest algorithm. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 11, n. 5, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs11050535>

HENDERSON, Vernon. Medium size cities. **Regional Science and Urban Economics**, [s. l.], v. 27, n. 6, p. 583–612, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0166-0462\(96\)02169-2](https://doi.org/10.1016/s0166-0462(96)02169-2)

HENDERSON, Vernon; WANG, Hyoung Gun. Urbanization and city growth: The role of institutions. **Regional Science and Urban Economics**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 283–313, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2006.11.008>

HENNIG, Benjamin D. The growth and decline of urban agglomerations in Germany. **Environment and Planning A: Economy and Space**, [s. l.], v. 51, n. 6, p. 1209–1212, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0308518X18798835>

HENRÍQUEZ, Cristian; AZÓCAR, Gerardo; ROMERO, Hugo. Monitoring and modeling the urban growth of two mid-sized Chilean cities. **Habitat International**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 945–964, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2005.05.002>

HOSSAIN, Mohammad Khalid; MENG, Qingmin. A thematic mapping method to assess and analyze potential urban hazards and risks caused by flooding. **Computers, Environment and Urban Systems**, [s. l.], v. 79, p. 101417, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101417>

HSU, Li Yang; CHIA, Po Ying; LIM, Jeremy FY. The Novel Coronavirus (SARS-CoV-2) Pandemic. **Annals of the Academy of Medicine, Singapore**, [s. l.], v. 49, n. 3, p. 105–107, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.47102/annals-acadmedsg.202051>

HUANG, Jingnan; LU, X.X.; SELLERS, Jefferey M. A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 82, n. 4, p. 184–197, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.010>

HUMMELL, Beatriz Maria de Loyola; CUTTER, Susan L.; EMRICH, Christopher T. Social Vulnerability to Natural Hazards in Brazil. **International Journal of Disaster Risk Science**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 111–122, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13753-016-0090-9>

IANNELLI, Gianni Cristian; GAMBA, Paolo. Jointly Exploiting Sentinel-1 and Sentinel-2 for Urban Mapping. *In:* , 2018, Valencia. **IGARSS 2018 - 2018 IEEE International**

Geoscience and Remote Sensing Symposium. Valencia: IEEE, 2018. p. 8209–8212.
Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518172>

IBGE. **Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas do Brasil**. [S. l.: s. n.], 2015.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INOSTROZA, Luis; BAUR, Rolf; CSAPLOVICS, Elmar. Urban sprawl and fragmentation in Latin America: A dynamic quantification and characterization of spatial patterns. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 115, p. 87–97, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.007>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Teresina. Panorama**. [S. l.], 2020a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/teresina/panorama>. Acesso em: 21 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Timon. Panorama**. [S. l.], 2020b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/timon/panorama>. Acesso em: 21 maio 2021.

IOPPOLO, Giuseppe *et al.* Integrating strategic environmental assessment and material flow accounting: a novel approach for moving towards sustainable urban futures. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 24, n. 7, p. 1269–1284, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1494-0>

ISMAEL, Hemin Mohammed. Urban form study: the sprawling city—review of methods of studying urban sprawl. **GeoJournal**, [s. l.], v. 9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10157-9>

JARDIM, Antonio de Ponte. Reflexões sobre a mobilidade pendular. *In*: OLIVEIRA, LUIZ ANTÔNIO PINTO DE; OLIVEIRA, Antônio Tadeu Ribeiro de (org.). **Estudos e Análises Informação Demográfica e Socioeconômica, Reflexões sobre os deslocamentos Populacionais no Brasil**. 1a. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. p. 58–70.

JIANG, Z *et al.* Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 112, n. 10, p. 3833–3845, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>

JÚNIOR, Paulo Antônio Barbosa; ESPINDOLA, Giovana Mira de; CARNEIRO, Edilson Lívio Neves da Costa. Cartografias Do Piauí: Relacionando Infraestrutura E Desenvolvimento Social. **Revista Geográfica Acadêmica**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 56–68, 2016.

KHAN, Shabana. Vulnerability assessments and their planning implications: A case study of the Hutt Valley, New Zealand. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 1587–1607, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0327-x>

KLINK, Jeroen; DENALDI, Rosana. On financialization and state spatial fixes in Brazil. A geographical and historical interpretation of the housing program My House My Life. **Habitat International**, [s. l.], v. 44, p. 220–226, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.06.001>

LEE, Ryun Jung; NEWMAN, Galen. A classification scheme for vacant urban lands:

integrating duration, land characteristics, and survival rates. **Journal of Land Use Science**, [s. l.], v. 14, n. 4–6, p. 306–319, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1706655>

LEFEBVRE, Henri. **A revolução urbana**. Belo Horizonte: [s. n.], 1999.

LEITE, Carlos *et al.* Social Urbanism in Latin America. *In: SOCIAL URBANISM IN LATIN AMERICA. FUTURE CITY*. Cham: Springer, 2020. p. 3–21. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16012-8_1

LEMONS, Maria Carmen *et al.* The Use of Seasonal Climate Forecasting in Policymaking: Lessons from Northeast Brazil. **Climatic Change**, [s. l.], v. 55, n. 4, p. 479–507, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1020785826029>

LENCIONI, Sandra. Observações sobre o conceito de cidade e urbano. **Revista GEOUSP: espaço e tempo**, São Paulo, v. 24, p. 109–123, 2008.

LENCIONI, Sandra. Regiões metropolitanas do Brasil . Radiografia da dinâmica recente do emprego industrial e da remuneração do trabalhador. *In: AMÉRICA LATINA: CIDADE, CAMPO E TURISMO*. [S. l.: s. n.], 2006. p. 107–118.

LEONG, Misha *et al.* Temporal dynamics influenced by global change: bee community phenology in urban, agricultural, and natural landscapes. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 1046–1053, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.13141>

LEUZINGER, Sebastian; VOGT, Roland; KÖRNER, Christian. Tree surface temperature in an urban environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 150, n. 1, p. 56–62, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.08.006>

LI, Shuang *et al.* Radiometric Characteristics of the Landsat Collection 1 Dataset. **Advances in Remote Sensing**, [s. l.], v. 07, n. 03, p. 203–217, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ars.2018.73014>

LI, Shuang *et al.* Sentinel-2 MSI Radiometric Characterization and Cross-Calibration with Landsat-8 OLI. **Advances in Remote Sensing**, [s. l.], v. 06, n. 02, p. 147–159, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ars.2017.62011>

LI, Xuecao; GONG, Peng; LIANG, Lu. A 30-year (1984–2013) record of annual urban dynamics of Beijing City derived from Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 166, p. 78–90, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.06.007>

LI, Ying *et al.* Socioeconomic drivers of urban heat island effect: Empirical evidence from major Chinese cities. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 63, p. 102425, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102425>

LIMA, Evandro Gonzalez *et al.* Smart and Sustainable Cities: The Main Guidelines of City Statute for Increasing the Intelligence of Brazilian Cities. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 1025, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12031025>

LIMA, Renato da Silva. **Expansão urbana e acessibilidade: o caso das cidades médias brasileiras**. 1998. - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/d.18.1998.tde-25062002-155026>

- LIMA, Silvia Maria Santana Andrade; LOPES, Wilza Gomes Reis; FAÇANHA, Antônio Cardoso. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [s. l.], v. 11, p. 1–16, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180037>
- LIMA, Silvia Maria Santana Andrade; LOPES, Wilza Gomes Reis; FAÇANHA, Antônio Cardoso. Urbanização e crescimento populacional: Reflexões sobre a cidade de Teresina, Piauí. **Gaia Scientia**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 31–51, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2017v11n1.34864>
- LIMOEIRO, Danilo. Beyond income transfers: The decline of regional inequality in Brazil during the 2000s. **Progress in Development Studies**, [s. l.], v. 1, p. 6–21, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1464993414546975>
- LIU, Siyu *et al.* Evaluation of Climatic Comfort of Living Environment based on Age Differentials in Beijing-Tianjin-Hebei Area. **Ecosystem Health and Sustainability**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 1843371, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1843371>
- LIU, Yue *et al.* Monitoring the detailed dynamics of regional thermal environment in a developing urban agglomeration. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 1197, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20041197>
- LOBO, Carlos; MATOS, Ralfo. Migrações e a dispersão espacial da população nas regiões de Influência das principais metrópoles Brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos de População**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 81–101, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-30982011000100005>
- LOPES, Larissa; MOTTE-BAUMVOL, Benjamin; THÉVENIN, Thomas. Urban mobility and the spatial distribution of economic activities in Rio de Janeiro (Brazil). In: , 2017, York, United Kingdom. **The European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography (ECTQG)**. York, United Kingdom: [s. n.], 2017.
- LORDANO, G. A. Os movimentos pendulares em municípios com cidades conurbadas no prelúdio e Pantanal de Mato Grosso do Sul. **Revista Pantaneira**, Aquidauana-MS, v. 16, p. 9–27, 2019.
- LORET, Emanuele *et al.* Enhanced Urban Sprawl Monitoring over the Entire District of Rome through Joint Analysis of ALOS AVNIR-2 and SENTINEL-2A Data. **Advances in Remote Sensing**, [s. l.], v. 06, n. 01, p. 76–87, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ars.2017.61006>
- LU, Dengsheng; WENG, Qihao. Use of impervious surface in urban land-use classification. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 102, n. 1–2, p. 146–160, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.02.010>
- LU, Linlin *et al.* Urban sprawl in provincial capital cities in China: evidence from multi-temporal urban land products using Landsat data. **Science Bulletin**, [s. l.], v. 64, n. 14, p. 955–957, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.04.036>
- LU, Xinhai; CHEN, Danling; WANG, Yue. Is Urban Sprawl Decoupled from the Quality of Economic Growth? Evidence from Chinese Cities. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 218, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12010218>

LU, Yuhao; COOPS, Nicholas C.; HERMOSILLA, Txomin. Estimating urban vegetation fraction across 25 cities in pan-Pacific using Landsat time series data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s. l.], v. 126, p. 11–23, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.12.014>

MAFFINI, Ana Luisa; MARASCHIN, Clarice. Urban Segregation and Socio-Spatial Interactions: A Configurational Approach. **Urban Science**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 55, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/urbansci2030055>

MAGALHÃES, David José Ahouagi Vaz de. Localização residencial e acessibilidade ao local de trabalho dentro do aglomerado urbano formado pelos municípios de Teresina (PI) e Timon (MA). *In:* , 2004, Caxambu-MG. **XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais**. Caxambu-MG: ABEP, 2004. p. 1–20.

MAIA, Amanda Carvalho; LAGE, Selena Duarte Lage e; LEONELLI, Gisela Cunha Viana. O impacto da legislação urbanística de São José do Rio Preto – SP: crescimento urbano espraiado, fragmentado e excludente. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [s. l.], v. 7, n. 47, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/2318847274720192096>

MÁLOVICS, György *et al.* Urban Roma, segregation and place attachment in Szeged, Hungary. **Area**, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 72–83, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/area.12426>

MARANDOLA JR, Eduardo; MODESTO, Francine. Perception of urban environmental threats and place effects on the population-environment relationship. **Revista Brasileira de Estudos de População**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 7–35, 2012.

MARENGO, Jose A. *et al.* Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 103, n. 2, p. 2589–2611, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>

MARENGO, Jose A. *et al.* Increase Risk of Drought in the Semiarid Lands of Northeast Brazil Due to Regional Warming above 4 °C. *In:* CLIMATE CHANGE RISKS IN BRAZIL. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 181–200. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_7

MARENGO, Jose A; BERNASCONI, Mauro. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic change**, [s. l.], v. 129, n. 1–2, p. 103–115, 2015.

MARENGO, Jose A; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017.

MARICATO, Ermínia. Urbanismo na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras. **São Paulo em Perspectiva**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 21–33, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-88392000000400004>

MAROLLA, Cesar. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fifth Assessment Report and Its Implications for Human Health and Urban Areas. *In:* CLIMATE HEALTH RISKS IN MEGACITIES. Boca Raton: CRC Press, 2016. p. 47–52. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781315367323-11>

MARTINS, Rafael D'Almeida; VAZ, José Carlos; CALDAS, Eduardo de Lima. A gestão do desenvolvimento local no Brasil: (des)articulação de atores, instrumentos e território. **Revista de Administração Pública**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 559–590, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-76122010000300002>

MELCHIORS, Lúcia; CAMPOS, Heleniza. As regiões metropolitanas brasileiras no contexto do estatuto da metrópole : desafios a serem superados em direção à governança colaborativa. **Revista Política e Planejamento Regional**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 181–203, 2016.

MELO FILHO, José Maria Marques de. DINÁMICA SOCIOESPACIAL Y NUEVAS CONFIGURACIONES TERRITORIALES: LA DINÁMICA URBANA DE LA RIDE - GRANDE TERESINA. **Geosaberes**, [s. l.], v. 11, n. 2002, p. 395, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26895/geosaberes.v11i0.926>

MÉREINÉ BERKI, Boglárka *et al.* THE ROLE OF SOCIAL CAPITAL AND INTERPERSONAL RELATIONS IN THE ALLEVIATION OF EXTREME POVERTY AND SPATIAL SEGREGATION OF ROMANI PEOPLE IN SZEGED. **Journal of Urban and Regional Analysis**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 33–50, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.37043/JURA.2017.9.1.2>

MISHRA, Swasti Vardhan; GAYEN, Amiya; HAQUE, Sk Mafizul. COVID-19 and urban vulnerability in India. **Habitat International**, [s. l.], v. 103, p. 102230, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102230>

MOHAMMAD, Pir; GOSWAMI, Ajanta; BONAFONI, Stefania. The impact of the land cover dynamics on surface urban heat island variations in semi-arid cities: A case study in Ahmedabad City, India, using multi-sensor/source data. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 19, n. 17, p. 3701, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s19173701>

MOHAMMADNEJAD, Vahid. Urban lands Extraction from Sentinel 1 and 2 satellite imagery based on Google Earth Engine (GEE). **Geographical Urban Planning Research (GUPR)**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 613–630, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2020.301237.1270>

MOHAMMADY, Sassan; DELAVAR, Mahmoud Reza. Urban sprawl assessment and modeling using landsat images and GIS. **Modeling Earth Systems and Environment**, [s. l.], v. 2, n. 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0209-4>

MOLINA, Irene; CZISCHKE, Darinka; ROLNIK, Raquel. **Housing policy issues in contemporary South America: an introduction**. [S. l.: s. n.], 2019. ISSN 19491255.v. 19 Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19491247.2019.1627843>

MONKKONEN, Paavo *et al.* Urban sprawl and the growing geographic scale of segregation in Mexico, 1990–2010. **Habitat International**, [s. l.], v. 73, p. 89–95, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.12.003>

MONTEIRO, MÔNICA DOS SANTOS. **Reocupação de vazios urbanos como estratégia para cidades (mais) sustentáveis: um olhar sobre a cidade do Rio de Janeiro**. 143 f. 2020. - FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, [s. l.], 2020.

MOROKE, Tseliso; SCHOEMAN, Carel; SCHOEMAN, Ilse. Developing a neighbourhood sustainability assessment model: An approach to sustainable urban development. **Sustainable**

Cities and Society, [s. l.], v. 48, p. 101433, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101433>

MOSCHETTO, F.A.; RIBEIRO, R.B.; DE FREITAS, D.M. Urban expansion, regeneration and socioenvironmental vulnerability in a mangrove ecosystem at the southeast coastal of São Paulo, Brazil. **Ocean and Coastal Management**, [s. l.], v. 200, p. 105418, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105418>

MOUROUGANE, A; PISU, M. **Promoting infrastructure development**. Paris: [s. n.], 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1787/eco_surveys-bra-2011-6-en.

MUGIRANEZA, Theodomir; NASCETTI, Andrea; BAN, Yifang. Continuous monitoring of urban land cover change trajectories with landsat time series and landtrendr-google earth engine cloud computing. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 18, p. 2883, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/RS12182883>

MUMFORD, Lewis. **The Culture of Cities**. London: Harvest Books, 1938.

NATIONS, United. **The World's Cities in 2018—Data Booklet (ST/ESA/SER.A/417)**. New York: , Departemen of Economic and Social Affairs, Population Division, 2018.

NATIONS, United. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)**. New York: Departemen of Economic and Social Affairs, Population Division, 2014. ISSN 1435-9871. Disponível em: <https://doi.org/10.4054/DemRes.2005.12.9>

NATIONS, United. **World urbanization prospects: The 2014 revision United Nations Department of Economics and Social Affairs, Population Division**. New York, New York, USA: [s. n.], 2015.

NATIONS, United. **World Urbanization Prospects 2018: Highlights (ST/ESA/SER.A/421)**. New York: Departemen of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019.

NETO, Paulo Nascimento; MOREIRA, Tomás Antonio; SCHUSSEL, Zulma Das Graças Lucena. Housing Policy. A Critical Analysis on the Brazilian Experience. **TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 65–76, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.6092/1970-9870/1299>

NEWMAN AO, Peter. COVID, CITIES and CLIMATE: Historical Precedents and Potential Transitions for the New Economy. **Urban Science**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 32, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/urbansci4030032>

NOGUEIRA, Luara Laíde Furtado; ESPÍNDOLA, Giovana Mira de; CARNEIRO, Eduilson Lívio Neves da Costa. Análise da Ocupação Urbana na Zona Centro-Norte de Teresina: considerações sobre a região do Encontro dos Rios. **Revista Equador**, Teresina, PI, v. 5, n. 3, p. 25–42, 2016.

OBERMEISTER, Noam. Local knowledge, global ambitions: IPBES and the advent of multi-scale models and scenarios. **Sustainability Science**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 843–856, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0616-8>

OECD. **Competitive Cities in the Global Economy**. [S. l.: s. n.], 2006. ISSN 0017-4815.

Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264027091-en>

OJIMA, R.; HOGAN, D. J. Mobility, urban sprawl and environmental risks in brazilian urban agglomerations: challenges for urban sustainability in a developing country. *In*: SHERBININ, Alex de *et al.* (org.). **Urban Population and Environment Dynamics in the Developing World: Case Studies and Lessons Learned**. Paris: Committee for International Cooperation in National Research in Demography (CICRED), 2009. p. 281–316.

OJIMA, Ricardo *et al.* O estigma de morar longe da cidade: repensando o consenso sobre as “cidades-dormitório” no Brasil. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 12, n. 24, p. 395–415, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/5896>

OJIMA, Ricardo; PEREIRA, Rafael H. Moraes; SILVA, Robson Bonifácio da. Cidades-dormitório e a mobilidade pendular: espaços da desigualdade na redistribui o dos riscos socioambientais?1. *In*: , 2016, Caxambú-MG. **XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais**. Caxambú-MG: ABEP, 2016. p. 1–20.

PAL, M. Random forest classifier for remote sensing classification. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 217–222, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431160412331269698>

PAREDES-TREJO, Franklin J.; BARBOSA, H.A.; LAKSHMI KUMAR, T.V. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, [s. l.], v. 139, p. 26–40, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>

PENG, Shushi *et al.* Surface urban heat island across 419 global big cities. **Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 696–703, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es2030438>

PESARESI, Martino *et al.* Assessment of the added-value of sentinel-2 for detecting built-up areas. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 8, n. 4, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs8040299>

PRAKASH, Mihir *et al.* Open Earth Observations for Sustainable Urban Development. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 10, p. 1646, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12101646>

PROFIROIU, Constantin Marius *et al.* Challenges of Sustainable Urban Development in the Context of Population Growth. **European Journal of Sustainable Development**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 51, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n3p51>

QIAN, Yuguo *et al.* Comparing machine learning classifiers for object-based land cover classification using very high resolution imagery. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 153–168, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs70100153>

RAHAR, Prajjwal Singh; PAL, Mahesh. Comparison of Various Indices to Differentiate Built-up and Bare Soil with Sentinel 2 Data. *In*: LECTURE NOTES IN CIVIL ENGINEERING. Berlin: Springer, 2020. v. 33, p. 501–509. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7067-0_39

RAHMAN, Md. Shahinoor. Quantifying Urban Form -Compactness versus Sprawl : An

Analysis of Chittagong and Sylhet Metropolitan Cities. **Jahangirnagar University Planning Review**, Bangladesh, v. 10, n. June 2012, p. 39–50, 2012.

RAHMAN, Muhammad Tauhidur. Detection of land use/land cover changes and urban sprawl in Al-Khobar, Saudi Arabia: An analysis of multi-temporal remote sensing data. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [s. l.], v. 5, n. 2, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijgi5020015>

RANAGALAGE, Manjula *et al.* Spatiotemporal variation of urban heat islands for implementing nature-based solutions: A case study of kurunegala, Sri Lanka. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [s. l.], v. 9, n. 7, p. 461, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijgi9070461>

RAUSKY, Maria Eugenia; CHAVES, Mariana. **Living and Working in Poverty in Latin America**. Cham: Springer International Publishing, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00901-4>

REN, Xuefei. Governing the Informal: Housing Policies Over Informal Settlements in China, India, and Brazil. **Housing Policy Debate**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 79–93, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10511482.2016.1247105>

RIAD, Peter *et al.* Landscape transformation processes in two large and two small cities in Egypt and Jordan over the last five decades using remote sensing data. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 197, p. 103766, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103766>

RIBEIRO, Sabina Cerruto *et al.* Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 262, n. 3, p. 491–499, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.017>

RIVERA, Manuel. Political Criteria for Sustainable Development Goal (SDG) Selection and the Role of the Urban Dimension. **Sustainability**, [s. l.], v. 5, n. 12, p. 5034–5051, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su5125034>

ROBERTS, Bryan R.; WILSON, Robert H. **Urban Segregation and Governance in the Americas**. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/9780230620841>

ROBINSON, Jennifer; ROY, Ananya. Debate on Global Urbanisms and the Nature of Urban Theory. **International Journal of Urban and Regional Research**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 181–186, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12272>

ROGGEMA, Rob. Design with voids: how inverted urbanism can increase urban resilience. **Architectural Science Review**, [s. l.], v. 61, n. 5, p. 349–357, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1502153>

ROLNIK, Raquel; SOMEKH, Nadia. Governar as metrópoles: dilemas da recentralização. **Cadernos Metrópole**, [s. l.], n. 08, p. 105–117, 2002.

ROSA, Marcos Reis. Classifica o do Padrão de Ocupa o Urbana de São Paulo Utilizando Aprendizagem de Máquina e Sentinel 2. **Geography Department University of Sao Paulo**, [s. l.], p. 15–21, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.145784>

- ROTONDANO, Ricardo Oliveira. Brazilian apartheid: racism and segregation in Salvador, Brazil. **International Journal of Sociology and Social Policy**, [s. l.], v. 39, n. 11/12, p. 950–961, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJSSP-12-2018-0228>
- ROVALI, Massimo *et al.* Peri-urban Open Spaces and Sustainable Urban Development Between Value and Consumption. *In: GREEN ENERGY AND TECHNOLOGY*. Berlin: Springer, 2020. p. 249–265. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23786-8_14
- SABATINI, Francisco. The social spatial segregation in the cities of Latin America. **Inter-American Development Bank**, [s. l.], p. 1–44, 2006.
- SABRIN, Samain *et al.* Quantifying environmental and social vulnerability: Role of urban Heat Island and air quality, a case study of Camden, NJ. **Urban Climate**, [s. l.], v. 34, p. 100699, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100699>
- SACHS-JEANTET, Céline. **Managing Social Transformations in Cities: A Challenge to Social Sciences**. Paris: [s. n.], 1995.
- SAINI, Varinder; TIWARI, Reet Kamal. Remote sensing based time-series analysis for monitoring urban sprawl : A case study of Chandigarh capital region. **Journal of Geomatics** **94**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 94–97, 2019.
- SALAMA ASHRAF. Coronavirus questions that will not go away: interrogating urban and socio-spatial implications of COVID-19 measures. **Emerald Open Research**, [s. l.], p. 2–14, 2020.
- SALIM, Zia; BOSCO, Fernando J. Latin American Cities: transitions and transformations. *In: JACKIEWICZ, Edward L.; BOSCO, Fernando J. (org.). Placing Latin America: contemporary themes in geography*. Fourthed. Lanham, Maryland: The Rowman & Littlefield, 2016. p. 61–88.
- SANTOS, RAIMUNDO NONATO LIMA DOS. **HISTÓRIA, MEMÓRIA E IDENTIDADE NA CIDADE DE TIMON NA DÉCADA DE 1980**. 113 f. 2007. - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ, [s. l.], 2007.
- SANTOS, Alexandre Eduardo; PEIXINHO, Dimas Moraes. Processo De Conurbação: Elementos Espaciais Do Fenômeno Em Área Não Metropolitana. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 13, n. 1, p. 35–52, 2015.
- SANTOS, Sylvana Melo dos; DE FARIAS, Maria Mariah M.W.E.C. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 164, p. 1007–1015, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.251>
- SANTOS, Milton. **A cidade como centro da região**. Salvador: Livraria Progresso Editora, 1959.
- SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. 5. ed. São Paulo: EDUSP, 2008.
- SANTOS, Marcela de Oliveira. Interpretando O Estatuto Da Metrópole: Comentários Sobre a Lei No 13.089/2015. *In: MARGUTI, Bárbara Oliveira; COSTA, Marco Aurélio; FAVAR O, César Buno (org.). Brasil Metropolitano em Foco: desafios   implementa o do Estatuto*

da **Metrópole**. Brasília: IPEA, 2018. p. 457–514.

SCOTT, Allen J.; STORPER, Michael. The Nature of Cities: The Scope and Limits of Urban Theory. **International Journal of Urban and Regional Research**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 1–15, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12134>

SEFAIR, Jorge A. *et al.* Optimization model for urban air quality policy design: A case study in Latin America. **Computers, Environment and Urban Systems**, [s. l.], v. 78, p. 101385, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101385>

SETO, Karen C. *et al.* A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 6, n. 8, p. e23777, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>

SETO, Karen C. *et al.* Urban land teleconnections and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 109, n. 20, p. 7687–7692, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1117622109>

SHAO, Zhenfeng *et al.* Urban sprawl and its impact on sustainable urban development: a combination of remote sensing and social media data. **Geo-spatial Information Science**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 241–255, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10095020.2020.1787800>

SHARIFI, Ayyoob; KHAVARIAN-GARMSIR, Amir Reza. The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 749, p. 142391, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142391>

SHI, Kaifang *et al.* A multiscale analysis of the effect of urban expansion on PM2.5 concentrations in China: Evidence from multisource remote sensing and statistical data. **Building and Environment**, [s. l.], v. 174, p. 106778, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106778>

SHIMBO, Lucia. An unprecedented alignment: state, finance, construction and housing production in Brazil since the 2000s. **International Journal of Housing Policy**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 337–353, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19491247.2019.1573960>

SILVA, Bhagya *et al.* Urban Planning and Smart City Decision Management Empowered by Real-Time Data Processing Using Big Data Analytics. **Sensors**, [s. l.], v. 18, n. 9, p. 2994, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s18092994>

SILVA, Harley; MONTE-MÓR, Roberto L. Transições demográficas, transição urbana, urbanização extensiva: um ensaio sobre diálogos possíveis. *In:* , 2016, Belo Horizonte. **Anais do XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais**. Belo Horizonte: ABEP, 2016. p. 1–16.

SILVA, Rosinaldo Barbosa. Centralidade urbana e resistências sociais na conurbação Cuiabá-Várzea Grande. **Revista Geotemas**, Natal, v. 10, n. 2, p. 66–96, 2020. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.33237/geotemas.v10i2.4334>

SLONECKER, E. Terrence; JENNINGS, David B.; GAROFALO, Donald. Remote sensing of impervious surfaces: A review. **Remote Sensing Reviews**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 227–255, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02757250109532436>

SMETS, Peer; SALMAN, Ton. The multi-layered-ness of urban segregation: on the simultaneous inclusion and exclusion in latin american cities. **Habitat International**, [s. l.], 2015.

SONG, Xiao Peng *et al.* Characterizing the magnitude, timing and duration of urban growth from time series of Landsat-based estimates of impervious cover. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 175, p. 1–13, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.027>

SOUZA, Eduardo Leite; SUGAI, Maria Inês. Minha Casa Minha Vida: periferação, segregação e mobilidade intraurbana na área conurbada de Florianópolis. **Cadernos Metrópole**, [s. l.], v. 20, n. 41, p. 75–98, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2018-4104>

SPERANDELLI, Daniel Iozzi; DUPAS, Francisco Antônio; DIAS PONS, Nívea Adriana. Dynamics of urban sprawl, vacant land, and green spaces on the metropolitan fringe of são paulo, brazil. **Journal of Urban Planning and Development**, [s. l.], v. 139, n. 4, p. 274–279, 2013.

SPIELMAN, Seth E. *et al.* Evaluating social vulnerability indicators: criteria and their application to the Social Vulnerability Index. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 100, n. 1, p. 417–436, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03820-z>

SRIDHAR, Kala Seetharam; WAN, Guanghua. Firm location choice in cities: Evidence from China, India, and Brazil. **China Economic Review**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 113–122, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2009.11.003>

SRIVASTAVA, P. K.; MAJUMDAR, T. J.; BHATTACHARYA, Amit K. Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data. **Advances in Space Research**, [s. l.], v. 43, n. 10, p. 1563–1574, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2009.01.023>

STORPER, Michael; SCOTT, Allen J. Current debates in urban theory: A critical assessment. **Urban Studies**, [s. l.], v. 53, n. 6, p. 1114–1136, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0042098016634002>

SULTANA, Selima; CHANEY, Philip L. Impact of Urban Sprawl on Travel Behaviors and Local Watersheds in the Auburn– Opelika Metropolitan Area: A Case Study on a Small MSA. *In:* , 2003. **Papers and proceedings of applied geography conferences**. [S. l.: s. n.], 2003.

SULTANA, Selima; WEBER, Joe. The Nature of Urban Growth and the Commuting Transition: Endless Sprawl or a Growth Wave? **Urban Studies**, [s. l.], v. 51, n. 3, p. 544–576, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0042098013498284>

TAMIMINIA, Haifa *et al.* Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s. l.], v. 164, p. 152–170, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>

TASCÓN-GONZÁLEZ, Laura *et al.* Social vulnerability assessment for flood risk analysis. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 558, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/w12020558>

TELUGUNTLA, P. *et al.* **A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform.** [*S. l.*], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.017>. Acesso em: 5 jul. 2021.

THANH NOI, Phan; KAPPAS, Martin. Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery. **Sensors**, [*s. l.*], v. 18, n. 2, p. 18, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s18010018>

TORRES, Miguel. **Seville: Through the Urban Void.** [*S. l.*]: Routledge, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9781315628899>

TSAI, Yu Hsin. Quantifying urban form: Compactness versus “sprawl”. **Urban Studies**, [*s. l.*], v. 42, n. 1, p. 141–161, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0042098042000309748>

VALENÇA, Márcio Moraes; BONATES, Mariana Fialho. The trajectory of social housing policy in Brazil: From the National Housing Bank to the Ministry of the Cities. **Habitat International**, [*s. l.*], v. 34, n. 2, p. 165–173, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2009.08.006>

VALENCIA, Sandra C. *et al.* Adapting the Sustainable Development Goals and the New Urban Agenda to the city level: Initial reflections from a comparative research project. **International Journal of Urban Sustainable Development**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 4–23, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19463138.2019.1573172>

VICINO, Thomas J.; HANLON, Bernadette; SHORT, John Rennie. Megalopolis 50 Years On: The Transformation of a City Region. **International Journal of Urban and Regional Research**, [*s. l.*], v. 31, n. 2, p. 344–367, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2427.2007.00728.x>

WANG, Yixu *et al.* The gradient effect on the relationship between the underlying factor and land surface temperature in large urbanized region. **Land**, [*s. l.*], v. 10, n. 1, p. 1–16, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land10010020>

WANG, Zongyang *et al.* Spatio-temporal evolution of surface urban heat islands in the Chang-Zhu-Tan urban agglomeration. **Physics and Chemistry of the Earth**, [*s. l.*], v. 117, p. 102865, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102865>

WENG, Qihao. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. **Remote Sensing of Environment**, [*s. l.*], v. 117, p. 34–49, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030>

WU, Wenjia *et al.* A comparative study of urban expansion in Beijing, Tianjin and Shijiazhuang over the past three decades. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 134, p. 93–106, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.010>

YAKOB, Hamizah; YUSOF, Fatimah; HAMDAN, Hazlina. Land use Regulations Towards a Sustainable Urban Housing: Klang Valley Conurbation. **Procedia - Social and Behavioral**

Sciences, [s. l.], v. 68, p. 578–589, 2012. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.250>

YANG, Chao *et al.* Spatiotemporal evolution of urban agglomerations in four major bay areas of US, China and Japan from 1987 to 2017: Evidence from remote sensing images. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 671, p. 232–247, 2019. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.154>

ZHANG, Lin; LI, Xi; CHEN, Fengrui. Spatiotemporal Analysis of Venezuela's Nighttime Light During the Socioeconomic Crisis. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, [s. l.], v. 13, p. 2396–2408, 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2995695>

ZHANG, Yuzhou; CHENG, Jie. Spatio-Temporal Analysis of Urban Heat Island Using Multisource Remote Sensing Data: A Case Study in Hangzhou, China. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 9, p. 3317–3326, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2926417>

ZHAO, Chunhong; JENSEN, Jennifer; ZHAN, Benjamin. A comparison of urban growth and their influencing factors of two border cities: Laredo in the US and Nuevo Laredo in Mexico. **Applied Geography**, [s. l.], v. 79, p. 223–234, 2017. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.017>

ZHAO, Naizhuo *et al.* Remote sensing and social sensing for socioeconomic systems: A comparison study between nighttime lights and location-based social media at the 500 m spatial resolution. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s. l.], v. 87, p. 102058, 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102058>

ZHOU, Weiqi *et al.* Urban sprawl in a megaregion: A multiple spatial and temporal perspective. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 96, n. 18, p. 54–66, 2019. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.035>

ZHOU, Xuefan; CHEN, Hong. Impact of urbanization-related land use land cover changes and urban morphology changes on the urban heat island phenomenon. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 635, p. 1467–1476, 2018. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.091>

ZHUKOVA, Sofia *et al.* **Cities in Europe and Central Asia : Kazakhstan** **Cities in Europe and Central Asia**. Washington, D.C.: [s. n.], 2017.