UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto De Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Leilson Alves dos Santos

CONTRIBUIÇÕES DA ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA AO PLANEJAMENTO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA DA PORÇÃO LESTE/SUDESTE DE TERESINA, PIAUÍ, BRASIL

Belo Horizonte
2024

Leilson Alves dos Santos

CONTRIBUIÇÕES DA ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA AO PLANEJAMENTO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA DA PORÇÃO LESTE/SUDESTE DE TERESINA, PIAUÍ, BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito ao título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Roberto Célio Valadão

Belo Horizonte

2024

S237c
2024

Santos, Leilson Alves dos.

Contribuições da análise geomorfológica ao planejamento de áreas de expansão urbana da porção leste/sudeste de Teresina, Piauí, Brasil [manuscrito] / Leilson Alves dos Santos. – 2024.

207 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Roberto Célio Valadão.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2024.

Área de concentração: Geografia Física.

Bibliografia: f. 198-207.

1. Geomorfologia – Teses. 2. Impacto ambiental – Teses. 3. Planejamento urbano – Teresina (PI) – Teses. 4. Crescimento urbano – Teresina (PI) – Teses. I. Valadão, Roberto Célio. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551.4:711.4(812.2)

Ficha catalográfica elaborada por Nathalia Machado Laponez Maia – CRB-6/3002
Biblioteca “Vitória Pedersoli”, Instituto de Geociências da UFMG

PÁGINA DE ASSINATURA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"CONTRIBUIÇÕES DA ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA AO PLANEJAMENTO DE ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA DA PORÇÃO LESTE/SUDESTE DE TERESINA, PIAUÍ, BRASIL"

LEILSON ALVES DOS SANTOS

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia **09 de outubro de 2024**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Iracilde Maria de Moura Fé Lima
UFPI

Leda Correia Pedro Miyazaki
UFU

Hikaro Kayo de Brito Nunes
UEA

Adriana Monteiro da Costa
IGC/UFMG

Roberto Célio Valadão - Orientador
IGC/UFMG

Belo Horizonte, 09 de outubro de 2024.

Documento assinado eletronicamente por **Hikaro Kayo de Brito Nunes, Usuário Externo**, em 10/10/2024, às 13:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Iracilde Maria de Moura Fé Lima, Usuária Externa**, em 10/10/2024, às 20:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Roberto Celio Valadao, Professor do Magistério Superior**, em 11/10/2024, às 14:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Leda Correia Pedro Miyazaki, Usuário Externo**, em 14/10/2024, às 08:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Adriana Monteiro da Costa, Professora do Magistério Superior**, em 16/10/2024, às 20:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3582718** e o código CRC **E500367E**.

Às mulheres da minha vida: Carmozina Alves dos Santos, mamãe, e Raimunda de Jesus Pereira Brito, amada Dindinha (In memoriam), por todo o amor, dedicação, compreensão e luta para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

A realização de um sonho é motivo de muita alegria para todos aqueles que alcançam seus objetivos. Neste momento, realizo mais um sonho, pois subo mais alguns degraus na escada da vida acadêmica, profissional e pessoal. Por isso, faço aqui o uso das palavras de Santa Madre Teresa de Calcutá: “Não importam as circunstâncias e não importam as adversidades, por mais difícil que seja, eu vou seguir em frente e vou reunir as forças para que me transforme cada vez mais na pessoa que eu decidi ser”.

Por isso, primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado a dádiva da vida e as forças para seguir o caminho, e à Santíssima Virgem Maria, sob o título de Nossa Senhora de Fátima, por ser minha guardiã.

Ao longo dessa jornada, me apoiei e fui encorajado por uma legião de anjos que me acompanharam até aqui e que continuarão ao meu lado, bem como por outros que apareceram ao longo do caminho. Assim, neste momento, é hora de destacar e agradecer alguns desses seres iluminados:

À minha família, que sempre me apoiou e encorajou a seguir o caminho que desejei, em especial, à minha mãe, Carmozina Alves, aos meus irmãos e irmãs, José Ângelo, Francisco das Chagas, Fernanda Patrícia, Jaqueline, Leidiana e Otávio Augusto, bem como aos meus queridos e amados sobrinhos. Ao Carlos Henrique, à Célia Cristina e à Teresa Cristina (irmãos de coração), e ao Ribeiro Neto (primo de coração). À minha querida e amada Dindinha, Raimunda De Jesus Pereira (*In memoriam*), por ter preparado a estrada para que eu pudesse caminhar.

Aos meus queridos tio Evaldo e tia Marlene, por todo o amor dedicado a mim, à Hardana e Nuich, por serem pessoas tão iluminadas. À minha pequena princesa, Judite Maria, que alegra meus dias!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roberto Célio Valadão, por toda paciência e conhecimentos compartilhados, pois sem eles este trabalho não teria sido possível.

Ao Centro de Educação Aberta e a Distância da Universidade Federal do Piauí, em especial ao Prof. Dr. Raimundo Wilson e à Prof[a]. Me. Francisca Cardoso, e à Lívia Nery, pelo apoio e compreensão.

Aos meus colegas de trabalho da E.E. Murgy Hibraim Sarah, em especial, à Cleonice Maria, à Marilda Marques e à Léa, por toda compreensão e apoio nos

momentos de ausência. Aos colegas Michel Araújo, Luciane Brandão, Dayane Caldas, Karina Mística, Rebeca Nogueira, Rosalva Barbosa e Ana Paula, pelos momentos de partilha, colaboração e descontração.

A todos os colegas do IFMG/Ribeirão das Neves pela experiência incrível e pelo apoio, em especial, aos professores Maria das Graças, Saulo Furleti, Lícia Guerra, Moisés Henrique Pereira, Marco Aurélio Peixoto, Letícia Martins e Alcione Ferreira.

Aos meus alunos, que me impulsionam a querer cada vez mais adquirir conhecimento. Essa conquista é para vocês!

Aos meus amigos de longa data, Lasthenia Carvalho, Francisca Elenice, José Roberto Pereira, Rafaela Leal, Antonia Gomes, Wellynne Carla Barbosa, Gilkelly Costa, Jessyca Benchimol, Joaquim dos Anjos, Melkzedek Brenon, Cristiane Andrade, Marcus Vinícius Cerqueira, Elayne Cristina Dias, Deusdedit Campelo, Leonardo Pereira, Lorran André, Aline Aparecida, Hikaro Kayo Nunes, Rogério Pinto, Alan Milhomem, Gabriel Rodrigues e Jefferson Moura. Essa conquista também é para vocês.

Aos queridos amigos mineiros Júnior Roberto, Evelyn Possa, Lucas Castelar e família, Bruno Meneghini, Alex Amaral, Fabrício Antonio, Daniel Abreu e Breno Augusto. O apoio de vocês foi fundamental durante essa jornada.

Em especial, ao amigo e irmão que Belo Horizonte me presenteou, Leonardo Coelho Correia Rosado, pelo apoio em todos os momentos ao longo dessa jornada.

Aos amigos de sempre e para sempre: Roneide Sousa, Igor Bahury, Nathalya Soares, Marco Aurélio Lira e Francisca Rocha. Vocês são demais!

Aos queridos Renato Monteiro Alves, Juliana Lima e Francisco Wellington, pelo apoio durante as visitas de campo na área de estudo.

Às professoras Iracilde Maria de Moura Fé Lima, Bartira Araújo Viana, Leda Correia Miyazaki, Telma Mendes da Silva e Antonia Jesuíta de Lima. Ao Prof. Francílio Amorim, pelo suporte na aquisição da base de dados e elaboração dos mapeamentos. Aos amigos Daniel Facury, Lílian Coeli e Rafael Marques, pelo auxílio na elaboração de material cartográfico. Vocês foram um dos pilares que me sustentaram nessa jornada!

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia IGC/UFMG, especialmente ao Roberto Célio Valadão, à Cristina Helena Augustin, ao Carlos

Fernando Lobo, ao Fábio Oliveira e à Adriana Monteiro, por todo o conhecimento compartilhado. Também agradeço à Márcia e ao Vitor, secretários do Programa, por desempenharem com muito louvor a sua função.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Geografia – IGC/UFMG, especialmente Mirella Nazareth, Alessandra Andrade, Bárbara Janine, Richard Tomazi, Fernando Ortiz, Samuel Campelo e Denise Sales.

À UFMG e ao Instituto de Geociências, por disponibilizarem toda a infraestrutura necessária ao desenvolvimento da pesquisa, com laboratórios e demais serviços.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, processo Nº 88887.495290/2020-00, pela concessão da bolsa.

“Consulte não a seus medos, mas a suas esperanças e sonhos. Pense não sobre suas frustrações, mas sobre seu potencial não usado. Preocupe-se não com o que você tentou e falhou, mas com aquilo que ainda é possível a você fazer” (São João XXIII).

RESUMO

O crescimento acelerado dos centros urbanos, registrado com maior intensidade desde meados do século XX, quando as cidades se tornaram um grande atrativo populacional, tem gerado uma série de problemas socioambientais, o que inclui aqueles associados aos processos superficiais e subsuperficiais, naturais ou antropogênicos, nos espaços ocupados. Essa ocupação do relevo sem o adequado planejamento tem contribuído, por exemplo, para a intensificação de inundações, alagamentos e deslizamentos, além de outros danos que interferem diretamente na qualidade de vida de seus habitantes. Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo geral analisar a compartimentação geomorfológica do município de Teresina, capital do Piauí, bem como a dinâmica do relevo inerente a esses compartimentos, com vistas a diagnosticar fragilidades ambientais de áreas com potencial para ocupação urbana localizadas na região leste/sudeste de Teresina, notadamente em trecho que se estende do atual perímetro urbano até o rodoanel inaugurado em 2019. Quanto aos objetivos específicos, buscou-se: a) espacializar os compartimentos geomorfológicos do município de Teresina, buscando relacioná-los à geomorfodinâmica vigente na região leste/sudeste da cidade, notadamente no espaço compreendido entre o atual perímetro urbano até o rodoanel inaugurado em 2019; b) reconhecer, caracterizar e compreender os processos geomorfodinâmicos que devem receber atenção prioritária no planejamento urbano e ambiental na área de estudo; c) diagnosticar a fragilidade ambiental da região leste/sudeste na porção limítrofe ao espaço urbano de Teresina de forma que auxilie gestores públicos nas tomadas de decisão e no planejamento urbano, com foco nas áreas propícias à expansão urbana futura. Para alcançar os objetivos propostos e conseguir obter uma visão integrada dos compartimentos geomorfológicos frente à ocupação urbana, foi utilizada uma base teórica (Ab'Saber, 1969; Douglas, 1988; Ross, 1992; Miyazaki, 2017) apoiada no Materialismo Histórico e Dialético, vislumbrando uma análise ambiental integrada com a Geomorfologia Urbana, com base em atividades de gabinete e trabalhos de campo, técnicas de geoprocessamento para a elaboração dos mapeamentos temáticos dos aspectos físico-naturais, das feições de relevo, de ocupação urbana, bem como das potencialidades e fragilidades ambiental (Ross, 1994; Gouveia; Ross, 2019). Os resultados demonstram que a população de Teresina convive com os problemas relacionados a inundações e alagamentos desde os primórdios de seu estabelecimento no local, quando o principal agente desses eventos era rio Parnaíba, especialmente na região norte da cidade. De acordo com o Plano Saraiva de 1852, as ocupações foram se espraiando pela cidade, que se deparou, também, com as inundações do rio Poti, e, em seguida, com as inundações dos inúmeros riachos que escoam pela cidade, sobretudo nas regiões leste e sudeste e parte da Sul. A área delimitada neste estudo como potencial eixo de expansão urbana apresenta um modelado da superfície um pouco distinto daqueles encontrados na área urbana consolidada, de modo que na porção ao Norte predominam os morros, com tendência ao arredondamento, e com mesas de topos achatados. Da porção centro-norte seguindo no sentido sul ocorrem as superfícies intensamente retrabalhadas pela drenagem, intercaladas com as planícies e terraços fluviais. O modelo Topographic Wetness Index (TWI), que mensura a capacidade de acúmulo de umidade e o mapa de fragilidade ambiental demonstram que, se não houver um plano de ação que coordene a ocupação nessa região, os problemas relacionados às inundações e aos alagamentos provocados,

especialmente pelos riachos, continuarão a ocorrer e outros surgirão, como, por exemplo, eventos frequentes de deslizamentos.

Palavras-chave: geomorfologia urbana; análise ambiental; planejamento urbano estratégico; gestão territorial.

ABSTRACT

The accelerated growth of urban centers, which has been most intense since the middle of the 20th century, when cities became a major population attraction, has generated a series of socio-environmental problems, including those associated with surface and subsurface processes, both natural and anthropogenic, in the occupied spaces. This occupation of the terrain without adequate planning has contributed, for example, to the intensification of floods, inundations and landslides, in addition to other damages that directly interfere with the quality of life of its inhabitants. In this sense, this research has the general objective of analyzing the geomorphological compartmentalization of the municipality of Teresina, capital of Piauí, as well as the dynamics of the relief inherent to these compartments, with a view to diagnosing environmental weaknesses of areas with potential for urban occupation located in the East/Southeast region of Teresina, notably in a section that extends from the current urban perimeter to the rodoanel inaugurated in 2019. Regarding the specific objectives, we sought to: a) spatialize the geomorphological compartments of the municipality of Teresina, seeking to relate them to the geomorphodynamics in force in the East/Southeast region of the city, notably in the space between the current urban perimeter and the ring road inaugurated in 2019; b) recognize, characterize and understand the geomorphodynamic processes that should receive priority attention in urban and environmental planning in the study area; c) diagnose the environmental fragility of the East/Southeast region in the portion bordering the urban space of Teresina in order to assist public managers in decision-making and urban planning, with a focus on areas suitable for future urban expansion. To achieve the proposed objectives and obtain an integrated view of the geomorphological compartments in the face of urban occupation, a theoretical basis was used (Ab'Saber, 1969; Douglas, 1988; Ross, 1992; Miyazaki, 2017) supported by Historical and Dialectical Materialism, envisioning an environmental analysis integrated with Urban Geomorphology, based on office activities and field work, geoprocessing techniques for the elaboration of thematic mappings of physical-natural aspects, relief features, urban occupation, as well as environmental potentialities and weaknesses (Ross, 1994; Gouveia; Ross, 2019). The results show that the population of Teresina has been dealing with problems related to flooding since the early days of its settlement, when the main factor responsible for these events was the Parnaíba River, especially in the northern part of the city. According to the Saraiva Plan of 1852, settlements spread throughout the city, which also faced flooding from the Poti River, and then from the flooding of the numerous streams that flow through the city, especially in the eastern and southeastern regions and part of the southern region. The area delimited in this study as a potential axis of urban expansion has a surface model that is somewhat different from that found in the consolidated urban area, such that the northern portion is dominated by hills, with a tendency to round, and with flat-topped tables. From the central-northern portion, continuing southward, there are surfaces that have been intensely reworked by drainage, interspersed with plains and river terraces. The Topographic Wetness Index (TWI) model, which measures the capacity for moisture accumulation, and the environmental fragility map demonstrate that, if there is no action plan to coordinate occupation in this region, problems related to flooding and waterlogging, especially caused by streams, will continue to occur and others will emerge, such as frequent landslide events.

Keywords: urban geomorphology; environmental analysis; strategic urban planning; territorial management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo..... 23

Figura 2 - Hierarquia da rede urbana de Teresina-PI..... 30

Figura 3 - Plano urbano geométrico inicial de Teresina – 1852..... 31

Figura 4 - Ocupações em áreas suscetíveis a inundações sazonais na região norte de Teresina..... 36

Figura 5 - Localização das regiões administrativas de Teresina, com destaque para a área de estudo..... 37

Figura 6 - Evolução da ocupação urbana de Teresina: 1985 – 2022..... 46

Figura 7 - Muro separando condomínio de alto padrão de residências populares, região Leste de Teresina..... 50

Figura 8 - Condomínio Aldebran Leste, localizado na Avenida Dr. Nicanor Barreto, bairro Vale Quem Tem – Região Leste de Teresina..... 51

Figura 9 - Villa Imperial. Localizado na Avenida João XXIII, à margem direita da BR 343, bairro Novo Uruguai, Região Leste de Teresina..... 52

Figura 10 - Expansão da malha urbana de Teresina (PI) 56

Figura 11 - Localização dos bairros São Joaquim e Matadouro em Teresina (PI), com destaque para o Parque Ambiental Lagoas do Norte..... 59

Figura 12 - Principais avenidas que serviram como eixos concentradores de urbanização em Teresina (PI)..... 62

Figura 13 - Expansão urbana de Teresina (PI), segundo proposta de Vasconcellos Filho e Affonso..... 62

Figura 14 - Mosaico das regiões administrativas de Teresina, com destaque para a área de estudo e a rede de drenagem..... 75

Figura 15 - Processos erosivos em áreas de ocupação recente em Teresina (PI) 83

Figura 16 - Compartimentação geomorfológica da região de Ituiutaba – MG 88

Figura 17 - Localização de pontos de alagamento no Bairro Morumbi, em Uberlândia – MG..... 91

Figura 18 - Crescimento urbano sobre as feições geomorfológicas na cidade de Jeddah, Arábia Saudita..... 93

Figura 19 - Unidades geomorfológicas e taxa de urbanização da cidade de Jeddah, na Arábia Saudita: 1965 - 2020..... 94

Figura 20 - Mapa Geomorfológico da cidade de Sagar, Índia..... 95

Figura 21 - Mapeamento geomorfológico do Distrito de Iztapalapa – City do México..... 98
Figura 22 - Suscetibilidade ao risco geomorfológico na Cidade do México..... 100
Figura 23 - Sequência didático-metodológica para identificação das feições para o mapeamento geomorfológico analógico de detalhe..... 104
Figura 24 - Tipo de arquivo, fonte, escala, componente ambiental e programa utilizado para armazenamento e espacialização dos dados..... 107
Figura 25 - Roteiro sistemático-metodológico de execução da pesquisa..... 115
Figura 26 - Formações geológicas presentes em Teresina - em destaque a área de estudo..... 118
Figura 27 - Associações de solos encontradas em Teresina - destaque para a área de estudo..... 121
Figura 28 - Classes de relevo do município de Teresina - em destaque a área de estudo..... 125
Figura 29 - Mapa hipsométrico de Teresina - em destaque a área de estudo... 127
Figura 30 - Mapa de declividade de Teresina - em destaque a área de estudo 128
Figura 31- Rede de drenagem na região de Teresina (Piauí) - em destaque a área de estudo..... 133
Figura 32 - Localização da ocupação urbana de Teresina, década de 1960, associada às unidades de relevo..... 136
Figura 33 - Tecido urbano sobre o relevo em 1985..... 138
Figura 34 - Tecido urbano sobre o relevo em 1990..... 139
Figura 35 - Tecido urbano sobre o relevo em 2000..... 140
Figura36 - Tecido urbano sobre o relevo em 2010..... 141
Figura 37 - Tecido urbano sobre o relevo em 2020..... 142
Figura 38 - Episódios excepcionais de inundação em vias de Teresina em 2009..... 144
Figura 39 - Inundação excepcional em vias da Região Norte de Teresina em 2009..... 145
Figura 40 - Terraço fluvial do rio Parnaíba, Região Norte de Teresina..... 147
Figura 41 - Construções de casas populares em áreas de terraço fluvial à margem direita do rio Parnaíba margeando a Avenida Poty Velho. 148
Figura 42 - Mancha urbana de Teresina relacionada com as unidades de relevo..... 149
Figura 43 - Ocupações urbanas em dois pontos distintos da Teresina, regiões Norte e Leste..... 152
Figura 44 - Residencial Torquato Neto e as moradias do entorno, região Sul... 153

Figura 45 - Residencial Jacinta Andrade, extremo Norte de Teresina..... 154
Figura 46 - Áreas de Proteção Ambiental (APP) na área de estudo registradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR)..... 160
Figura 47 - Uso e ocupação do terreno da área de estudo..... 163
Figura 48 - Vegetação predominante de palmáceas nas margens do rodoanel de Teresina..... 164
Figura 49 - Área agricultável situada às margens do rodoanel de Teresina..... 164
Figura 50 - Processo erosivo no loteamento Villa Imperial – região Leste de Teresina..... 165
Figura 51 - Rede drenagem da área de estudo, com destaque para a direção do escoamento superficial..... 168
Figura 52 - Índice Topográfico de Umidade (TWI) aplicado à área de estudo... 172
Figura 53 - Ruas alagadas no Residencial Torquato Neto, Região de Teresina – março de 2021..... 173
Figura 54 - Alagamento na região central de Teresina – outubro/2016..... 174
Figura 55 - Estrutura funcional da relação sociedade-natureza, segundo Ross (2007) 176
Figura 56 - Mapa de fragilidade ambiental a inundações e alagamentos / Teresina (PI) 178
Figura 57 - Localização dos transectos regionais na área de estudo..... 182
Figura 58 - Transecto regional A-A'..... 183
Figura 59 - Transecto regional A-A'..... 185
Figura 60 - Transecto B, com destaque para a ocorrência de loteamentos e outras modalidades de ocupação urbana..... 186
Figura 61 - Transecto regional B - B'..... 187
Figura 62 - Transecto C, com destaque para o distrito Usina Santana..... 188
Figura 63 - Transecto regional C – C'..... 190
Figura 64 - Transecto D – D'..... 192
Figura 65 - Transecto regional D – D'..... 193

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Município de Teresina: percentual de áreas urbana e rural (1966 – 2023) 38

Gráfico 2 - Taxa de crescimento da população de Teresina: 1940 – 2022..... 44

Gráfico 3 - Evolução da área urbanizada de Teresina: 1985 – 2023..... 45

Gráfico 4 - Evolução da área urbanizada de Teresina segundo unidades administrativas..... 48

Gráfico 5 - Porcentagem da expansão urbana em relação às unidades geomorfológicas em Teresina, período de 1985 a 2022..... 151

Gráfico 6 - Relação da fragilidade ambiental a inundações e alagamentos entre o perímetro urbano de Teresina e área de estudo..... 180

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese dos efeitos do PDOT sobre a organização territorial de Teresina (PI) 71

Quadro 2 - Investigações geomorfológicas a serviço do planejamento urbano: estudos de caso selecionados..... 84

Quadro 3 - Padrões de formas de relevo e impactos associados oriundos da ocupação urbana na região metropolitana de Porto Alegre – RS..... 86

Quadro 4 - Compartimentos de relevo da região de Ituiutaba – MG..... 89

Quadro 5 - Unidades geomorfológicas identificadas em Sagar, Índia..... 96

Quadro 6 - Formas de relevo presentes no Distrito de Iztapalapa – Cidade do México..... 97

Quadro 7 - Taxonomia geomorfológica proposta por Ross (1992)..... 103

Quadro 8 - Composição dos modelos para determinação da fragilidade ambiental..... 105

Quadro 9 - Supersequências de deposição da Bacia Sedimentar do Parnaíba..... 116

Quadro 10 - Características geotécnicas encontradas em Teresina..... 122

Quadro 11 - Unidades de relevo de Teresina proposta por Lima (2011)..... 124

Quadro 12 - Categorias de proteção ambiental no CAR..... 158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Evolução da população urbana de Teresina: 1970 – 2022.....	35
Tabela 2 -	Compartimentos de relevo da região de Ituiutaba – MG.....	89
Tabela 3 -	Unidades Hierárquicas de Fragilidade Ambiental.....	111
Tabela 4 -	Classes e pesos da variável geologia, segundo especialistas do Serviço Geológico do Brasil – CPRM / Unidade Teresina.....	111
Tabela 5 -	Classes e pesos da variável relevo.....	112
Tabela 6 -	Classes e pesos da variável solos.....	112
Tabela 7 -	Classes e pesos da variável TWI.....	113
Tabela 8 -	Pesos e classes da variável declividade.....	113
Tabela 9 -	Classificação da fragilidade ambiental.....	114
Tabela 10 -	Percentual da ocorrência das classes de solos em Teresina.....	119
Tabela 11 -	Classes de declividades.....	126
Tabela 12 -	Maiores e menores taxas médias mensais de precipitação pluviométrica (mm) em Teresina, no período 1980 – 1999.....	129
Tabela 13 -	Maiores e menores taxas médias mensais de precipitação pluviométrica (mm) em Teresina, no período 2000 – 2022.....	130

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AUE	Áreas de Urbanização Específicas
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
GAAE	Grupo de Pesquisa: Geomorfologia, Análise Ambiental e Educação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto de Geociências
MDE	Modelo Digital de Elevação
PD	Plano Diretor
PDDrU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PDLI	Plano de Desenvolvimento Local Integrado
PDOT	Plano de Desenvolvimento e Ordenamento do Território de Teresina
PET	Plano Estruturante de Teresina
PPA	Plano Plurianual
PPGGEO	Programa de Pós-Graduação em Geografia
PRODATER	Empresa Teresinense de Processamento de Dados
Semam	Secretaria Municipal de Meio Ambiental de Teresina
SEMPLAM	Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação de Teresina
SETRANS	Secretaria de Estado dos Transportes do Piauí
SINDEC	Sistema Nacional de Defesa Civil
SRTM	Shutte Radar Topography Mission
TWI	Topographic Wetness Index
UESPI	Universidade Estadual do Piauí
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPI	Universidade Federal do Piauí

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 22
2 A EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO PERÍMETRO URBANO DE TERESINA E OS PLANOS DE DESENVOLVIMENTO URBANO..... 29
2.1 Teresina: os caminhos da urbanização da capital piauiense..... 29
2.2 Crescimento e expansão urbana em Teresina..... 32
2.3 Os agentes produtores do espaço urbano: influências na organização da cidade..... 39
2.3.1 Teresina e os atores produtores do espaço geográfico..... 42
2.4 Planos de desenvolvimento urbano: uma estratégia de planejamento para a expansão urbana..... 54
2.4.1 Plano de Desenvolvimento Local Integrado – PDLI (1969)..... 55
2.4.2 I Plano Estrutural de Teresina – I PET (1977)..... 57
2.4.3 Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – PDDU..... 63
2.4.4 II Plano Estrutural de Teresina – PET II (1988)..... 63
2.4.5 Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDrU (2012)..... 66
2.4.6 Plano de Desenvolvimento Sustentável – Teresina Agenda 2015 (2006)..... 67
2.4.7 Plano de Ordenamento Territorial de Teresina – PDOT (2019)..... 69
2.5 O rodoanel de teresina: um corredor viário na área rural do município..... 72
3 A ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA A SERVIÇO DO PLANEJAMENTO URBANO: ASPECTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS E ESTUDOS DE CASO..... 78
3.1 Geomorfologia e o planejamento urbano: conceitos e aplicações..... 78
3.2 Análise geomorfológica aplicada ao planejamento urbano: estudos de caso..... 84
3.2.1 Estudos de caso nacionais..... 85
3.2.2 Estudos de casos internacionais..... 92
4 MATERIAIS E MÉTODOS..... 101
4.1 Referências teórico-metodológicas..... 101
4.2 Etapa de gabinete..... 105

4.3 Levantamento de campo..... 106
4.4 Produção cartográfica..... 107
4.5 Elaboração do mapa de fragilidade ambiental..... 110
5 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA URBANA DE TERESINA: DANOS AMBIENTAIS RECORRENTES E AÇÕES MITIGADORAS..... 116
5.1 Aspectos da morfologia original antes da ocupação urbana de Teresina: quadro natural-ambiental..... 116
5.1.1 Aspectos geológico-geomorfológicos..... 116
5.1.2 Clima e aspectos hidrográficos..... 129
5.2 Entre planícies, terraços e morros: por onde se estabeleceu a ocupação urbana de Teresina?..... 134
5.3 Impactos do crescimento urbano sobre as unidades da geomorfologia..... 143
6 CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS E POTENCIAL DE OCUPAÇÃO URBANA FUTURA NA PORÇÃO LESTE-SUDESTE DE TERESINA..... 156
6.1 Tendência de expansão urbana de Teresina em direção ao rodoanel..... 156
6.2 Análise dos componentes biofísico-naturais frente à ocupação urbana de Teresina..... 157
6.2.1 Identificação de áreas de Proteção Permanente (APPs), de Uso Restrito (AUR) e de Reserva Legal (RL)..... 157
6.2.2 Uso e ocupação na área de estudo..... 161
6.2.3 Rede hidrográfica..... 166
6.2.3.1 Análise do mapa TWI..... 169
6.3 Fragilidade ambiental a inundações e alagamentos..... 174
6.3.1 Análise da fragilidade ambiental na área de estudo..... 177
6.3.2 Síntese das características geoambientais..... 181
6.3.3 Transecto A – A'..... 183
6.3.4 Transecto B – B'..... 186
6.3.5 Transecto C – C'..... 188
6.3.6 Transecto D – D'..... 191

7 CONCLUSÕES..... 194
REFERÊNCIAS..... 198

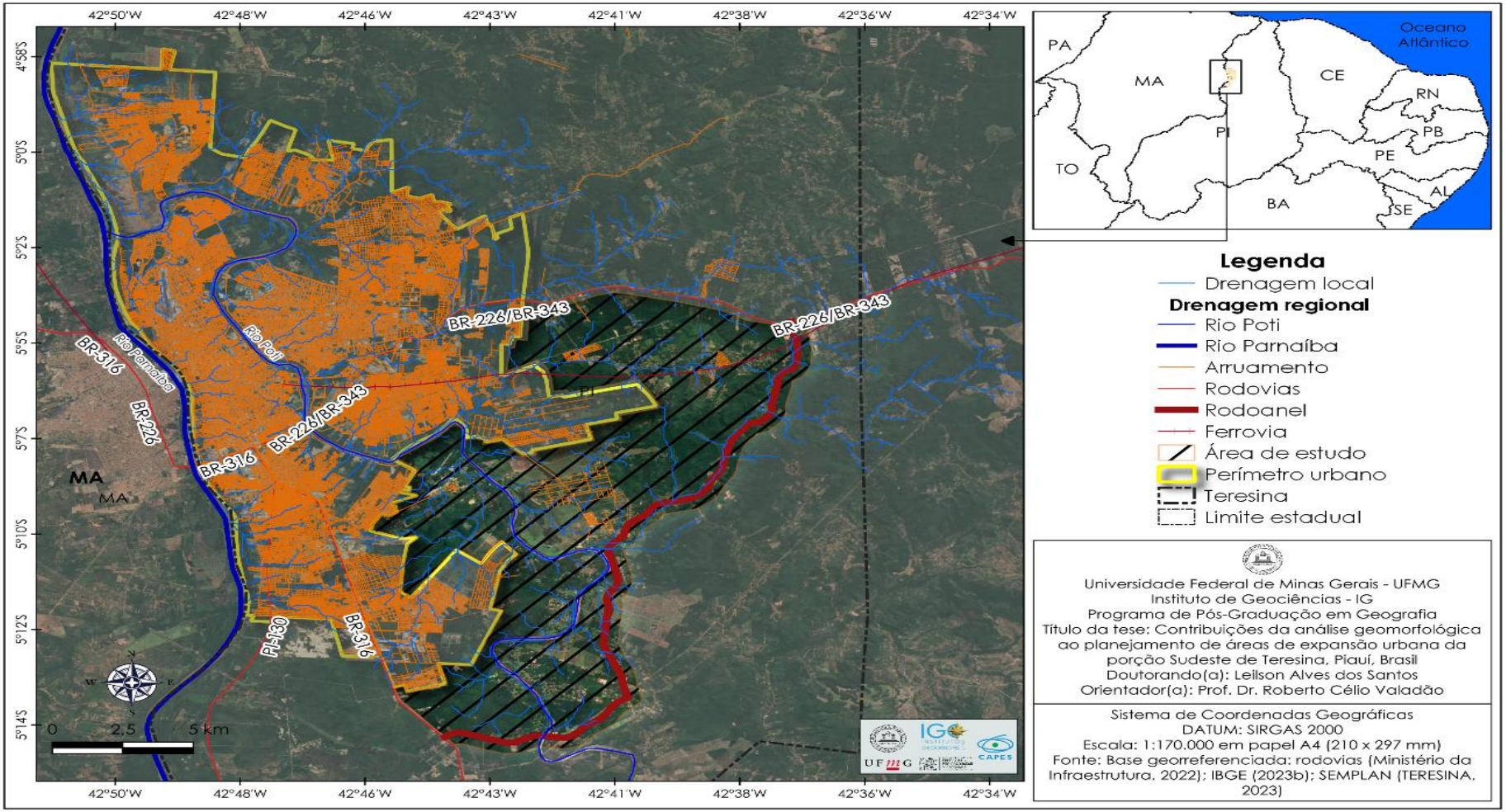
1 INTRODUÇÃO

Desde a transferência da capital do Estado do Piauí de Oeiras para Teresina, ocorrida em 16 de agosto de 1852, a cidade tem registrado uma expansão crescente e acelerada de seu perímetro urbano em razão de seu crescimento populacional. Essa expansão ocorreu segundo metas preconizadas em distintos planos de desenvolvimento urbano de Teresina, de modo que sua mancha urbana, limitada que está pelo rio Parnaíba em sua porção oeste, tem registrado ao longo do tempo expansão nas demais direções – norte, nordeste, leste, sudeste e sul. Essas direções de expansão de seu perímetro urbano têm se dado, obviamente, de modo diferenciado, no tempo e no espaço.

Essa expansão do perímetro urbano da capital piauiense se faz acompanhar de intervenções voltadas para a melhoria das condições de tráfego e, consequentemente, da mobilidade urbana na cidade, além, também, de elementos políticos, sobretudo quando se relaciona às obras com os terrenos que serão indenizados e/ou valorizados. Dentre essas intervenções se destaca, em anos recentes, a implantação do rodoanel de Teresina (Rodovia PI-368), cujo objetivo principal é reduzir a circulação de veículos de carga pesada que, inevitavelmente, cruzavam a área central e já muito adensada da cidade, comprometendo sobremaneira sua mobilidade urbana, além de fomentar outros problemas de natureza socioambiental. Todavia, tendo sido o rodoanel implementado em trecho para além do atual perímetro urbano de Teresina, foi ele então instalado em área rural localizada na porção leste/sudeste do município, resultando, por consequência, no desmatamento de trechos de cobertura vegetal de floresta, na invasão de territórios destinados à reforma agrária e na instalação de danos a mananciais hídricos e encostas.

É neste contexto que se insere este trabalho, uma vez que, desde a inauguração do rodoanel de Teresina, ocorrida em 08 de fevereiro de 2019, acredita-se que a área rural localizada entre esse empreendimento viário e o atual perímetro urbano da cidade será submetida à intensa urbanização nas próximas décadas (Figura 1).

Figura 1 - Área de estudo



A área investigada se estende do atual perímetro urbano de Teresina, limítrofe às regiões Sudeste e Sul da cidade, até o rodoanel.
Fonte: Elaboração do autor (2023).

Trata-se, até o momento, de área rural em que se localizam pequenos núcleos urbanos, cuja grande parcela do espaço é ocupada por pastagens, campos cultivados e florestas. Nesse cenário, digno de nota é o fato de que, para além do rodoanel, adentrando-se mais ainda na área rural de Teresina, há uma coleção de cabeceiras de drenagem que contêm as nascentes de importantes mananciais hídricos, os quais à jusante já drenam parte do perímetro urbano da capital.

A configuração geomorfológica desse espaço que deverá, no futuro, ser também ocupado pela malha urbana, dada a influência exercida pelo rodoanel, é marcadamente diferenciada daquela até então já abrangida pelo perímetro urbano. A declividade das encostas é significativamente maior, as características dos materiais em que se modelam os vales e as encostas se revelam diferenciadas, ou seja, apresentam condições do solo e do arcabouço litoestrutural significativamente diversificadas. Não obstante, acredita-se que a dinâmica geomorfológica é também diferenciada daquela já amplamente conhecida na área urbana de Teresina, episodicamente marcada por áreas submetidas a alagamentos e inundações ao longo dos tempos.

Diante do exposto, torna-se importante voltar o olhar para o planejamento urbano que até o momento se buscou consolidar na capital piauiense. Essa modalidade de planejamento, cujo foco é o espaço urbano, é fundamental para assegurar a qualidade de vida da população que reside nas cidades, tendo sido comumente conduzida em caráter multidisciplinar ao envolver diversas áreas do conhecimento, tais como a Geografia, a Arquitetura, o Urbanismo, as engenharias, a Geologia, dentre outros campos do saber. Nessa perspectiva, a análise das características geomorfológicas pode se revelar fundamental ao planejamento urbano naqueles casos em que se torna necessário compreender como o relevo e sua dinâmica interferem e condicionam a ocupação dos espaços urbanos, notadamente quanto às suas implicações para o uso do solo, o crescimento urbano, a gestão de riscos e a preservação ambiental.

A análise geomorfológica pode contribuir para a identificação de áreas mais propícias à implantação de infraestruturas urbanas, a exemplo do traçado de arruamentos, pontes, viadutos, sistemas de drenagem e saneamento básico, parques e áreas verdes, como também na delimitação de espaços mais favoráveis à implantação de novos empreendimentos imobiliários. Essa mesma análise pode

auxiliar ainda na identificação de áreas cuja ocupação por edificações deve ser evitada, tais como encostas íngremes, áreas de nascentes e demais áreas de proteção ambiental. Consequentemente, a investigação geomorfológica de futuras áreas urbanas pode contribuir para a elaboração de planos de gestão urbana e ambiental mais eficientes, sobretudo no que diz respeito aos planos diretores das cidades que, muitas vezes, são elaborados desconsiderando-se as características físico-naturais dos espaços urbanos.

Nesse sentido, o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) (Lei 12.340/2010) e o Plano Plurianual PPA/2012-2015 / 2020-2023 do Estado do Piauí estabelecem a obrigatoriedade do planejamento urbano que atenda adequadamente ao meio físico, com vistas à elaboração de um plano diretor municipal mais eficiente e fiel à realidade urbana, com destaque para aqueles planos de desenvolvimento integrados em regiões metropolitanas. Esse é o caso da cidade de Teresina, capital do Piauí, a partir da qual a análise geomorfológica, como será demonstrado, constitui importante indicador para o adequado uso e ocupação de seus espaços. Entende-se que o conhecimento geomorfológico pode ser primordial ao planejamento do uso e ocupação da terra naqueles empreendimentos já alocados junto às áreas urbanas e, também, naquelas áreas que poderão ser destinadas à construção de novas edificações, tal como nas regiões sul e sudeste do município de Teresina, em virtude da construção do rodoanel.

A cidade de Teresina teve sua ocupação mais intensa a partir do fim da década de 1970, de modo que em 50 anos a população passou de 220 mil para mais de 866.300 mil habitantes em 2022 (IBGE, 2022). Esse aumento no quantitativo de habitantes decorreu, principalmente, da transferência de pessoas do interior do estado para a capital piauiense na busca por melhores condições e qualidade de vida (Façanha, 1988; Lima, 2002).

Partindo-se do princípio de que o conhecimento geomorfológico é fundamental para se evitar impactos ambientais frente às novas ocupações urbanas, a questão que norteia esta tese é a seguinte: Como o conhecimento geomorfológico pode contribuir para o planejamento mais efetivo de novas áreas com potencial para ocupação urbana em Teresina, áreas essas não contempladas em seu atual Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT)?

Como hipótese, considerou-se que a expansão do sítio urbano de Teresina, para além das áreas já historicamente submetidas às inundações dos rios Poti e Parnaíba e de seus afluentes, introduz novos elementos de risco à expansão das áreas urbanas da cidade na medida em que compartimentos geomorfológicos até então não inseridos em seu perímetro urbano são ocupados por edificações e arruamentos. Ao passo em que se avança para além do atual perímetro urbano de Teresina, em direção ao rodoanel e adjacências, o relevo também se modifica, sendo as encostas mais declivosas e as condições do solo e do arcabouço litoestrutural diferenciadas, de tal modo que, sem um planejamento adequado que indique a potencialidade e a fragilidade frente à ocupação urbana futura, Teresina passará a enfrentar, nas próximas décadas, além dos já conhecidos problemas derivados de inundações e alagamentos, outras modalidades de risco às quais a população estará submetida.

Na busca por responder à essa pergunta, em consonância com a hipótese já salientada, foram elaborados os seguintes objetivos:

Objetivo geral:

Analisar a compartimentação geomorfológica da região leste/sudeste de Teresina, capital do Piauí, bem como a dinâmica do relevo inerente a esses compartimentos, com vistas a diagnosticar possíveis fragilidades ambientais das áreas com potencial para ocupação urbana, notadamente em trecho que se estende do atual perímetro urbano até o rodoanel inaugurado em anos recentes.

Objetivos específicos:

- Apresentar uma análise histórica da urbanização de Teresina relacionando com a gestão dos planos de desenvolvimento urbano/planos diretores da cidade;
- Espacializar os compartimentos geomorfológicos do município de Teresina, buscando relacioná-los à geomorfodinâmica vigente na região leste/sudeste da cidade, notadamente no espaço compreendido entre o atual perímetro urbano até o rodoanel inaugurado em 2019;

- Reconhecer, caracterizar e compreender os processos geomorfodinâmicos que devem receber atenção prioritária no planejamento urbano e ambiental na área de estudo;
- Diagnosticar a fragilidade ambiental da região leste/sudeste na porção limítrofe ao espaço urbano de Teresina que auxilie gestores públicos nas tomadas de decisão e no planejamento urbano, com foco nas áreas propícias à expansão urbana futura.

Esta tese encontra-se organizada em sete capítulos, a contar com esta Introdução e com as Conclusões, os quais buscam responder ao problema e ao objetivo geral da pesquisa.

O capítulo 2, intitulado **A evolução espaço-temporal do perímetro urbano de Teresina e os planos de desenvolvimento urbano**, discorre sobre evolução urbana de Teresina mediante resgate histórico e social. Discute-se, também, o papel dos agentes produtores do espaço na organização espacial da capital piauiense. Nesse capítulo é realizada, ainda, uma análise dos planos de desenvolvimento urbano elaborados para Teresina a partir de meados do século XX até ao atual PDOT, fazendo-se, também, um levantamento sobre a implementação e construção do rodoanel.

No capítulo 3, intitulado **A análise geomorfológica a serviço do planejamento urbano: aspectos teóricos-metodológicos e estudos de caso**, é realizada uma discussão sobre os conceitos e as aplicações da geomorfologia no planejamento urbano, bem como são apresentados alguns estudos de caso nacionais e internacionais que têm como base a geomorfologia a serviço da organização e planejamento urbanos.

No Capítulo 4 constam os **Materiais e Métodos,** que embasam o arcabouço desta pesquisa, descrevendo as técnicas utilizadas para a elaboração dos mapeamentos e interpretação dos dados.

O capítulo 5, intitulado **Caracterização geomorfológica da área urbana de Teresina: danos ambientais recorrentes e ações mitigadoras**, apresenta a descrição do meio físico com ênfase na caracterização geomorfológica de Teresina, bem como trata dos danos ambientais já em curso na área investigada.

O capítulo 6, intitulado **Condicionantes geomorfológicos e potencial de ocupação urbana futura na porção leste-sudeste de Teresina**, é destinado à

caracterização dos processos geomorfológicos atuantes na área de estudo, a fim de identificar a dinâmica e a fragilidade ambiental a inundações e alagamentos da área. Nele são apresentadas as áreas que poderão ser destinadas a ocupações futuras e aquelas que deverão ser evitadas segundo suas características geomorfológicas.

Por fim, são apresentadas as principais conclusões mediante os resultados da pesquisa.

2 A EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO PERÍMETRO URBANO DE TERESINA E OS PLANOS DE DESENVOLVIMENTO URBANO

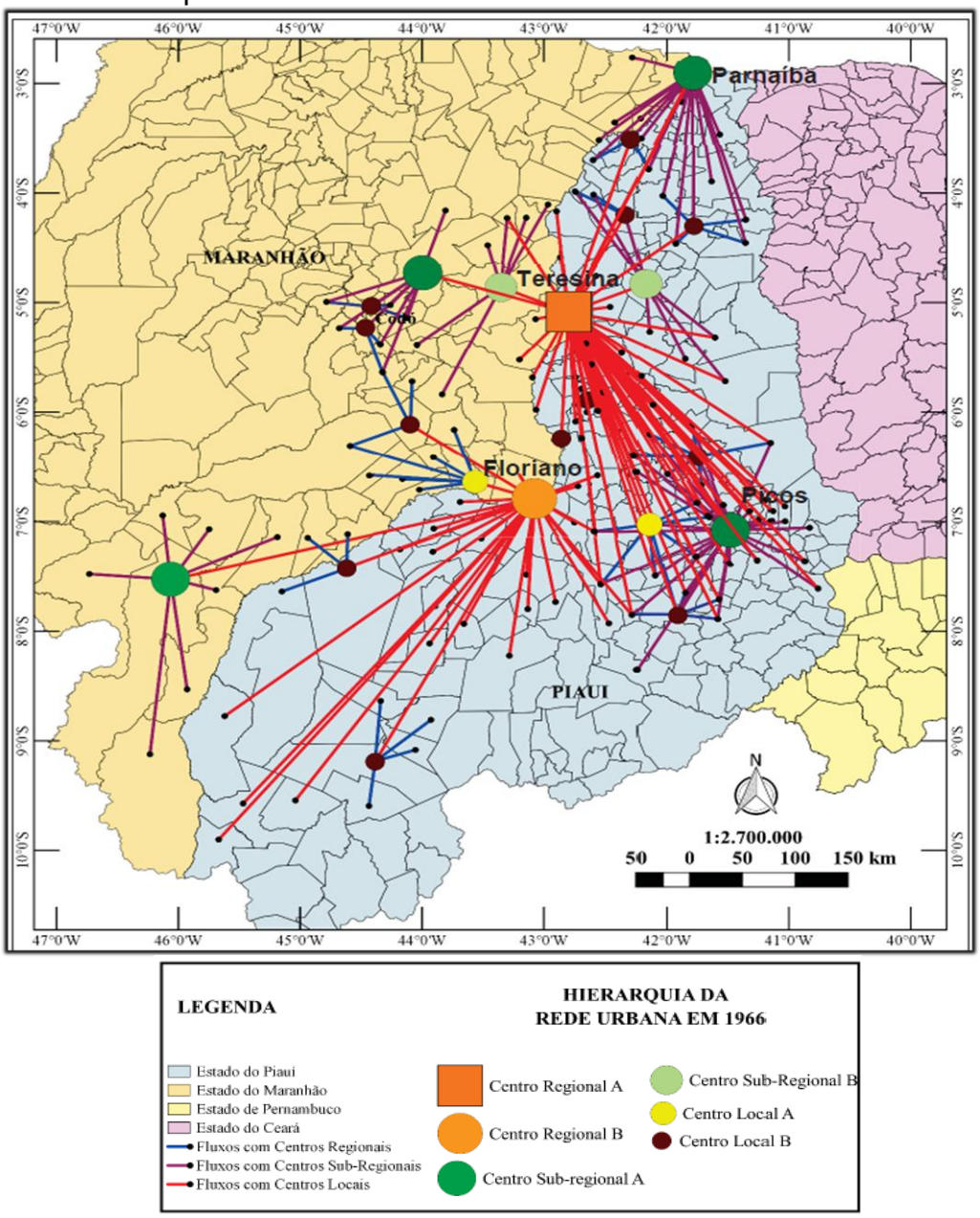
2.1 Teresina: os caminhos da urbanização da capital piauiense

A cidade de Teresina localiza-se na porção centro-norte do estado, numa área que facilita a locomoção e comunicação entre os extremos do estado com a capital. Situada à margem direita do rio Parnaíba, possui altitude média de 75m e encontra-se entre as coordenadas geográficas 05º05’21” S e 42º48’07” W e 05º13’06” S e 42º45’47” W, limitando-se ao Norte com os municípios de União e José de Freitas, ao Sul com Palmeirais, Monsenhor Gil, Curralinhos e Nazária, a Leste com Altos, Pau d’Arco, Demerval Lobão e Lagoa do Piauí, e a Oeste com Nazária e o Estado do Maranhão. Apresenta área de 1.391.293 km², sendo que, deste total, a área urbana corresponde somente a 12%, a qual acolhe 866.300 habitantes, sendo a densidade demográfica do município de 622,66 hab/km². Na zona urbana, a densidade demográfica é de 3.091 hab/km² (IBGE, 2010, 2022; SEMPLAM, 2020).

Teresina tornou-se um importante eixo rodoviário de interligação no interior do Nordeste, tendo duas rodovias federais, quatro estaduais, uma linha férrea e pontes interestaduais ligando à cidade as principais metrópoles da região, como São Luís, Fortaleza, Recife e Salvador, além de entroncamento rodoviário entre os principais fluxos advindos da Região Norte do país. Atualmente, a cidade é classificada de acordo com sua área de influência na rede urbana brasileira como Capital Regional (Figura 2), pois se configura em um importante centro distribuidor de bens e serviços, a exemplo de sua excelência em serviços médico-hospitalares, sendo também referência no setor educacional (Chaves, 2015; IBGE, 2018).

A cidade teve sua origem em meados do século XIX, mais precisamente no ano de 1852, tendo sido planejada para ser a segunda capital do Piauí. O seu traçado inicial foi esquematizado no formato de tabuleiro de xadrez (Plano Saraiva de 1850), com forte e funcional centro administrativo voltado para a centralização de atividades comerciais e de serviços, tendo como responsável técnico o mestre de obras João Isidoro da Silva França.

Figura 2 - Hierarquia da rede urbana de Teresina-PI



Fonte: Melo Filho (2023).

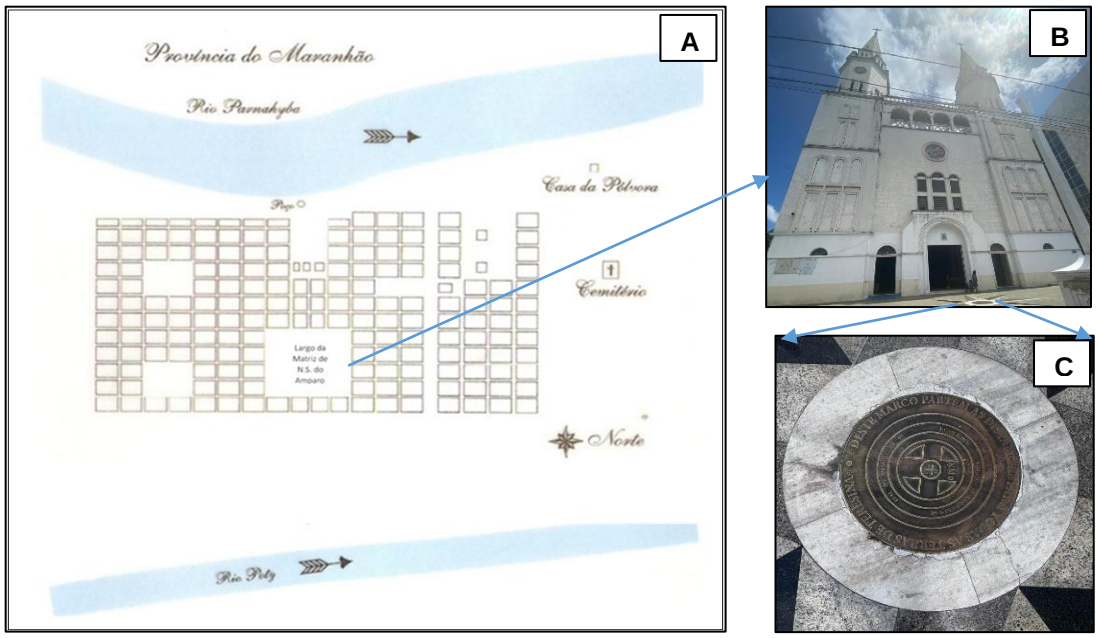
Segundo Abreu (1983), a cidade foi construída por traçados geométricos regulares com ruas paralelas e simetricamente numa conjuntura de dezoito quadras, no sentido norte-sul e doze quadras no sentido leste. A mencionada autora relata, ainda, que a construção de Teresina sofreu influência da Lei das Índias, que orientava o planejamento de cidades numa malha ortogonal a partir da disposição de praças, de modo que a topografia plana da região favorecida pela confluência entre os rios Parnaíba e Poti foi fundamental para a consolidação do traçado ortogonal.

A localização geográfica da nova capital, além dos aspectos do relevo, também considerou elementos econômicos e políticos, uma vez que facilitaria a comunicação com as demais províncias, bem como o escoamento das mercadorias através da navegação pelo rio Parnaíba.

Para Moreira (1972) e Reis Filho (2012), a localização de Teresina tornou-se estratégica, pois se configurava como principal eixo de circulação e saída de mercadoria do Piauí, o que lhe conferia condições potenciais para o desenvolvimento – fato este que Oeiras, então capital da província, não dispunha, pois se localizava na região semiárida e distante dos grandes centros populacionais e comerciais da época.

O prédio da Igreja de Nossa Senhora do Amparo, primeiro edifício construído na cidade (portanto, o seu marco zero), serviu de ponto de referência para o traçado dos arruamentos da nova capital (Figura 3).

Figura 3 - Plano urbano geométrico inicial de Teresina – 1852



Em A, plano inicial do traçado de Teresina em 1852. Em B, edificação atual da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Amparo. Em C, monumento que determina o Marco Zero da cidade, situado em frente à porta principal da igreja matriz.
Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Abreu e Lima (2000); Acervo do autor (2023).

Lima (2002) discorre que, a partir de 1860, Teresina já dispunha de uma rede urbana abrangente tanto nas direções norte-sul quanto leste-oeste. A autora relata que as primeiras obras públicas construídas na cidade foram a Igreja de Nossa

Senhora do Amparo, o Mercado Público na zona central, o cemitério São José, na porção norte, e a Igreja de Nossa Senhora das Dores, na porção sul. Essas quatro edificações condicionaram os vetores de expansão de Teresina nessas direções.

Após um hiato de quase cem anos, Teresina voltou a registrar significativa expansão urbana, a ponto de Façanha (1998) e Lima (1996) relatarem que, na década de 1950, a cidade já era a mais populosa e a maior economia do Piauí. A partir dessa década a cidade passou a ser contemplada com maciços investimentos em infraestrutura urbana, quando se verificaram ampliações em suas redes viárias, de fornecimento de energia elétrica e de abastecimento de água.

Cabe destacar que o modo utilizado em Teresina para a definição de seus usos são as regiões administrativas, a exemplo do Distrito Industrial, localizado na região sul da cidade, o qual constituiu significativa atração para novas ocupações. Todavia, essa modalidade de planejamento é considerada inadequada, conforme constatado no Plano de Desenvolvimento Local Integrado de 1969, pois, dentre outras especificidades, desconsidera as características físico-naturais como determinantes (Leal Junior, 2014).

2.2 Crescimento e expansão urbana em Teresina

A urbanização tem ocasionado uma expansão significativa, especialmente, no sentido horizontal da mancha urbana de diversas cidades, o que afeta diretamente as áreas rurais do entorno, uma vez que o solo passa a ser de uso para instalação da infraestrutura urbana. Nesse processo são comumente ocupadas áreas ambientalmente suscetíveis a impactos ambientais, a exemplo de planícies de inundação e áreas de encostas íngremes, o que pode afetar a busca pelo desenvolvimento sustentável, em particular em escala local, como é o caso de Teresina.

As áreas suburbanas apresentam um padrão de uso da terra compacto e multifuncional, enquanto nas áreas exurbanas predominam a baixa densidade populacional. Todavia, mediante o intenso processo de urbanização dessas últimas e à sua incorporação à malha urbana, é comumente deflagrada uma série de danos socioambientais (Wenqiu *et al.,* 2018; Façanha, 2016; Viana, 2013).

A esse respeito, Silva (2011) e Van Berkum (2023) discorrem que o avanço da urbanização sobre áreas rurais ocasiona o desaparecimento de zonas úmidas, o desmatamento e a intensificação de processos erosivos, fomentando o aumento da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental, especialmente para a população com menor poder aquisitivo. Esse aumento de vulnerabilidade torna-se um desafio para os gestores públicos diante da necessidade de se estabelecer diretrizes de uso e ocupação racional do solo urbano.

Do mesmo modo, o crescimento urbano em áreas de transição urbano-rural, como está ocorrendo em Teresina e, de maneira especial, no trecho delimitado nesta pesquisa, cria desafios e oportunidades para os gestores públicos e a iniciativa privada no que tange ao gerenciamento dos recursos naturais, dos serviços sociais e de infraestrutura que serão demandados (Thou, 2013). Consequentemente, também afeta a busca pelo desenvolvimento de cidades sustentáveis, conforme preconizado no Estatuto das Cidades, instituído pela Lei Federal n.º 10.257, de 10 de julho de 2001.

A partir da Lei Federal n.º 12.608/2012, os municípios brasileiros foram obrigados a elaborarem projetos para suas novas áreas destinadas à expansão urbana, sobretudo aquelas que alteram o perímetro urbano do município. Através do Plano Diretor de Ordenamento Territorial de Teresina (PDOT), de 2019, estabelece três Áreas de Urbanização Específica (AUE), situadas nas regiões norte, leste e sul da cidade. Estas áreas foram inseridas na faixa de transição entre os espaços urbanos e rurais, ou seja, espaços periurbanos e têm o objetivo de serem ocupadas gradativamente através de loteamentos equipados com serviços e equipamentos urbanos e infraestrutura. Porém, ao mesmo tempo que tais empreendimentos são instalados, acabam por atrair ocupações no entorno que, sem a fiscalização de órgãos gestores, passam a ocupar áreas com potencial vulnerabilidade ambiental.

Leal Junior identificou cinco momentos de deslocamento da população na cidade de Teresina, todos esses ligados a fatores políticos sociais, a saber:

> a) 1º momento: Execução do Plano de Saraiva juntamente com a construção do traçado inicial e principais edifícios públicos, o que resultou na ocupação do que hoje se denomina Centro Histórico (década de 1850);
> b) 2º momento: Urbanização da Avenida Frei Serafim e consolidação de sua ocupação por população de alta renda, assim como o crescimento da periferia do Centro (década de 1930);

> c) 3º momento: A cidade inicia sua expansão nas direções Norte e Sul, mas mantendo-se dentro dos limites dos rios Parnaíba e Poti (década de 1950);
> d) 4º momento: Após a construção da Ponte Juscelino Kubitschek, sobre o Rio Poti, e a instalação do Hipódromo na margem direita desse rio, verifica-se um deslocamento da população de alta renda para esta zona; em paralelo, a política habitacional do Governo Federal cria conjuntos habitacionais populares na zona Sul, distante do bairro Centro (década de 1960);
> e) 5º momento: Após a construção na Região Norte da cidade da Ponte Mariano Gayoso, sobre o Rio Poti, verifica-se um crescimento populacional significativo dos bairros localizados além-rio, bairros de baixa renda per capita (década de 1980) (Leal, Junior, 2014, p. 79).

Façanha (1998) enfatiza que a década de 1950 marca o início de profundas transformações no espaço urbano de Teresina, seguindo os movimentos que ocorriam a nível nacional:

> (...) a urbanização no Piauí ganhou a partir de 1950 uma nova dinâmica. A conjuntura nacional e regional, que estava se implementando naquele momento, iria contribuir para que ocorresse o desenvolvimento do Estado, consolidando a cidade de Teresina como principal cidade do Estado do Piauí" (Façanha, 1998, p. 63).

É neste período que a população urbana supera a rural na capital piauiense, estabelecendo, assim, uma nova dinâmica de ocupação e populacional. A Tabela 1, adiante, revela um dado importante: a população urbana de Teresina dobrou a cada década, entre 1950 e 1970, e estabilizou com pouco crescimento quando comparado com os anos anteriores.

Tabela 1 - Evolução da população urbana de Teresina: 1970 – 2022

Ano	População total	População urbana		População rural		Taxa média Geométrica de Crescimentos Anual (%)
		Residentes	%	Residentes	%	
1940	76.641	34.695	51,29	32.945	48,71	
1950	90.0723	51.417	56,62	39.306	43,33	2,98
1960	142.691	98.329	68,91	44.362	31,09	4,63
1970	220.487	181.062	82,12	39.425	17,88	4,45
1980	377.774	339.042	89,75	38.732	10,25	5,53
1990	599.272	556.991	92,93	42.361	7,07	4,28
2000	715.360	677.470	94,70	37.890	5,30	1,80
2010	814.230	767.557	94,30	46.673	5,70	1,21
2022*	866.300	-	-	-	-	0,52

*Censo Demográfico realizado em 2022 (lembrando que o IBGE ainda não divulgou todos os dados).
Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Anuário Estatístico do Brasil – 1997; Censo Demográfico 2000/2010/2022.

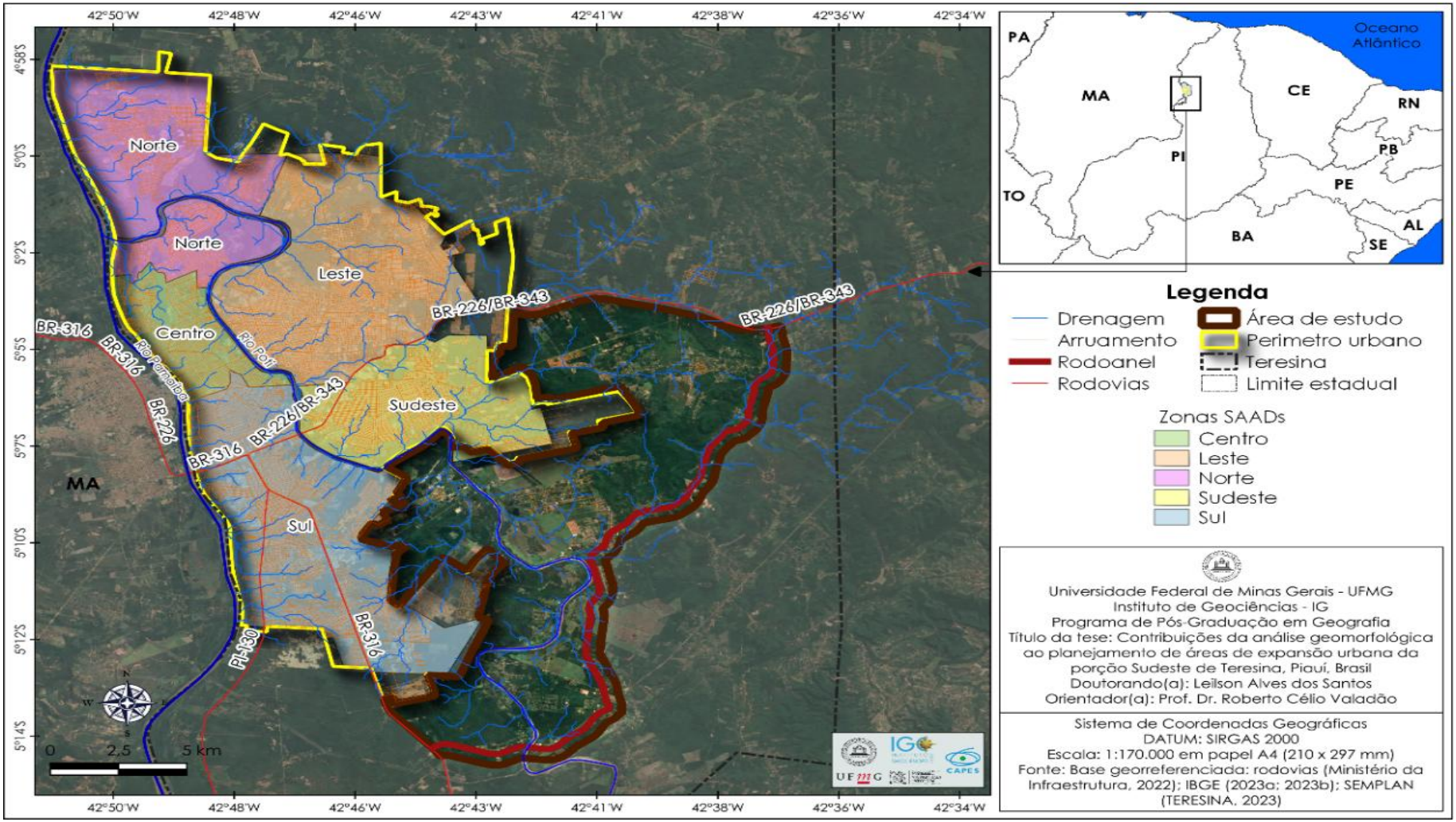
Teresina tornou-se, pois, uma referência de migração de população oriunda de cidades do interior do Piauí em busca de novas oportunidades e melhor qualidade de vida, porém, essa população, principalmente a de menor renda, passou a ocupar áreas inadequadas para habitação, tais como as planícies de inundação e encostas. Este fato contribuiu para acentuar a desconfiguração do traçado geométrico inicial, além de resultar nos principais problemas ambientais enfrentados na cidade na atualidade: as inundações e os alagamentos (Figura 4).

Figura 4 - Ocupações em áreas suscetíveis a inundações sazonais na Região Norte de Teresina

A fotografia **A** retrata condições na Vila Mocambinho, localizada na margem esquerda do rio Poti, onde durante as inundações sazonais parte da população é acolhida em abrigos em razão da invasão das unidades residenciais pelas águas. Em **B** trecho às margens da Avenida Poti Velho, localizada na margem direita do Parnaíba, onde durante o período chuvoso são frequentes os alagamentos.
Fonte: Acervo do autor (2022).

Atualmente, Teresina está dividida em cento e vinte três bairros, distribuídos em cinco regiões administrativas, gerenciadas administrativamente por Superintendências de Ações Administrativas Descentralizadas (SAADs). São elas: centro, norte, sul, leste e sudeste (Figura 5).

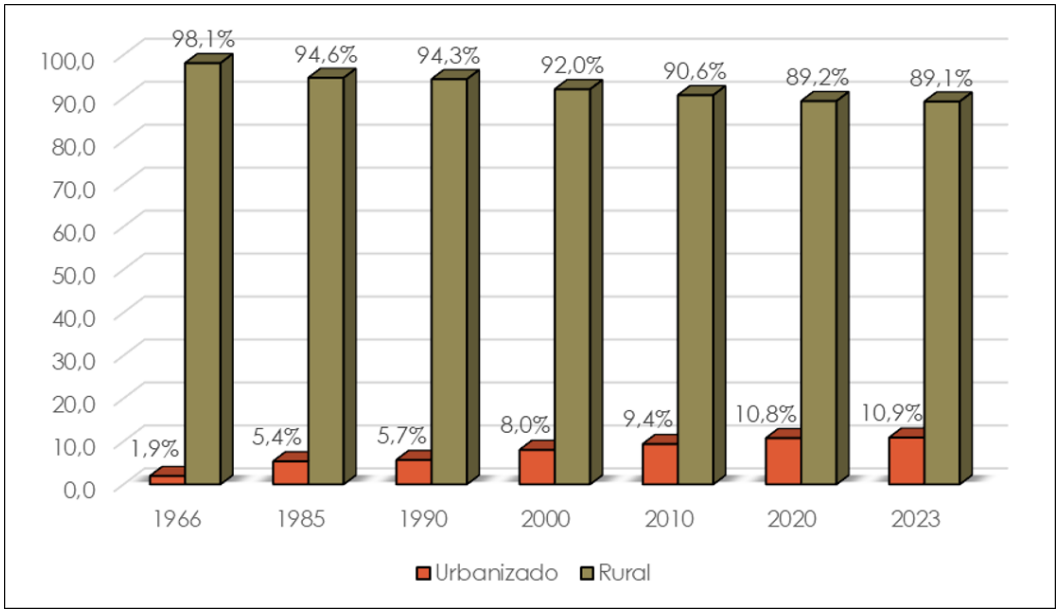
Figura 5 - Localização das regiões administrativas de Teresina, com destaque para a área de estudo



Fonte: Elaboração do autor (2023).

A área urbana de Teresina corresponde a uma parcela relativamente pequena em relação ao tamanho de seu município, abrangendo aproximadamente 12% da sua área total. No entanto, tem-se observado que a expansão urbana avança gradativamente ao longo dos anos, conforme pode ser verificado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Município de Teresina: percentual de áreas urbana e rural (1966 – 2023)



Fonte: Elaboração do autor (2024).

Em cerca de 50 anos, Teresina teve uma expansão urbana de aproximadamente 327%, saindo de 26,4km² da ocupação urbana inicial para 173km². A área central de Teresina, onde se instalou a nova capital, foi, durante muito tempo, a que mais recebeu intervenções diretas no seu modelado – transformações essas que interferiram diretamente nos processos naturais, principalmente naqueles relacionados ao escoamento das águas superficiais. Tais intervenções buscavam solucionar problemas urbanísticos relacionados a inundações, alagamentos e destinação de áreas a serem ocupadas.

Nos últimos anos é possível observar uma mudança significativa decorrente da expansão urbana de Teresina sobre compartimentos de relevo até então não ocupados, o que tem implicado na instalação de cortes em taludes, no rebaixamento de topos de morros e na canalização de cursos fluviais, conforme já identificado por Nunes (2022) e corroborado em campo. Essas alterações na morfologia original se tornaram particularmente frequentes nas fronteiras da zona urbana, onde é crescente o interesse por parte de agentes imobiliários, cujo

objetivo está voltado para a implantação de condomínios fechados de médio e alto padrão. Esse interesse e a ação desses agentes têm gerado novas ocupações. Nesse âmbito, é importante destacar que, de acordo com o Estatuto da Cidade (Lei Federal n.º 10.257/2001), cabe ao Estado intervir diretamente para coibir a especulação imobiliária que resulte na valorização excessiva da terra.

No Brasil, o processo de expansão urbana, caracterizado pelo avanço das ocupações sobre áreas rurais, permanece intenso, especialmente nas médias cidades e regiões metropolitanas. Esse fenômeno, evidenciado pelo espraiamento da mancha urbana dessas cidades, é impulsionado pelo crescimento populacional que, gradativamente, passa a ocupar as áreas periurbanas devido ao menor custo dos terrenos (Santoro; Cobra; Bonduki, 2010). Tal processo é notável em Teresina, onde a expansão da mancha urbana ocorreu em todas as direções, especialmente a partir da década de 1980, como demonstrado na Figura 6, adiante.

O Estado, como agente produtor do espaço, contribui para a especulação imobiliária ao promover a instalação de infraestrutura, conceder incentivos fiscais e facilitar o crédito para empresas do setor imobiliário, além de demonstrar ineficiência na fiscalização por parte dos órgãos ambientais. Em Teresina, esse fato se evidencia na proliferação de condomínios e loteamentos na zona de transição entre o perímetro urbano e a zona rural.

Neste trabalho, os esforços estão focados na área localizada nas porções leste/sudeste do município de Teresina, em recorte espacial para além do atual perímetro urbano da cidade, tendo como limite o rodoanel PI-368 localizado no trecho entre as BRs 343 e 316 – área esta que não foi contemplada pelo atual Plano de Ordenamento Territorial de Teresina (PDOT), de 2019, como possível área de expansão urbana. No entanto, antes de adentrar no estudo específico dessa área, faz-se necessário discutir como se deu a atual conjuntura da ocupação urbana na capital piauiense ao longo dos anos.

2.3 Os agentes produtores do espaço urbano: influências na organização da cidade

O espaço urbano é resultado de uma complexa interação entre os diversos agentes produtores do espaço responsáveis pela construção e transformação do ambiente urbano, sendo consolidado por meio da intervenção humana (Corrêa,

1989; Villaça, 2011). Esses agentes, cujas ações são influenciadas por fatores sociais, econômicos, políticos e culturais, moldam as distintas características dos centros urbanos, seja nas grandes, seja nas médias ou pequenas cidades.

Assim, o espaço urbano é modelado considerando o sistema socioeconômico vigente, neste caso, o sistema capitalista, uma vez que a sociedade se organiza conforme as relações econômicas, sociais e culturais e políticas sob influência da dinamicidade promovida pelo capitalismo (Almeida, 1989; Botelho, 2007).

Nesse sentido, Corrêa (1989) afirma que o espaço geográfico é transformado por ações de distintos agentes que produzem as mais diversas formas espaciais. Dentre esses agentes, destacam-se aqueles que possuem maior influência na modelagem da paisagem urbana, a saber:

1. Os proprietários dos meios de produção;
2. Os proprietários latifundiários;
3. Os produtores imobiliários;
4. O Estado;
5. Os grupos sociais excluídos.

Cabe destacar que este estudo segue na perspectiva de que a produção do espaço é fruto da ação social e do dinamismo do espaço urbano, tal como preconiza Roberto Lobato Corrêa, que defende a participação democrática nas decisões urbanas, a fim de tornar o espaço urbano essencialmente social. Corrêa (1989) considera, ainda, o espaço urbano dinâmico, fragmentado e articulado, uma vez que reflete as condições sociais através de um conjunto de símbolos e lutas que se materializam/concretizam nas diversas formas espaciais.

Viana (2005), por sua vez, destaca que uma dada organização espacial é resultado de atores concretos que atuam sobre o espaço urbano, promovendo a reorganização das espacialidades a partir da incorporação de novas áreas na mancha urbana das cidades. Tais atores transformam o espaço urbano de forma significativa nos âmbitos econômico, social e cultural e, muitas vezes, ocasionam conflitos nas relações sociais, pois aprofundam as desigualdades sociais.

Nessa perspectiva, os proprietários dos meios de produção e os proprietários latifundiários são responsáveis por explorar o máximo do valor agregado do solo

urbano, enquanto os produtores imobiliários estão encarregados de promover: (i) a incorporação, (ii) o financiamento, (iii) os estudos técnicos, (iv) a construção ou produção física do imóvel, comercialização ou transformação do espaço urbano. Já o Estado é responsável por: (v) estabelecer marcos jurídicos, (vi) taxação da propriedade fundiária, das edificações, do uso da terra e das atividades produtivas, (vii) fomentar as condições gerais de produção para os outros agentes, (viii) controle de mercado fundiário, (ix) torna-se produtor imobiliário, e (x) torna-se produtor industrial (Corrêa, 1989). Assim, o Estado se configura em múltiplas facetas, pois pode exercer a função dos outros agentes produtores do espaço urbano, uma vez que reflete a dinamicidade da sociedade.

Castells (1983) esclarece que o Estado, como governança, pode ser influenciado por diversos agentes políticos, uma vez que as decisões irão impactar diretamente na qualidade de vida e no desenvolvimento sustentável das cidades.

É nessa perspectiva que os grupos sociais excluídos se destacam na produção do espaço geográfico por meio de suas atividades econômicas, moldando as características físicas e sociais dos centros urbanos, ocupando áreas de risco ambientais e, futuramente, também socioeconômicos, originando, por exemplo, as favelas. A esse respeito, Smith (2001) argumenta que a economia influencia a distribuição de atividades comerciais, industriais e residenciais, compondo forças econômicas que impactam diretamente na configuração dos centros urbanos, (re)modelando seu crescimento, bem como a distribuição de empregos e a infraestrutura.

Corrêa (2005) identifica dois fenômenos que ocorrem na produção do espaço urbano. O primeiro diz respeito à autossegregação urbana, caracterizada pela ocupação das elites das melhores áreas da cidade, de modo que, no caso de Teresina, isso pode ser verificado na ocupação inicial do centro, mais tarde em parte da região sul e, partir do fim de década de 1970, na região leste da cidade. Os demais estratos da população se fixaram em localidades mais periféricas, mediante essa segregação espacial que lhes é imposta. Nesse contexto, os promotores imobiliários desempenham papel importante, pois a especulação imobiliária eleva os custos dos imóveis e de vida nas áreas centrais, o que restringe a probabilidade de a população de menor poder aquisitivo se fixar nessas áreas, a qual passa a ocupar cada vez mais as áreas mais periféricas e carentes dos serviços básicos urbanos.

Cabe destacar que, quanto mais central e maior a disponibilidade de serviços, mais caro tende a ser a parcela do solo urbano, de modo que um terreno pode ser avaliado com preços distintos em detrimento das vantagens associadas a ele e, principalmente, em função de sua localização (Miron, 2008). A esse respeito, Harvey (1980) aponta alguns dos fatores que possibilitam a troca do solo urbano, tal como a facilidade de acesso a bens e serviços e a redução dos custos e tempo com deslocamento. Isso proporciona maior comodidade para uma parcela da população que detém de meios financeiros robustos, enquanto a outra parte da população fixa suas residências em áreas cada vez mais periféricas e sem a devida infraestrutura.

Villaça (2011) ressalta que a segregação existente na atual sociedade capitalista é fruto da valorização dos espaços urbanos, o que aprofunda cada vez mais as desigualdades sociais, culturais e políticas.

Destarte, quando se olha para as características geomorfológicas dos centros urbanos, verifica-se que áreas mais valorizadas são exatamente as que recebem maiores investimentos em infraestrutura, drenagem urbana eficiente e contenção de encostas, em detrimento das áreas ocupadas pela população de menor poder aquisitivo, que tendem a ocupar os fundos de vales, encostas íngremes e topos de morros – áreas essas que, sem obras de engenharia adequadas, são frequentemente epicentro de desastres socioambientais[1] (Villaça, 2011; Lima, 2016).

2.3.1 Teresina e os atores produtores do espaço geográfico

Teresina tem registrado um expressivo crescimento urbano desde meados da década de 1950. Esse crescimento e a consequente expansão de sua malha urbana não se deram em uma direção predominante, ou seja, se espalharam por diferentes direções da cidade – norte, leste, sudeste e sul. Essa expansão se relacionou, sobretudo, com o movimento migratório do campo para a cidade em consonância com a política nacional de modernização do Brasil. Essa política esteve fundamentada na industrialização e na busca pela integração regional no país, mediante a execução de políticas públicas voltadas para a construção de conjuntos

[1] É o “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais” (Castro, 1988, p. 52) e que “(...) deriva de um conjunto de características, como a vulnerabilidade da comunidade, a ocupação e a estrutura que baseia estas moradias, o gerenciamento de risco da gestão local, entre outras” (Fernandes, 2020, p. 243).

habitacionais e de demais melhorias de infraestrutura, tais como a abertura e pavimentação de vias de acesso, implantação de escolas, creches e unidades de pronto atendimento (Moreira, 1972; Façanha, 1998; Lima, 2023).

Ainda a respeito dos fatores que contribuíram para a expansão urbana de Teresina desde meados do século XX, além daqueles já citados, acrescentam-se os investimentos feitos para a ampliação dos sistemas de abastecimento de água e energia elétrica (Reis Filho, 2012).

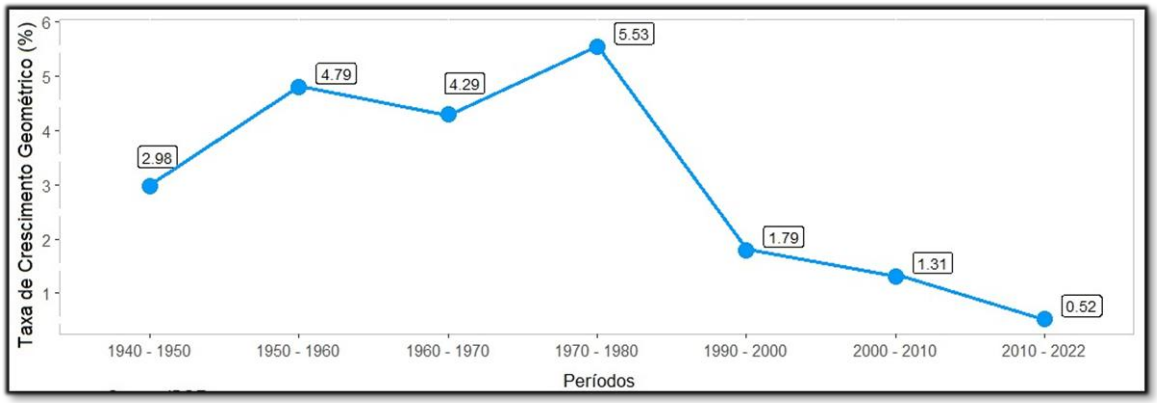
De acordo com Lima (2023), em quatro décadas, entre 1940 e 1991, a população de Teresina registrou um crescimento de 786%, passando de 67.641 para 599.272 habitantes, registrando taxa geométrica de crescimento de 4,28% no início da década 1990. Moreira (1972) ressalta que, entre as décadas de 1940 e 1950, embora a cidade tenha recebido grande contingente populacional, a expansão urbana de Teresina ocorreu de forma descontínua, ou seja, enquanto em algumas áreas se registrava forte adensamento, em outras se mantinham vazios urbanos. A esse respeito, Silva e Veloso Filho relatam que:

> O setor habitacional em Teresina é o responsável pela configuração urbana da cidade. Sendo assim, o padrão de expansão urbana horizontal foi instaurado a partir da política de instalação dos conjuntos habitacionais distantes da área urbana consolidada, efetivado pela Companhia Habitacional do Piauí (COHAB-PI) e corroborado pela recente política do Programa Minha Casa, Minha Vida, do Governo Federal (Silva; Veloso Filho, 2020, p. 41).

Para Lima (2023), a expressiva expansão da mancha urbana de Teresina ocorrida a partir de 1940 se deve ao seu espraiamento nas diversas direções da cidade, bem como pelo aumento da população e pelas ações do poder público com a construção de grandes vias, pontes, praças e edifícios públicos, evidenciando a força do Estado como agente transformante do espaço. Outro fato importante a ser destacado é a instalação do programa nacional de construção de rodovias, o qual beneficiou a cidade com diversas obras, principalmente entre as décadas de 1960 e 1980, período no qual a cidade apresentou as mais elevadas taxas de crescimento geométrico da população (Gráfico 2). São exemplos dessas obras o prolongamento e a pavimentação de ruas e avenidas, que passaram a proporcionar maior interligação entre as diversas regiões da cidade, o que acabou por favorecer a

consolidação de Teresina como centro de atração populacional no Piauí (Lima, 2002).

Gráfico 2 - Taxa de crescimento da população de Teresina: 1940 – 2022

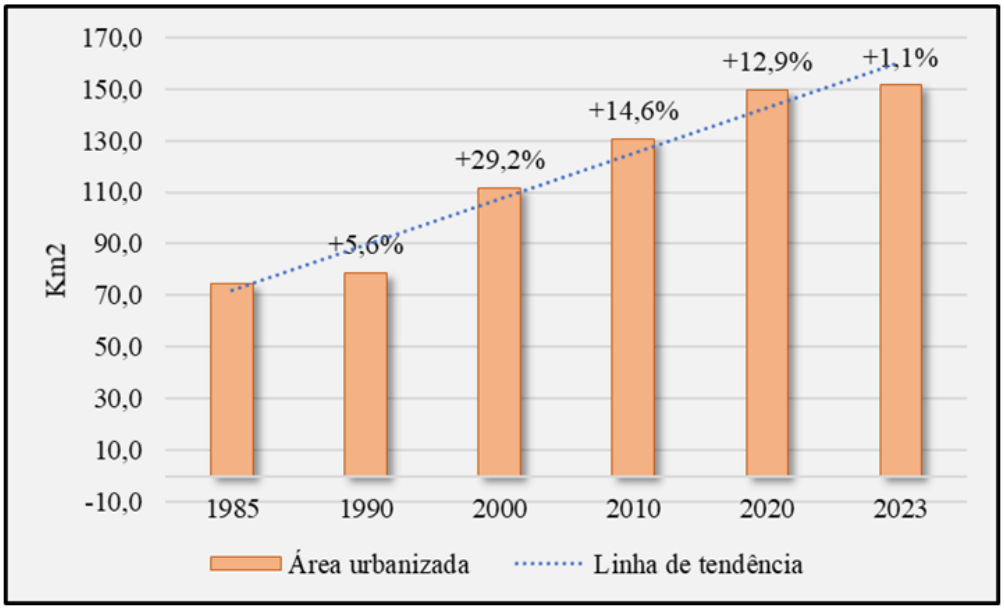


Fonte: Elaboração do autor (2024) a partir de IBGE (1940-2022).

O aumento do contingente populacional para além da capacidade técnica que a cidade suportaria acabou por exercer uma pressão sobre os equipamentos de infraestrutura urbana, sobrecarregando, por exemplo, os serviços de transporte público, saneamento básico, saúde e educação, ocasionando, inclusive, a escassez de moradias. No entanto, cabe destacar que, desde a década de 1990, a taxa de crescimento demográfico da capital piauiense se mantém baixa, refletindo os cenários nacional e regional, no qual registram a cada ano uma menor taxa de natalidade e fecundidade.

A partir de década de 1980, o espraiamento da ocupação urbana de Teresina tornou-se mais acentuado, tendo como principal fator as ações governamentais com a construção de conjuntos habitacionais em diversas regiões da cidade, bem como ações de incentivos à ocupação urbana de novas áreas (Gráfico 3 e Figura 6).

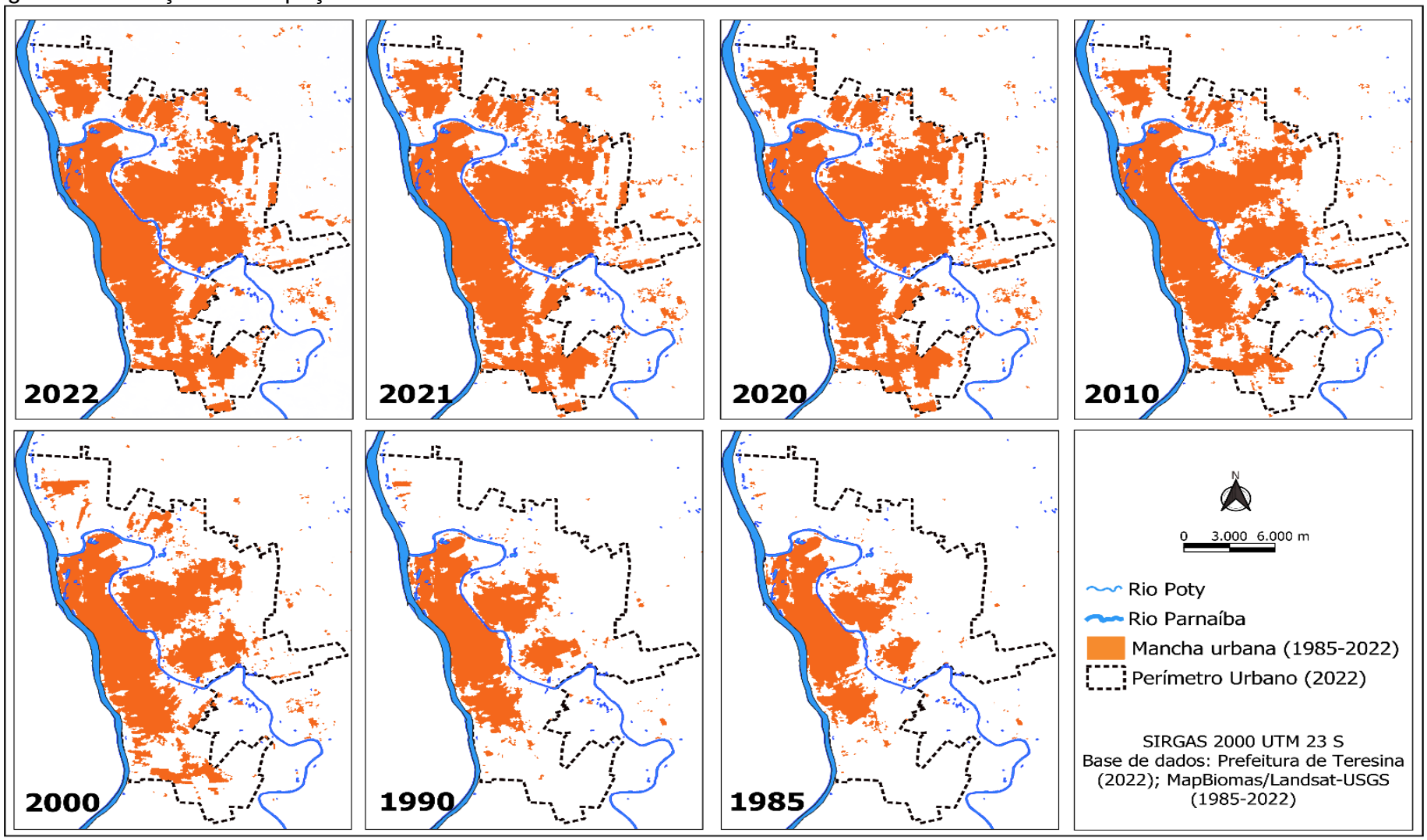
Gráfico 3 - Evolução da área urbanizada de Teresina: 1985 – 2023



Fonte: Elaboração do autor (2024) a partir de MapBiomas (2023).

Silva e Veloso Filho (2020) registram que, na década de 1980, o crescimento horizontal de Teresina já estava estabelecido e consolidado, sendo os principais agentes desse crescimento o Estado (através da política nacional de habitação), os proprietários fundiários e os produtores imobiliários. A expansão urbana horizontal e de forma desorganizada reflete a ausência de um planejamento estratégico por parte do poder público, o que ocasionou diversos problemas de ordem social, ambiental e econômica na cidade, com o aumento de ocupações em áreas inadequadas para residências.

Figura 6 - Evolução da ocupação urbana de Teresina: 1985 – 2022



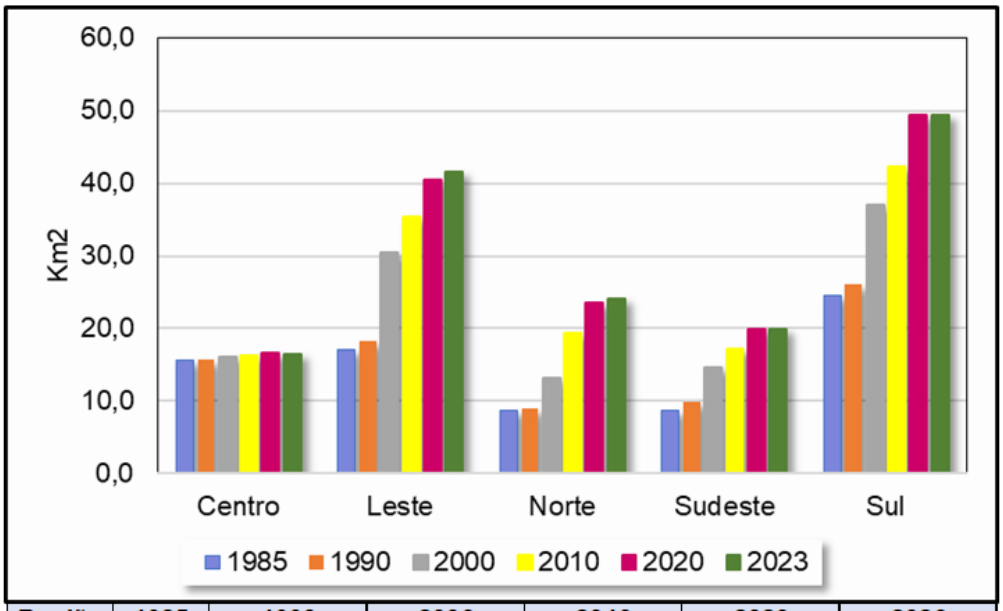
Fonte: Elaboração do autor (2024).

No fim da década de 1990, a capital piauiense já havia se expandido em todas suas direções e, embora já contasse com uma legislação específica que regulamentava a ocupação e uso de seu solo urbano, não possuía ainda instrumentos urbanos adequados ao uso democrático da cidade. Desse modo, os grupos sociais excluídos continuavam sem acesso aos serviços urbanos essenciais, a exemplo da Vila Irmã Dulce, do Parque Rodoviário, da Vila da Paz, dentre outros (Lima, 2023). O aumento no contingente populacional contribuiu, portanto, para o agravamento da segregação socioespacial, bem como para o aumento da pobreza e da marginalização da população de baixa renda, que passa a ter acesso limitado às oportunidades de emprego e aos serviços de saúde e educação, ampliando as desigualdades socioeconômicas na cidade. Essa conjuntura resulta na deterioração da qualidade desses serviços, aumento no tempo de deslocamento, degradação ambiental e agrava a já precária condição de vida da população.

A década de 1990 passou a demandar por mais infraestrutura e serviços urbanos que haviam sido negligenciados por décadas de urbanização acelerada, marcadas pelas ações pouco efetivas do poder público no que tange à questão urbana (Lima, 2023). Assim, o espaço urbano tornou-se bem mais complexo com a atuação de diversos atores/agentes sociais, tendo em vista “(...) os estilos de vida, consumo e lazer das classes média e alta, da diversificação e distribuição das atividades econômicas e, por conseguinte, do surgimento de novas centralidades e espacialidades” (Lima, 2023, p. 133).

O Gráfico 4, ao informar acerca da evolução urbana por regiões administrativas de Teresina, denota que a região sul é a que possui maior taxa de urbanização da capital piauiense, seguida da região leste. Cumpre ressaltar que a região norte também tem registrado aumento significativo na taxa de urbanização, transformando-se em novo polo de atração populacional. Essa realidade pode estar relacionada às políticas de ocupação desses espaços, especialmente quando se observa que ambas as regiões registram aumento relevante a partir dos anos 2000 em razão da retomada dos programas habitacionais.

Gráfico 4 - Evolução da área urbanizada de Teresina segundo unidades administrativas



Região	1985	1990	2000	2010	2020	2023
Centro	20,8	19,9 (-0,9%)	14,4 (-5,5%)	12,5 (-1,9%)	11,1 (-1,4%)	10,9 (-0,2%)
Leste	22,9	23,2 (+0,3%)	27,4 (+4,2%)	27,1 (-0,3%)	27 (-0,1%)	27,4 (+0,3%)
Norte	11,7	11,4 (-0,3%)	11,8 (+0,4%)	14,8 (+3,0%)	15,7 (+0,9%)	15,9 (+0,2%)
Sudeste	11,7	12,5 (+0,8%)	13,2 (+0,7%)	13,2	13,2	13,1 (-0,1%)
Sul	32,9	33,0 (+0,1%)	33,2 (+0,2%)	32,4(-0,8%)	33,0 (+0,6%)	32,7 (-0,3%)

Fonte: Elaboração do autor (2024).

A construção da ponte Mariano Gaioso Castelo Branco sobre rio Poti, inaugurada em 1991, ampliou a fronteira de expansão no eixo norte de Teresina com a criação de bairros (Monte Verde, Santa Maria da Codipi, entre outros) e, até mesmo atraindo assentamentos precários e de empreendimentos habitacionais (Residenciais Jacinta Andrade, Francisca Trindade, Wall Ferraz etc.). Esta área foi incorporada ao perímetro urbano através da Lei n.º 2.109, de 3 fevereiro de 1992, sendo regulamentado o uso do solo urbano pelas Leis n.º 2.112 e 2.113, de 1992, e pela Lei n.º 2.264 e nº 2.265, de 1993, as quais definiram as diretrizes para a ocupação e uso do solo urbano, e pela Lei n.º 2.266/1993, que modificou o Código de Obras e Edificações do Município (Teresina, 1992, 1993; Lima, 2023).

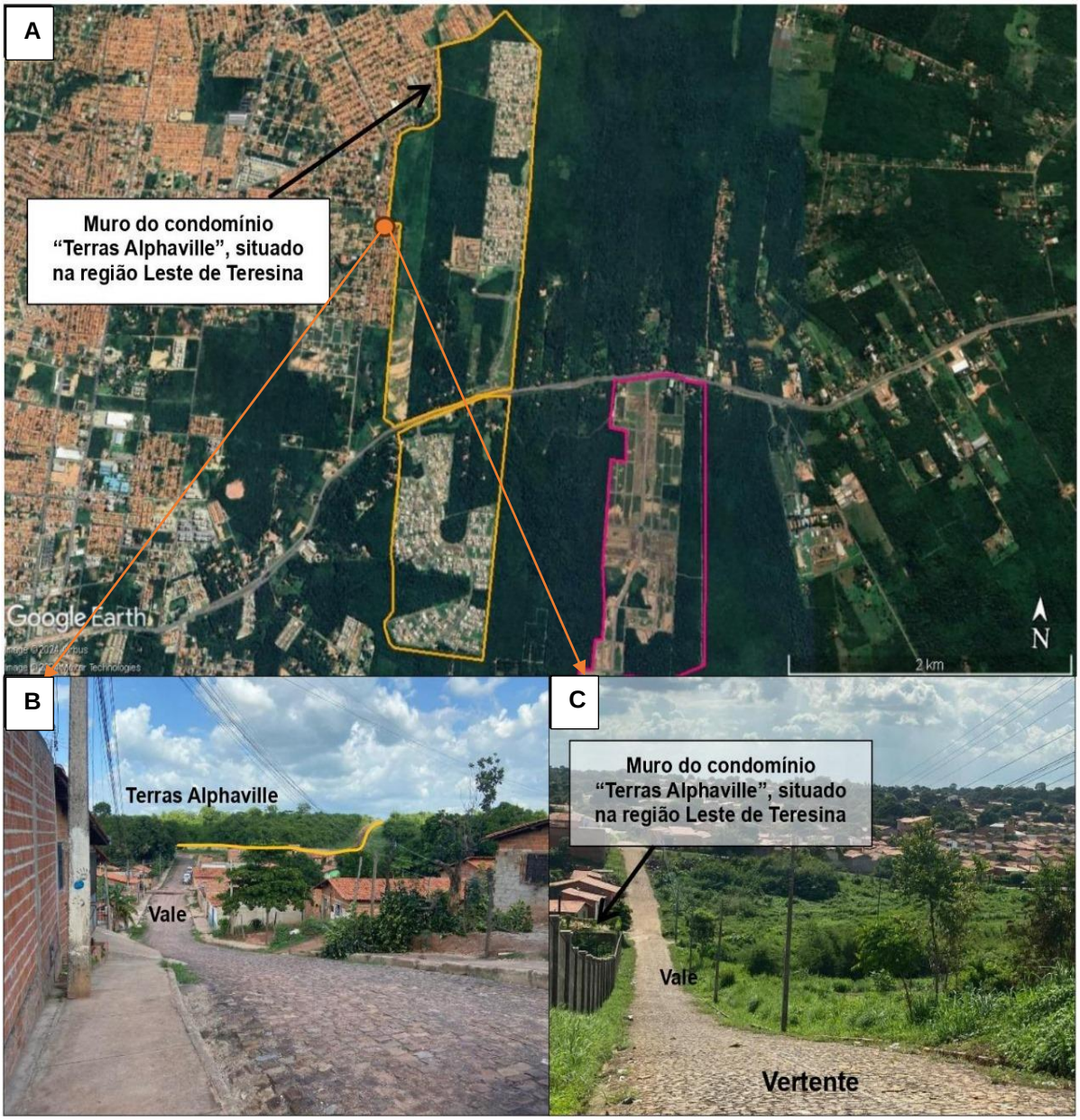
Digno de nota é que, a partir dos anos de 1990, Teresina mergulhou numa crise socioeconômica que refletiu no aparecimento de favelas em diversas áreas da cidade, tendo como causa o empobrecimento da população. Esse evento fomentou, inclusive, diversos conflitos relacionados à ocupação e uso do solo urbano, conforme Lima (2023). Esta autora ressalta, ainda, que tal realidade promoveu uma

restruturação na configuração socioespacial da cidade a partir de ações do Estado e de demais atores formadores do espaço, especialmente os agentes imobiliários, a partir da instituição de legislação específica de ocupação e uso do solo urbano, além de instalação de infraestrutura viária. A esse respeito Lima discorre que

> (...) o processo de segregação – que discute especificamente a questão residencial – se expressa pela contraposição entre áreas bem distintas da cidade. Em Teresina, por exemplo, a distância é bem visível entre uma parte e outra da cidade: a zona Leste e a área de verticalização à margem esquerda do rio Poti, próxima ao eixo da Avenida Frei Serafim, que representam uma segregação de alta renda; e outra área, constituída da periferia de Teresina, onde invasões e construções precárias ou financiadas pelo poder público, a baixo custo, expressam outro lado da segregação. São, portanto, áreas muito parecidas dentro de si mesmas, mas extremamente diferenciadas entre si (Lima, 2002, p. 182).

Cabe observar que Teresina possui uma organização socioespacial dinâmica com os movimentos que ocupam a periferia da cidade: por um lado, os agentes imobiliários que buscam expandir a produção do espaço urbano, e, por outro, as classes média e alta que, cada vez mais, estão em busca de condomínios horizontais fechados de alto padrão, localizados nas periferias e até em áreas originalmente rurais e que, por pressão econômica, “transformaram-se” em urbano, mas cercados de altos muros e segurança para manter distância da vizinhança do seu entorno (Figuras 7, 8 e 9). Nesse sentido, percebe-se a atuação, mais uma vez, dos atores/agentes produtores em (re)construir o espaço, especialmente dos proprietários fundiários, os agentes imobiliários e o Estado.

Figura 7 - Muro separando condomínio de alto padrão de residências populares, região leste de Teresina



Em A há destaque para delimitação do Condomínio de alto padrão Terras Alphaville cercado por um extenso muro separando das comunidades mais carentes do entorno, como pode ser observado em B e C.
Fonte: Google Earth (2023).

Figura 8 - Condomínio Aldebran Leste, localizado na Avenida Dr. Nicanor Barreto, bairro Vale Quem Tem – região leste de Teresina

Em A se destaca o limite do Condomínio Aldebaran Leste. Em B, destaque para o portal de entrada e o muro que cerca a área ocupada pelo condomínio.
Fonte: Google Earth (2023).

Figura 9 - Villa Imperial. Localizado na Avenida João XXIII, à margem direita da BR 343, bairro Novo Uruguai, Região Leste de Teresina

Em A, imagem do Google Earth com destaque para loteamento Villa Imperial. Em B, C, D, E, F e G destaque para algumas características da morfologia do terreno, bem como de processos erosivos iniciais que merecem atenção.
Fonte: Google Earth e Acervo do autor (2023).

Tais condomínios, destinados à população de maior poder aquisitivo, revelam diferentes dinâmicas socioespaciais em Teresina, tendo como principais atores dessa (re)organização espacial os produtores imobiliários que buscam junto ao Estado criar ambientes atrativos e autossegregados direcionados à classe abastada

da sociedade teresinense. Os agentes imobiliários e as construtoras atuam na construção e reconstrução do espaço urbano, valorizando diferentes áreas da cidade e, consequentemente, acentuando as disparidades socioeconômicas (Reis; Viana, 2024). Cabe mencionar que esses condomínios de alto padrão concentram-se na região leste da capital piauiense, reafirmando que essa área surgiu com o objetivo de agregar a classe de maior disponibilidade de recursos econômicos da sociedade teresinense, conforme Abreu já destacava:

> (...) a Zona Leste de Teresina 'foi escolhida' para ser aquela que abrigaria a população de mais alto status, migrantes das áreas residenciais do centro antigo, por uma série de requisitos: amenidades, e principalmente por ser uma área cujos proprietários – grandes latifundiários urbanos – lotearam a terra, transferindo suas residências definitivamente para ali, o que permitiu às famílias residentes desfrutarem de amplos espaços; este fato atraiu vizinhança semelhante pois, os primeiros habitantes trouxeram consigo parentes e amigos de igual status a **importância dos corretores de imóveis, que cumprindo seu papel como agentes na organização/reorganização do espaço**, apregoam através de agressiva propaganda transmitida pelos meios de comunicação, as qualidades da área (Abreu, 1983, p. 52, grifo nosso).

Corroborando essa perspectiva, Façanha (2004) afirma que a ação dos agentes produtores do espaço em Teresina resulta em espaços divergentes que originam paisagens urbanas conflitantes do ponto de vista socioeconômico e ambiental. A presença da segregação socioespacial pode ser percebida em áreas específicas da região leste, onde o poder público investiu em considerável quantitativo de equipamentos urbanos de qualidade, a exemplo de ruas asfaltadas, iluminação pública e rede esgotamento sanitário eficiente. Tais equipamentos, quando existentes na periferia, não dispõem de mesma qualidade (Lima, 2023). Assim, a falta de planejamento urbano leva à desorganização espacial, resultando em áreas com infraestrutura inadequada e serviços básicos insuficientes para atender à demanda da população de forma plena.

2.4 Planos de desenvolvimento urbano: uma estratégia de planejamento para a expansão urbana

O crescimento acelerado das cidades, sobretudo a partir do século XX, impulsionado pelo aumento da população nos centros urbanos e pelo desenvolvimento econômico, tem ocasionado diversos problemas relacionados à ocupação desordenada, à deficiência de infraestrutura e à degradação ambiental, o que tem aprofundado a desigualdade social. Nesse contexto, o Plano Diretor (PD) surge como um instrumento fundamental para planejamento urbano, uma vez que estabelece diretrizes e normas para o desenvolvimento das cidades. O Plano Diretor, dentre outras atribuições, orienta a expansão urbana de forma ordenada, uma vez que considera, dentre outros aspectos, o uso e a ocupação do solo, a infraestrutura, o transporte e os aspectos fisiográficos e de habitação (Santoro; Cobra; Bonduki, 2010; Albuquerque; Albuquerque, 2017; Lima; Lopes; Façanha, 2019). Para Pinto (2019), o Plano Diretor deveria abranger os aspectos físico-territoriais, políticos, sociais e administrativos, sendo elaborado por uma equipe multidisciplinar com o fito de garantir as diretrizes que norteiam o desenvolvimento sustentável das cidades.

Albuquerque e Albuquerque (2017) ressaltam que o plano diretor é um instrumento basilar da política de desenvolvimento e expansão urbana, devendo englobar todo o território municipal, ou seja, incluir tanto a zona urbana como a zona rural, estabelecendo diretrizes para a ocupação e uso do solo. Dessa forma, pode contribuir para o ordenamento do território com normas específicas para expansão do perímetro urbano sobre a zona rural, garantindo o desenvolvimento urbano e rural de forma sustentável.

Nesse contexto, a seguir discute-se sobre os planos de desenvolvimento urbano que foram elaborados para Teresina desde meados do século XX, mais precisamente a partir da década de 1960, até o atual plano vigente desde 2019, o PDOT. Nosso interesse nessa discussão é buscar compreender se esses planos foram de fato implementados e quais seus impactos sobre a configuração do espaço geográfico da capital piauiense.

De meados do século XX até a segunda década do século XXI, Teresina contou com seis planos de desenvolvimento urbano, a saber: Plano de

Desenvolvimento Local Integrado – PDLI (1969); Plano Estrutural de Teresina – PET (1977); Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – PDDrU (1983); II Plano Estrutural de Teresina – PET II (1988); Plano de Desenvolvimento Sustentável – Teresina Agenda 2015 (2006) e, mais recentemente, o Plano de Ordenamento Territorial de Teresina – PDOT (2019).

2.4.1 Plano de Desenvolvimento Local Integrado – PDLI (1969)

Elaborado em 1969, este plano surgiu da necessidade de um planejamento para Teresina em razão do intenso crescimento populacional que a cidade vinha registrando desde o final da década de 1950. O Plano de Desenvolvimento Local Integrado (PDLI) não obteve êxito na sua implementação, pois apresentou sérios problemas, a exemplo da ausência de legislação urbanística e, principalmente, por não se adequar à realidade socioeconômica de Teresina (Teresina, 1993; Reis Filho, 2012).

Outro aspecto que chama a atenção do PDLI é que os eixos previstos para expansão urbana se direcionavam tanto para sul quanto para leste. No momento de aprovação deste plano, a região sul de Teresina, para além da área central, já dispunha de uma rede viária estabelecida e de infraestrutura com abastecimento de água e energia elétrica, fatores esses decisivos para sua ocupação urbana. Já a região leste se encontrava em pleno processo de instalação de infraestruturas urbanas, com destaque, em 1957, para a construção da ponte Juscelino Kubitschek sobre o rio Poti, interligando a área central de Teresina à sua porção leste, o que ocasionou intensa especulação e valorização imobiliária da área (Lima, 2023; Lima, 2002).

De acordo com o PDLI, os bairros de Fátima e São Cristóvão seriam valorizados com o objetivo de que se tornassem área nobre de recreação e cultura de Teresina.

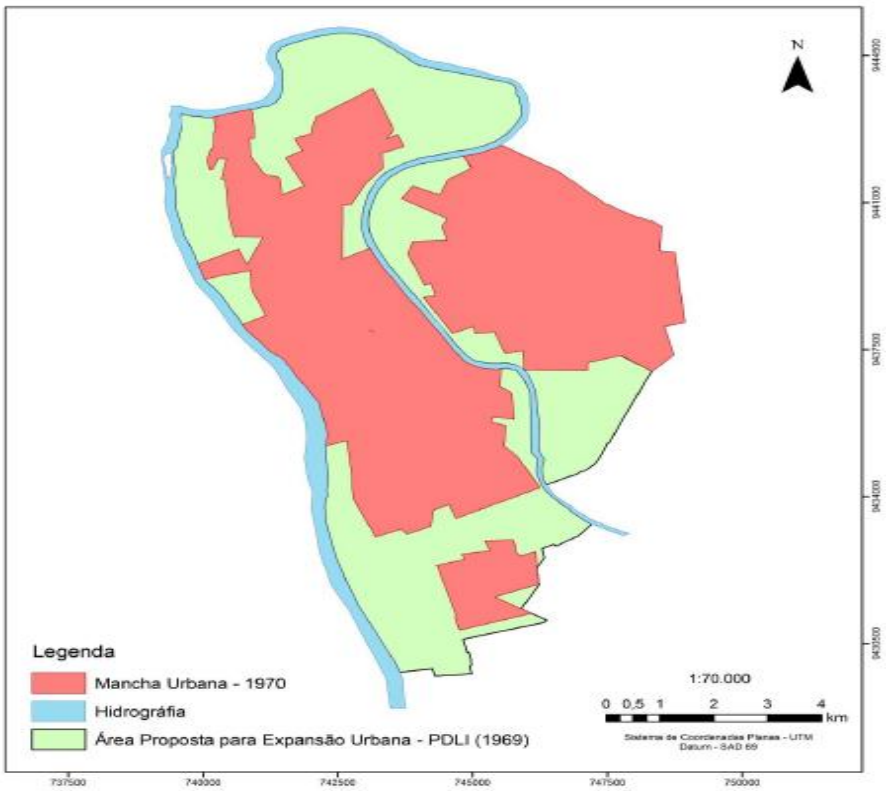
> Os bairros de Fátima e São Cristóvão serão valorizados de maneira a se transformarem na zona nobre de recreação e cultura da cidade, com densidade prevista de 60 habitantes/ha, encontrando-se aí, além da área reservada a um futuro centro comunitário a área destinada ao ‘campus’ universitário e ao Hotel de Turismo que venha a ser instalado, para a zona habitacional localizada no setor Sul da cidade uma política de densificação será adotada. Nos bairros que a

> compõem deverão ser feitos, preferencialmente, investimentos em futuros planos da COHAB ou de outros conjuntos habitacionais, até atingir densidades que variem entre 150 habitantes/ha e 250 habitantes/ha (Teresina, 1969, p. 63).

O PDLI claramente destinava a região leste de Teresina para uma população elitizada, tendo em vista, por exemplo, a instalação de áreas de lazer e a construção do *campus* da Universidade Federal do Piauí, em detrimento à região sul, destinada aos programas de habitação popular com o intuito de absorver a população de baixa renda que gradativamente se transferia para a cidade (Reis Filho, 2012; Rodrigues, 2013).

De modo geral, o PDLI não mostra critérios técnicos para destinar o zoneamento proposto, desconsiderando as fragilidades ambientais do espaço urbano de Teresina. Esse fato acaba por refletir na vida e na mobilidade urbana, uma vez que a região leste de Teresina passa a sofrer constantes alagamentos e congestionamentos devido às suas vias de circulação estreitas e ao aterramento de canais fluviais (Figura 10).

Figura 10 - Expansão da malha urbana de Teresina (PI)



Fonte: Rodrigues (2013).

Cabe destacar também que a principal legislação ambiental que vigorava na época da implantação do PDLI era o Código Florestal Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965, que tinha como objetivo principal regulamentar a exploração e a proteção das florestas brasileiras, não abordando especificamente aspectos com relação à ocupação urbana e à proteção ambiental. Assim, as cidades mais populosas do país à época passavam por intenso inchaço populacional e as ocupações urbanas ocorriam praticamente sem planejamento adequado, especialmente no âmbito de considerar, por exemplo, as características geomorfológicas do ambiente urbano. Em Teresina não foi diferente.

Quanto a esse aspecto, Rodrigues (2013) chega a afirmar que, no sistema viário proposto pelo PDLI,

> (...) tinha-se a ideia de utilizar tanto equipamentos e infraestruturas já existentes (como as avenidas e ruas), como também previa a construção de novas vias para se conceber um novo ordenamento ao desenho do sistema viário, com o objetivo de dar mais funcionalidade e otimizar a sua utilidade para a cidade. Isso é facilmente visto na ideia de se dar uma maior integração do espaço de Teresina, interligando a região central com as demais áreas periféricas da cidade (Rodrigues, 2013, p. 150).

Nesse cenário, vale ressaltar o fato de que o PDLI não chegou a propor grandes transformações no espaço urbano de Teresina, embora concebesse uma remodelagem da malha viária que interligaria as demais áreas urbanas da cidade ao centro. Adicionalmente, esse plano não fazia referência à ocorrência de áreas ambientalmente frágeis à ocupação, de modo que não chegou a propor quaisquer medidas mitigadoras ou de atenção para com tais vulnerabilidades.

2.4.2 I Plano Estrutural de Teresina – I PET (1977)

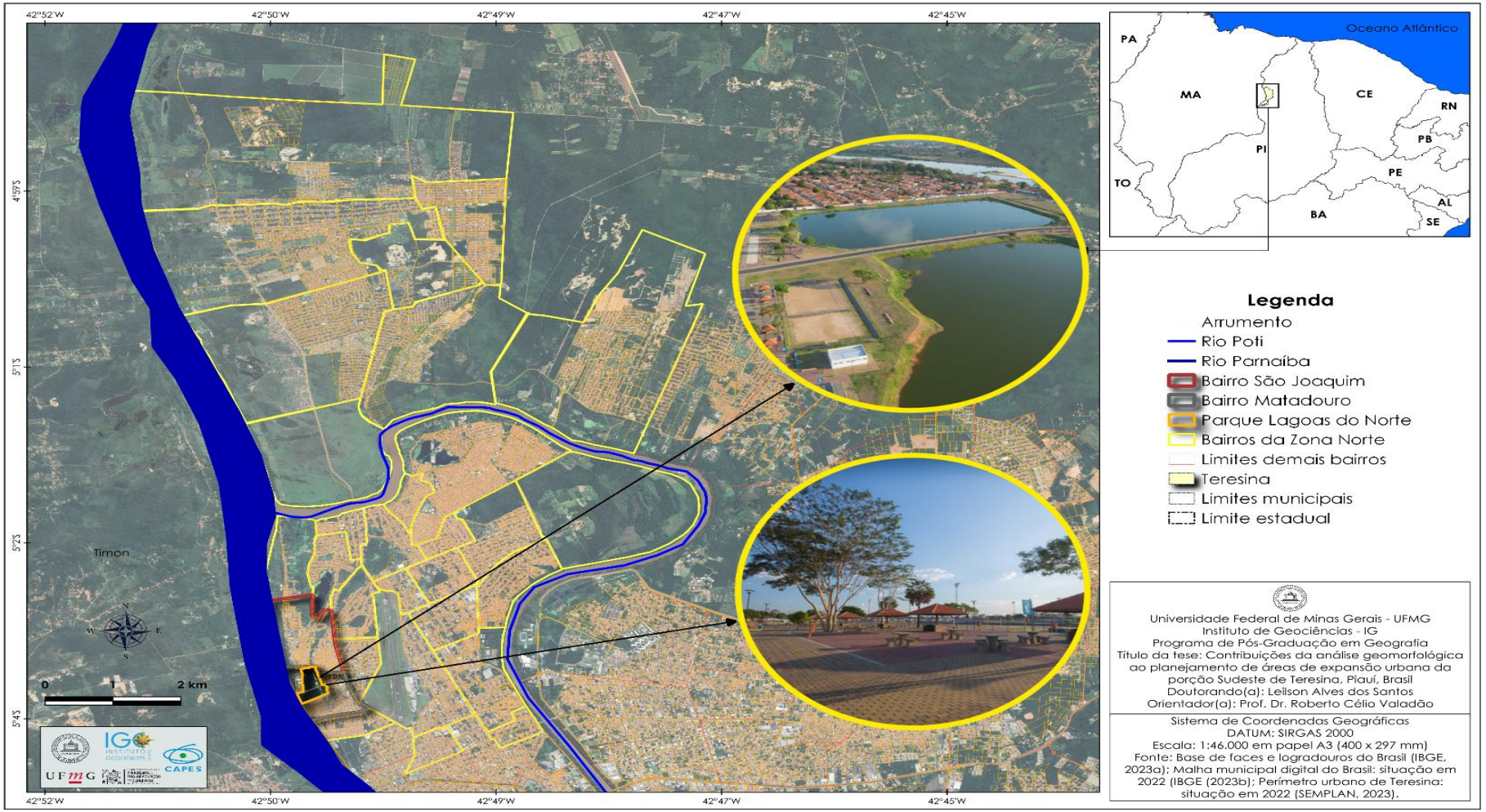
O I Plano Estrutural de Teresina – I PET, elaborado em 1977, surgiu com o objetivo de substituir o PDLI e trouxe diversas recomendações referentes às edificações, padrão de densidade por zonas, perímetro urbano, zoneamento e zonas de polarização. O I PET já contemplava dados mais consistentes com relação à ocupação, uma vez que já identificava que a urbanização de Teresina, por se concentrar às margens do rio Parnaíba, tinha sua expansão para o oeste impossibilitada, uma vez que esse mesmo rio estabelecia a fronteira com o Estado

do Maranhão. Restavam, portanto, três direções possíveis para a expansão urbana da cidade: norte, sul e leste (Teresina, 1977; Reis Filho, 2012). Dessa forma, de acordo com o I PET, o rio Poti e o *Campus* Universitário seriam empecilhos para o avanço da expansão urbana nessas direções. A região sul deveria continuar recebendo os investimentos para a construção de novos conjuntos habitacionais e, assim, continuar absorvendo a população de baixa renda. Já a região leste continuaria seguindo as diretrizes estabelecidas no PDLI, ou seja, continuaria destinada à população de maior poder aquisitivo (Teresina, 1977; Rodrigues, 2013; 2015).

Diferentemente do PDLI, o I PET se apresentou de forma mais estruturada, estabelecendo diretrizes que norteavam a expansão urbana de Teresina e promoviam a ocupação dos vazios demográficos em todas as zonas da cidade por meio da construção de conjuntos habitacionais, a fim de equilibrar a densidade demográfica entre as regiões (Teresina, 1977; Lima, 2010). No I PET aparece a primeira restrição de áreas ambientalmente inadequadas para a ocupação urbana na região norte de Teresina, mais precisamente na área atual dos bairros Matadouro e São Joaquim, onde se recomenda que sejam “(...) congeladas a futuros assentamentos já que é quase totalmente inundável, necessitando de grandes obras preliminares de recuperação do solo o que torna praticamente inviável sua utilização a curto prazo” (Teresina, 1977, p. 215).

Digno de nota é o fato desta área apresentar grande número de lagoas que, à época, não apresentava um adequado serviço de drenagem e, consequentemente, sofria com frequentes episódios de transbordo, além da vulnerabilidade socioeconômica da área. Nesse sentido, Santos e Lima (2015) apontam que as ocupações inadequadas condicionaram a essa área um caráter de vulnerabilidade ambiental e social devido às frequentes inundações e à insalubridade resultante da poluição dos corpos hídricos. Esta realidade vem transformando a implementação da Agenda 2015, que, dentre outras obrigações, é responsável pela implantação do Programa Lagoas do Norte, o qual visa à revitalização das áreas de lagoas na região norte de Teresina a partir de serviço de drenagem e realocação de moradias (Figura 11).

Figura 11 - Localização dos bairros São Joaquim e Matadouro em Teresina (PI), com destaque para o Parque Ambiental Lagoas do Norte



Fonte: Elaboração do autor (2024).

No período de vigência do I PET estava em vigor a Lei n.º 4.771/65, que implantou o Código Florestal que estabelecia diretrizes para o uso sustentável do solo, principalmente em áreas de vegetação nativa, garantindo o equilíbrio entre as demandas da urbanização e a proteção dos recursos naturais. Ao restringir atividades, como o desmatamento e a construção em Áreas de Preservação Permanente como margens de rios, topos de morros, encostas entre outras, essa Lei buscava garantir a sustentabilidade ambiental, mesmo em contextos urbanos. É nessa perspectiva que a porção leste de Teresina ganha destaque para a expansão urbana.

O I PET implementou, ainda, os Eixos Polarizadores, que eram áreas de atração e implantação de equipamentos urbanos e, consequentemente, para a consolidação da ocupação urbana. Estes eixos concentravam-se nas principais avenidas de circulação da cidade, principalmente aquelas que interligavam o centro às demais zonas (Figura 12). Na região leste, a Avenida Nossa Senhora de Fátima concentraria atividades ligadas à Universidade recém implantada na área. A Avenida John Kennedy, área com forte tendência de expansão com implantação de equipamentos de lazer, confirmaria a região leste como aquela destinada à população de maior renda (Teresina, 1977; Rodrigues, 2013).

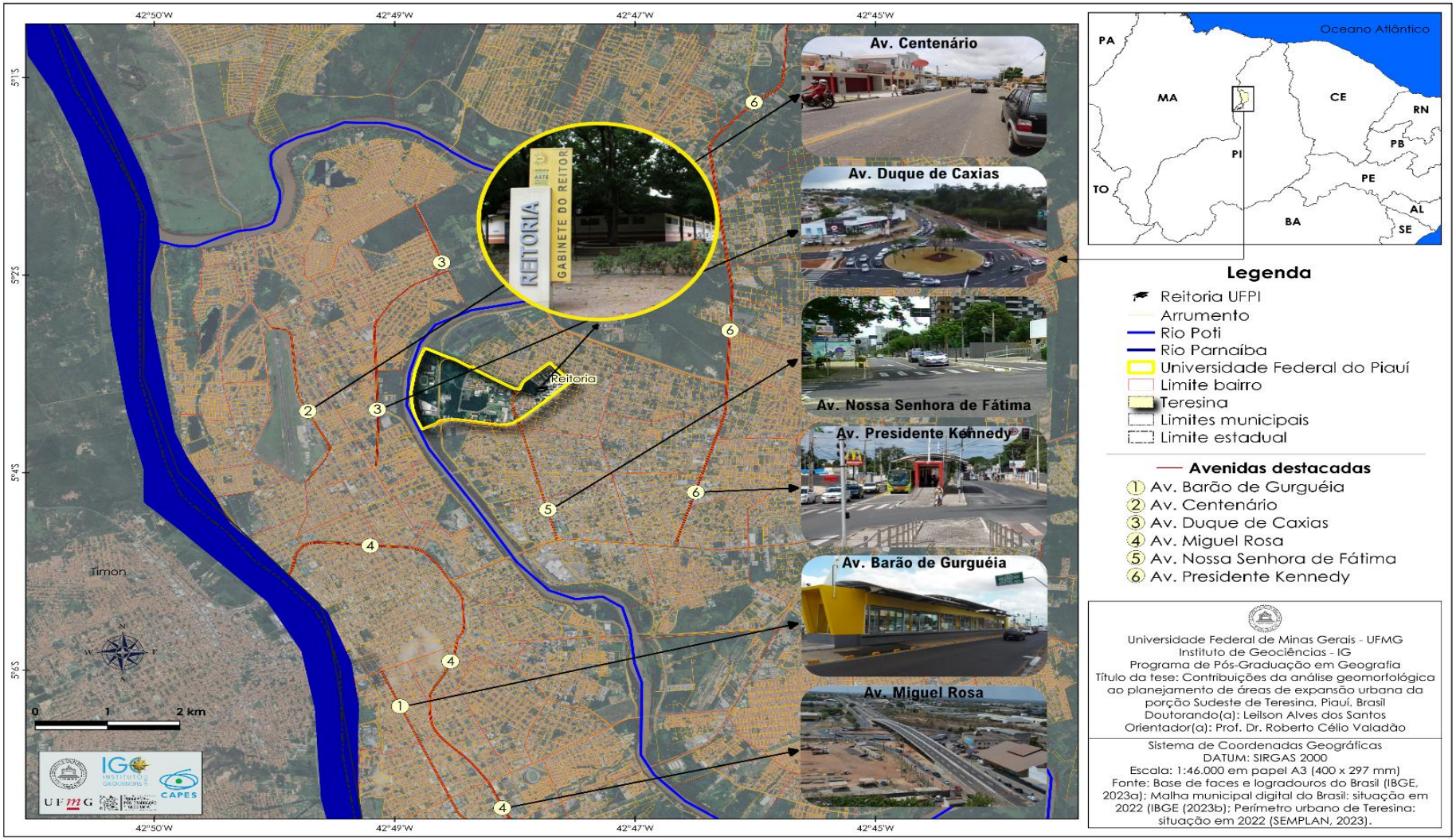
Na região sul, os principais Eixos Polarizadores com potencial para orientar a expansão urbana eram as Avenidas Barão de Gurgueia e Miguel Rosa – esta última considerada eixo de atividades múltiplas e, mais recentemente, com predominância de lojas para vendas de peças automotivas. A Avenida Miguel Rosa também foi construída sobre o divisor topográfico que separa as bacias do Poti do Parnaíba.

Para a região Norte de Teresina, o I PET destacou como Eixos Polarizadores a Avenida Duque de Caxias, a rua Magalhães Filho e a Avenida Centenário. Nesses eixos deveriam ser implantadas atividades conforme a dinâmica local. A Avenida Duque de Caxias é comparada à Avenida Miguel Rosa, na região sul, classificada no I PET como eixo de atividades múltiplas, onde, portanto, deveriam ser mantidas essas características. Já nas ruas Magalhães Filho e Centenário, as atividades implantadas deveriam se relacionar ao funcionamento do terminal aeroportuário (Teresina, 1977).

Ainda na região norte, a área de influência do bairro Poti Velho é considerada importante para a expansão urbana. Cabe destacar que a ocupação dessa área é

anterior à implantação de Teresina. Nessa área, o I PET propõe o remanejamento e a reestruturação através de políticas especiais de reurbanização, as quais deveriam incluir o melhoramento das habitações em condições precárias numa ação conjunta da Prefeitura de Teresina e a COHAB (Teresina, 1977). Essas intervenções previstas no I PET começaram a ser implementadas somente a partir dos anos 2000, quando entrou em vigor o quinto plano de desenvolvimento urbano da capital.

Figura 12 - Principais avenidas que serviram como eixos concentradores de urbanização em Teresina (PI)



Fonte: Elaboração do autor (2024)

2.4.3 Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – PDDU

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) foi o único plano não concluído para Teresina, não havendo, portanto, registros robustos que possam sustentar sua análise. Os estudos preliminares para a elaboração do PDDU serviram de base para a elaboração do II PET, elaborado em 1988 – praticamente uma década após o primeiro. Assim, consideramos que a não finalização do PDDU não foi integralmente prejudicial ao planejamento urbano da capital, pois, de acordo com a literatura especializada, um espaço temporal de dez anos é considerado adequado para tais avaliações e possíveis reformulações de planos urbanísticos.

2.4.4 II Plano Estrutural de Teresina – PET II (1988)

Em vias de completar dez anos da implantação do I Plano Estrutural de Teresina e da não consolidação do PDDU, viu-se a necessidade de se discutir os rumos que a cidade estava tomando frente ao seu intenso adensamento populacional, o que agravava sobremaneira os problemas urbanos. Todavia, viu-se a necessidade de elaboração de um novo plano capaz de acolher e ordenar as demandas da população para além da área central. Neste contexto é que foi elaborado o II PET.

Instituído pela Lei n.º 1.932, de 16 de agosto de 1988, o II Plano Estrutural de Teresina (II PET) se diferencia dos planos anteriores por conter “(...) diretrizes, no setor político-administrativo, [voltadas] à descentralização pública municipal, por meio da implantação de administrações regionais e maior participação da comunidade” (Lima; Lopes; Façanha, 2019). Esse plano foi pioneiro quanto aos direcionamentos destinados a se evitar a ocupação de áreas de risco, a exemplo de restrições impostas à ocupação de áreas de topografia acidentada na região sul, bem como destinados à proteção de mananciais de água, com o objetivo de garantir o abastecimento hídrico atual e futuro da capital; à restrição de ocupação de áreas na região norte com forte vulnerabilidade a alagamentos e inundações; e à proibição da ocupação das margens primárias dos rios Poti e Parnaíba e de outros mananciais (Teresina, 1988; Rodrigues; Veloso Filho, 2015). A esse respeito, o II PET, pela

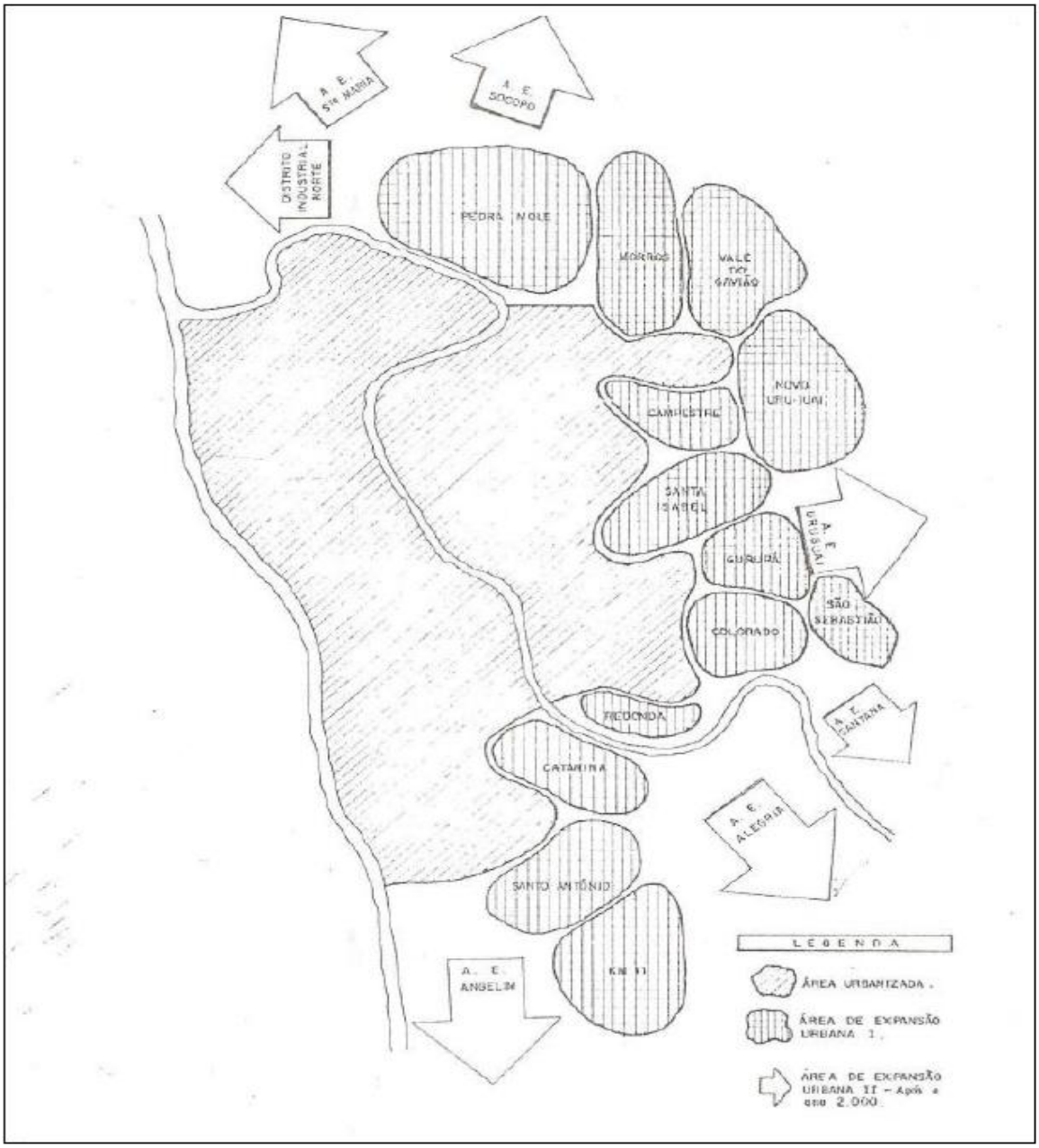
força da Lei n.º 1.932/1988, que o instituiu, e reforçado pela Constituição Federal de 1988, que traz em seu Art. 20, incisos VII, VIII, IX e X, as seguintes diretrizes:

> VII - o controle da expansão urbana, impedindo-se a urbanização de áreas acidentadas, inundáveis e de proteção de mananciais hídricos;
> VIII - a preservação dos fundos dos vales nos processos de ocupação urbana;
> IX - a criação de áreas de preservação ecológica, representativas da fauna e da flora nativa;
> X - a proteção das margens de rios e lagoas, conforme as indicações do Código Florestal (Teresina, 1988).

O II PET, fortalecido então pela legislação, promulgou diversas leis destinadas a regulamentar o uso e ocupação do solo urbano e os códigos de obras e edificações na capital piauiense. Essas regulamentações e códigos decorreram da necessidade de se ordenar a intensificação do acelerado processo de verticalização vigente a partir da década de 1990, bem como do crescimento populacional registrado nas porções mais ao norte de Teresina, para além do rio Poti, delimitando também o perímetro urbano e dos bairros nessa região (Lima, 2002; Lima, 2012).

A esse respeito, Vasconcellos Filho e Affonso (1990) estabeleceram quatro categorias para o território de Teresina no que se refere à urbanização, sendo elas: área urbanizada; área de expansão urbana, áreas com potencial de ocupação (dentro do perímetro urbano) e áreas de expansão urbana (fora do perímetro urbano) (Figura 13).

Figura 13 - Expansão urbana de Teresina (PI), segundo proposta de Vasconcellos Filho e Affonso



Fonte: Vasconcellos e Affonso (1990).

Rodrigues (2013) salienta que o II PET procurou promover políticas, por força de lei, que tornassem a cidade mais dinâmica para além do núcleo central, direcionando a ocupação para áreas mais periféricas por meio da implantação de infraestrutura, comércio e serviços, descentralizando e tornando os bairros de todas as regiões mais independentes. No II PET também é possível perceber que o

sistema viário ganha destaque como eixo de expansão urbana, assim como acreditamos que venha ocorrer na porção leste/sudeste de Teresina, em razão da implantação, nessa área, do rodoanel.

2.4.5 Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDrU (2012)

Embora a Teresina seja uma cidade que sofre frequentemente com episódios sazonais de inundações e alagamentos, somente em 2012 é que a gestão municipal conseguiu elaborar para cidade o Plano de Drenagem Urbana (PDDrU), que teve como objetivo mapear a rede de drenagem da cidade no intuito de identificar os cursos d'água que, devido à ocupação inadequada, causam maiores problemas de inundações e alagamentos na zona urbana. Este levantamento subsidiou a elaboração de políticas e instalação de obras de infraestrutura para garantir o escoamento adequado da água na superfície, minimizando os danos à população provocados pelas inundações e alagamentos de vias.

O PDDrU identificou 70 sub-bacias urbanas, das quais vinte estão localizadas na margem direita do rio Parnaíba. Ao rio Poti corresponde a maior parte dessas sub-bacias, sendo dezesseis na margem direita e trinta e duas sub-bacias que se distribuem pela margem esquerda do rio Poti, além de duas áreas lagunares, com forte tendência natural à recepção das água: Lagoas do Norte e do Mocambinho – ambas situadas na região norte de Teresina. No entanto, esse plano não contemplou as sub-bacias que estão fora do atual perímetro urbano de capital, de modo que sua área de abrangência não inclui a área de interesse nesta pesquisa.

Esse plano, ao desconsiderar os trechos dos canais fluviais localizados na área rural do município de Teresina, mas que à jusante se dirigem e adentram o perímetro urbano da cidade, acaba por evidenciar certa fragilidade nas ações estratégicas do poder público. A dinâmica hidrológica de uma bacia de drenagem decorre de processos que se manifestam, de modo articulado e em rede, em toda a sua área de abrangência, ou seja, as inundações advindas da elevação do nível das águas em alguns trechos de córregos e ribeirões podem ter sua causa em trechos posicionados à montante, os quais hoje são localizados para além do perímetro urbano de Teresina. Em outras palavras, reconhece-se a consequência – que é a inundação – e desconsidera-se a sua causa.

Lima (2016) destaca que as últimas décadas do século XX foram marcadas por grandes inundações que ocorriam nas margens ocupadas dos rios Parnaíba e Poti, mas, com o crescimento da cidade para montante dos leitos destes dois rios regionais, ou seja, para montante da foz dos seus afluentes (drenagem local – ou seja, rios e riachos locais que desaguam no trecho da área urbana, principalmente), a impermeabilização das ruas e construções situadas nas encostas e topos pelos novos bairros provocaram alagamentos e inundações também para além da “cidade antiga”, ampliando os problemas socioambientais da cidade.

Nesse contexto, tanto as medidas mitigadoras de inundações postas em ação pelo poder público podem ser observadas como frágeis como também é possível observar uma desconsideração sobre a ocupação de novas áreas pelo tecido urbano, que tende a se expandir para áreas ainda não ocupadas das bacias de drenagem. Assim, ao longo dos sucessivos planos diretores urbanísticos de Teresina, assiste-se à expansão do perímetro urbano da cidade.

2.4.6 Plano de Desenvolvimento Sustentável – Teresina Agenda 2015 (2006)

O II PET ficou em vigor por mais de uma década, período em que suas leis foram se defasando e não acompanhavam mais a dinâmica urbana de Teresina. Além disso, com a promulgação da Lei n.º 10.257, de 10 de julho de 2001, que instituiu o Estatuto da Cidade, o poder executivo municipal se deparou com a necessidade de repensar um novo instrumento que atendesse às novas demandas urbanas da capital, adequando-as à legislação federal.

É nesse contexto que surgem as discussões para elaboração de um novo plano urbanístico para Teresina, para o que foi realizado o Congresso da Cidade, que resultou na aprovação da Lei n.º 3.151, de 2002. No entanto, este plano somente entrou em vigor em 2006, após sofrer alterações e ser regulamentado pela nova Lei n.º 3.558/2006, passando o mesmo a ser denominado Plano de Desenvolvimento Sustentável – Teresina Agenda 2015 (Teresina, 2006; 2017).

A Agenda 2015 foi fundamentada em três diretrizes principais, a saber: a) Teresina que Temos, que identificava os problemas da cidade; b) Teresina que Queremos, que apontava o potencial esperado; e c) Teresina que Faremos, que descrevia as ações previstas para sua implementação. Essas diretrizes estavam

agrupadas em quatorze grandes áreas: Requalificação Urbana, Meio Ambiente e Paisagem, Regeneração Cultural, Operações Urbanas Consorciadas, Integração Regional, Integração Municipal, Sistema de Mobilidade, Acessibilidade e Transportes, Habitação Social, Dotação de Equipamentos Sociais, Saneamento Ambiental, Desenvolvimento Econômico, Desenvolvimento do Turismo e Atração de Investimentos (Teresina, 2002).

O novo plano urbano – Agenda 2015 – traz a legislação que regulamenta a implantação de polos geradores de tráfego; o estudo prévio do impacto de vizinhança; as leis para organização do espaço urbano e parcelamento do solo urbano; a criação das zonas de preservação ambiental, ocupação do solo urbano, bem como os critérios para definição do solo urbano; o código de obras e edificações; e o código sanitário e as leis sobre as zonas especiais de interesse social (ZEIS), direcionadas para melhor gestão urbana (Teresina, 2017; Lima; Lopes; Façanha, 2019).

Em busca de atender às novas demandas do espaço urbano, sobretudo aquelas direcionadas às questões ambientais que começaram a constar no II PET, a Agenda 2015 identificou uma série de problemas ocasionados pela ocupação urbana sem o devido planejamento, tais como:

> (...) as enxurradas, provocam inundações. O traçado de vias públicas e a pavimentação da cidade, ignorando curvas de níveis, riachos e talvegues, e impermeabilizando cada vez mais de áreas a montante desses riachos, bem como a falta ou a inadequação de galerias, têm contribuído para o aumento das inundações, desgastando a pavimentação, formando voçorocas, e trazendo transtornos para o trânsito e a população, por algumas horas durante e após as chuvas. A grande maioria das galerias, principalmente as que drenam as águas das lagoas ciliares e das encostas íngremes, não levam em conta a dissipação da energia da água, os tipos de solos que são drenados, bem como a carga de sedimentos que transporta, uma vez que não são dimensionadas para grandes volumes de água (de uma grande área ou de várias microbacias). Como consequência observa-se intenso desgaste erosivo dos terraços fluviais e encostas e grande quantidade de sedimentos levados para os rios (Teresina, 2002, p. 15).

Este é um ponto crucial que distingue a Agenda 2015 de todos outros planos urbanos anteriores elaborados e implementados em Teresina, pois, ao reconhecer as inundações, a deficiência no serviço de drenagem urbana e a mobilidade urbana como problemas socioambientais e urbanos, ele evidencia a necessidade de

fomento na elaboração de ações que visem minimizar tais danos à população, tornando a cidade mais sustentável. A Agenda 2015, implementada em 2006, sofreu uma revisão em 2015/2016, a qual acrescentou metas e criou a Agenda Teresina 2030. Por meio dela também foram sancionadas leis do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), que garantem a função social da propriedade através da Lei n.º 4.781/2015; de drenagem urbana pela Lei n.º 4.724/2015 e o Código Sanitário criado pela Lei n.º 4.975/2016 (Teresina, 2017; Lima; Lopes; Façanha, 2019; Pinto, 2019).

Nunes (2022) ressalta que a Agenda Teresina 2030 tem como meta se adequar aos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. Ela está dividida em cinco eixos temáticos, a saber: i) Cidade Sustentável, ii) Cidade de Oportunidades, iii) Cidade de Direitos, iv) Cidade Criativa e, v) Governança Eficiente.

Para a zona rural, área foco deste estudo, a Agenda Teresina 2030, dentre outras medidas, prevê a definição de regiões para implementação de espaços físicos com infraestrutura adequada para o funcionamento de Centros de Desenvolvimento Rural, bem como para a ampliação da malha viária de Teresina, da rede de distribuição de energia elétrica, e de sistemas de abastecimento de água municipal nas comunidades com mais de 50 residências. Preconiza, ainda, implantar ações voltadas para a conservação dos solos do município e o uso e preservação dos mananciais de água, com exploração racional das bacias hidrográficas existentes e reflorestamento das áreas degradadas da zona rural (Teresina, 2015). Se concretizadas tais ações, e com a força gravitacional de atração exercida pelo rodoanel, certamente a zona rural na porção leste/sudeste de Teresina será, a médio prazo, integrada ao espaço urbano da capital piauiense.

2.4.7 Plano de Ordenamento Territorial de Teresina – PDOT (2019)

O atual plano de desenvolvimento urbano de Teresina foi estabelecido pela Lei Complementar n.º 5.481, de 20 de dezembro de 2019, e foi denominado de Plano de Ordenamento Territorial de Teresina (PDOT). Esse plano foi lançado para atender às novas demandas territoriais de Teresina frente à ocupação urbana, de modo que, ao que tudo indica, se configura como o mais completo entre os demais planos de organização do território já lançados para a cidade. Sua essência tem atenção voltada para o uso e a ocupação do solo urbano, e estabelece o macrozoneamento

da cidade, seguindo critérios de natureza técnica e ambiental em busca de uma cidade mais sustentável (Teresina, 2019). O macrozoneamento está estruturado em quatro macrozonas urbanas, sendo elas:

> i) **Macrozona de Desenvolvimento – MZD**: é a parcela do território urbano de Teresina que se apresenta majoritariamente ocupada, com poucos vazios urbanos, com maior disponibilidade de infraestrutura e serviços urbanos, concentração de comércio, equipamentos públicos e institucionais e malha viária completa.
> ii) **Macrozona de Ocupação Moderada – MZOM**: tem uso majoritariamente residencial, apresentando-se parcialmente consolidada e com as seguintes características: I - Infraestrutura incompleta e significativa presença de vazios urbanos em alguns setores, com potencial para densificação através da ocupação destes vazios; II - Oferta de comércio, serviços e de equipamentos públicos em menor proporção do que a Macrozona de Desenvolvimento; III - Grande incidência de residências unifamiliares; IV - Presença significativa de núcleos urbanos informais.
> iii) **Macrozona de Interesse Ambiental – MZIA**: caracteriza-se principalmente pela sua suscetibilidade aos alagamentos e inundações e, consequentemente, pela sua importância para o sistema de drenagem do município, contemplando as áreas identificadas pelo Plano Municipal de Drenagem Urbana.
> iv) **Macrozona de Ocupação Condicionada – MZOC**: caracteriza-se pela presença de terrenos ainda sem ocupação, baixa densidade urbana, pouca ou nenhuma oferta de infraestrutura e serviços urbanos, pouca oferta de comércios e serviços, não sendo prioritária à ocupação por estar distante de áreas mais urbanizadas, devendo somente ser adensada após ocupação das outras macrozonas (Teresina, 2019, grifo nosso).

Vale ressaltar que essas macrozonas, com suas especificidades, foram definidas somente para o perímetro urbano da cidade, não incluindo, portanto, a área rural. O PDOT, em seu Art. 43, define que a área urbana de Teresina está compreendida dentro dos limites de seu perímetro urbano, bem como dos núcleos urbanos localizados na área rural, os quais apresentam características de ocupação mais densa, com maior oferta de infraestrutura, comércio e serviços. A área rural é aquela caracterizada pela produção primária, menor densidade de ocupação, dentre outros, e localizada fora do perímetro urbano.

O PDOT traz restrições e observações quanto ao uso e ocupação do solo urbano, definido no macrozoneamento a partir de critérios técnicos e ambientais. Por meio desse instrumento, busca coordenar de forma mais efetiva o processo de urbanização da capital piauiense, a partir de delimitação de áreas de interesse ambiental e de expansão urbana, a fim de evitar ocupações em locais aleatórios e

sem condições para edificações, almejando, assim, uma cidade coesa, compacta e ambientalmente sustentável.

Com relação à organização e à ocupação da área rural, o PDOT traz importantes diretrizes no seu Art. 33, que trata sobre a sustentabilidade do territorial rural, determinando em seu inciso II a ressignificação do espaço rural no processo de desenvolvimento. Essa medida fortalece seus atributos ambientais e potencial econômico, pois auxilia a conter os processos de expansão da ocupação urbana e a prever a articulação das oportunidades de expansão da urbanização à construção estratégica do desenvolvimento do território rural. Porém, no inciso IV, ressalta a importância da integração urbano-rural, no que diz respeito à mobilidade urbana como potencial para o escoamento da produção primária. O Quadro 1, a seguir, demonstra alguns critérios sobre o efeito do PDOT.

Quadro 1 - Síntese dos efeitos do PDOT sobre a organização territorial de Teresina (PI)

Aspectos avaliados	Características
Uso e ocupação do solo	Define as diretrizes para o uso do solo, estabelecendo zonas e restrições para diferentes tipos de ocupação, como áreas residenciais, comerciais, industriais e ambientais.
Macrozoneamento	Delimita as áreas da cidade de acordo com critérios técnicos e ambientais, na busca por uma organização espacial que promova um crescimento urbano mais sustentável e equilibrado.
Identificação de áreas de interesse ambiental	Mapeia e identifica áreas que devem ser preservadas devido a sua importância ambiental, evitando ocupações inadequadas e promovendo a conservação dos recursos naturais.
Potencial de ocupação e expansão urbana	Considera áreas da cidade que têm potencial para serem ocupadas considerando as restrições ambientais e as diretrizes do PDOT.
Impacto no crescimento urbano	O PDOT promove mudanças significativas no uso e ocupação do solo urbano, limitando, portanto, ocupações em áreas inadequadas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024) a partir de Teresina (2019) e Vieira e Vieira (2022).

O PDOT não considera especificamente a expansão do perímetro urbano de Teresina, uma vez que nele predomina a concepção por se ocupar os vazios urbanos atualmente localizados no interior do atual perímetro da cidade. O plano parece desconsiderar a dinâmica da cidade e os movimentos que dela decorrem, com destaque para a previsão de que o rodoanel, já em funcionamento, exerça força de atração do perímetro urbano em sua direção, tal como, no futuro, a consolidação

do projeto de um novo terminal aeroportuário. Esse terminal, caso concretizado, deverá ser instalado na conexão entre o rodoanel e a atual estrutura ferroviária que integra a rede viária municipal (Teresina, 2019). Isso tudo considera que o planejamento constitui a primeira etapa para tomada de decisões, caso se queira alcançar determinados objetivos futuros, tal como o de cidade sustentável. É, portanto, fundamental que o poder público municipal se antecipe, estrategicamente, quanto à ocupação de áreas para além daquelas já ocupadas pela malha urbana municipal.

2.5 O rodoanel de Teresina: um corredor viário na área rural do município

A via denominada de rodoanel constitui uma importante via de circulação que se posiciona, especialmente, no entorno de regiões metropolitanas, mas também pode ocorrer no entorno de cidade de menor porte, cujo objetivo é proporcionar maior celeridade na circulação de veículos pesados, desviando o tráfego das áreas urbanas centrais, e assim favorecendo o descongestionamento de vias de circulação e a qualidade de vida da população. Entretanto, a construção de uma obra viária dessa magnitude em áreas rurais pode desencadear e nuclear processos outros de urbanização, na medida em que acaba por atrair empreendimentos imobiliários, industriais e comerciais. Isso porque tais empreendimentos passam a demandar implantação de infraestrutura urbana, a exemplo de redes de abastecimento de água e energia, o que conduz a uma verdadeira metamorfose no espaço rural (Van Nes, 2021; Melo Filho; Espindola; Façanha, 2021).

A construção de um rodoanel em áreas rurais comumente provoca o desmatamento e fragiliza os habitats naturais, além de gerar pressão sobre o coletivo dos recursos naturais, tais como o solo e os cursos d’água, afetando a sustentabilidade ambiental da região. Não obstante, a presença de uma via de rápida circulação pode, por um lado, melhorar efetivamente a acessibilidade, reduzindo, por exemplo, o tempo de deslocamento entre a zona rural e o centro urbano, e, por outro, estimular o comércio, a criação de empregos e atrair a instalação de empresas e residências (Gonçalves; Ribeiro, 2020).

A título de ilustração, a construção do rodoanel em São Paulo condicionou a expansão de áreas urbanas em municípios próximos à metrópole, impulsando a

melhoria da infraestrutura e acessibilidade (São Paulo, 2016). É nesse contexto que se insere o rodoanel de Teresina (Rodovia PI-368), o qual possui cerca de 28 km de extensão, situado entre a rodovia federal BR 316, no sentido Teresina-Demerval Lobão, mais precisamente no seu km 12, e se estende até a rodovia federal BR 343, no km 332, sentido Teresina-Altos (Melo Filho; Espíndola; Façanha, 2021). Como já explicitado, nesta pesquisa parte-se do princípio de que a área rural compreendida entre o limite do atual perímetro urbano de Teresina até o rodoanel será ocupada em um futuro não muito distante (Figura 14).

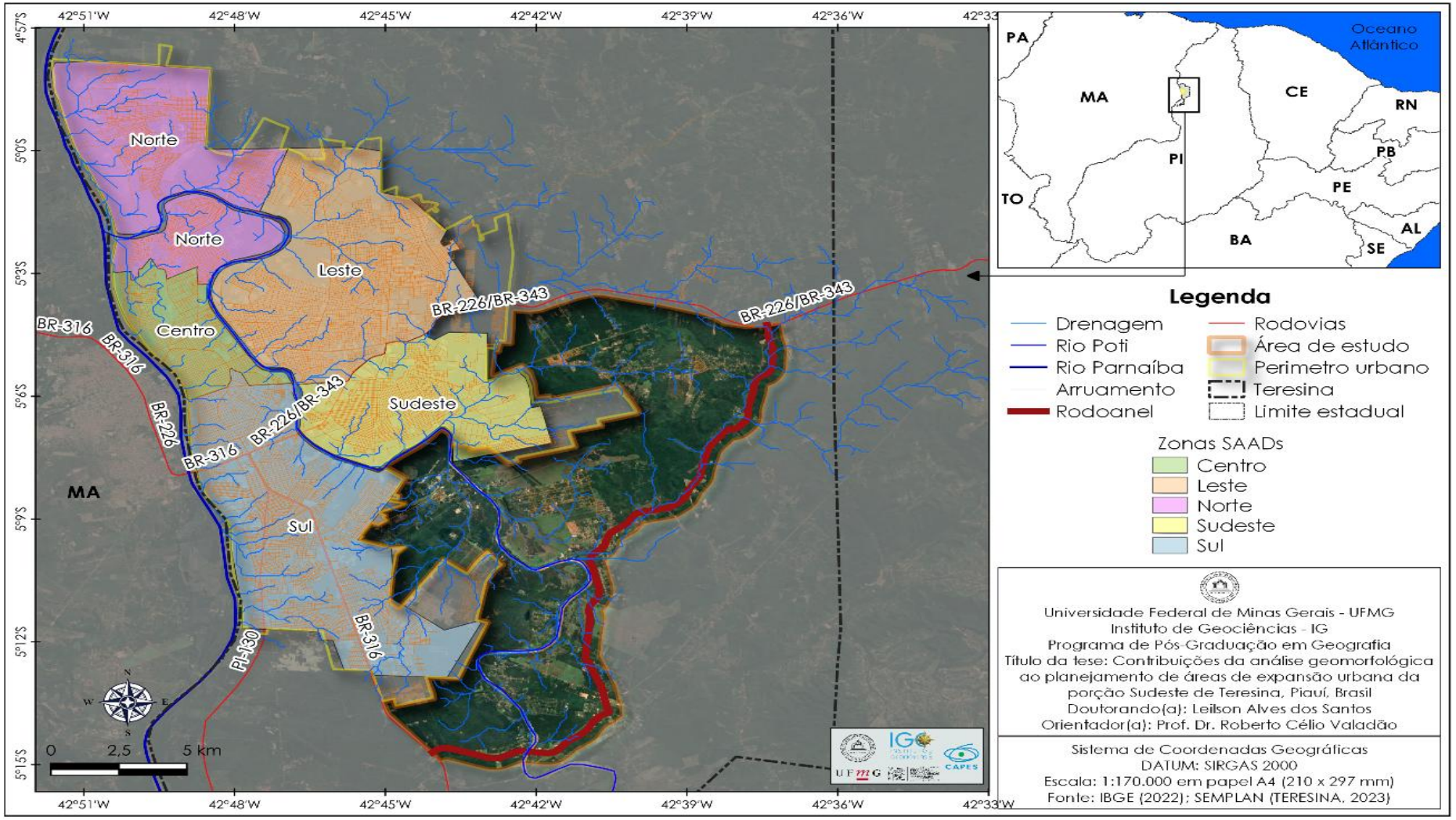
A cidade de Teresina teve, ao longo de sua história, um crescimento urbano relacionado à abertura de vias e à implantação de infraestrutura, bem como à construção de conjuntos habitacionais populares inicialmente na região sul da cidade, os quais, mais tarde, disseminaram-se nas demais regiões. A relação entre o urbano e rural em Teresina constitui uma linha tênue, uma vez que os processos que ocorrem no espaço urbano afetam diretamente a zona rural, promovendo modificações nas dinâmicas socioespaciais.

O rodoanel de Teresina é, em termos técnicos, classificado como uma rodovia de classe II, possuindo sete metros de largura de pista de rolamento e mais 2,5 metros de largura em cada via de acostamento. O órgão responsável pela realização da obra foi a Secretaria de Estado dos Transportes do Piauí (SETRANS), ao passo que a Secretaria Estadual de Meio Ambiente desempenhou função de órgão fiscalizador, tal como preconiza a resolução 237/1996 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Melo Filho, Espíndola e Façanha (2021) salientam que a obra de construção do rodoanel enfrentou diversos problemas desde o seu início, em 2012, até sua conclusão, em 2019. A obra foi embargada pelo Ministério Público Estadual devido à ausência de Estudos de Impactos Ambientais e Relatório de Impactos ao Meio Ambiente (EIA-RIMA), conforme determina a Resolução 237/96 do CONAMA, além de outras irregularidades. A obra do rodoanel provocou intensa transformação na paisagem rural de Teresina, além de impactos ambientais significativos, tais como o corte de taludes, que deixou as encostas suscetíveis a deslizamentos de massa; e o desmatamento de áreas de floresta, que leva a solos expostos, os quais contribuem para os processos erosivos e assoreamentos de canais fluviais. No entanto, o

rodoanel é uma realidade que passa a demandar políticas públicas direcionadas à mitigação dos danos já consolidados, como também de possíveis impactos futuros.

Figura 14 - Mosaico das regiões administrativas de Teresina, com destaque para a área de estudo e a rede de drenagem



Fonte: Elaboração do autor (2023).

É fundamental que os planejadores urbanos e gestores públicos considerem a expansão urbana como fato inerente quando se implementa uma via de grande extensão e circulação no entorno de regiões metropolitanas, como o caso do rodoanel de Teresina. Isso se dá em vista da necessária busca pelo equilíbrio entre desenvolvimento urbano e conservação ambiental, a fim de promover uma ocupação sustentável durante, inclusive, a conversão de áreas rurais em urbanas ao longo do tempo.

Nos últimos anos, diversas alternativas de projetos urbanos têm sido desenvolvidas em vários países, com o objetivo de reduzir os impactos negativos no ciclo hidrológico em área urbanas e implementar medidas sustentáveis. Entre essas iniciativas, destaca-se o conceito de *Low Impact Development* (LID), voltado para a prevenção e a restauração de danos ambientais, conforme apontam Souza e Tucci (2005).

O modelo LID, também conhecido como Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto ou Urbanização de Baixo Impacto, surgiu na década de 1980 como uma estratégia de planejamento multidisciplinar. De acordo com Souza *et al.* (2012), trata-se de um conjunto de práticas que integram o planejamento em pequena escala para mimetizar o comportamento hidrológico natural em áreas residenciais, comerciais e industriais.

Segundo Coffman *et al.* (1998), citados por Rezende (2010), o LID tem como objetivo principal a sustentabilidade em projetos de controle de inundações, propondo a criação de uma “paisagem funcional”. Essa abordagem incorpora características de projetos que simulam as funções de infiltração e armazenamento presentes em bacias hidrográficas antes da urbanização. Dessa forma, o modelo busca conservar tanto a qualidade quanto a qualidade dos processos hidrológicos, minimizando os efeitos da ação antrópica por meio do desenvolvimento de paisagens multifuncionais que considerem o planejamento hidrológico, a prevenção à poluição e a preservação de recursos naturais (Souza *et al*., 2012).

Uma das principais diferenças do LID em relação às abordagens tradicionais, conforme destacado por Lima (2016), é sua integração com outros setores de interesse da sociedade. Essa integração ocorre por meio do planejamento da bacia hidrográfica, aliado à aplicação de dispositivos de manejo integrado. Assim, busca-

se minimizar as perturbações nos processos naturais e mitigar os impactos negativos para a população local.

3 **A ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA A SERVIÇO DO PLANEJAMENTO URBANO: ASPECTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS E ESTUDOS DE CASO**

3.1 Geomorfologia e o planejamento urbano: conceitos e aplicações

A geomorfologia ambiental/urbana busca compreender as ações realizadas pelo ser humano que transformam o ambiente natural em uma paisagem urbana, especialmente nos grandes centros urbanos, onde o ser humano dominou muitos recursos naturais, senão todos (Bathrellos, 2007). Embora o conhecimento acadêmico no tocante à geomorfologia urbana seja importante, torna-se fundamental que gestores e planejadores estejam aptos a envidar esforços voltados para a minimização da degradação ambiental ocasionadas pela urbanização.

> O crescimento urbano tem sido considerado como um dos indicadores essenciais do crescimento econômico e do desenvolvimento de um país. Junto com o aumento da população, as cidades estão crescendo rapidamente em dimensão física nas últimas décadas. O processo de urbanização trouxe mudanças significativas no padrão paisagístico e na ocupação do solo (...). Vilas e cidades são expandidas principalmente de acordo com o relevo do terreno e o relevo muda de acordo com o planejamento e as necessidades de construção (Mohapatra; Pani; Sharma, 2014).

O planejamento urbano constitui-se, assim, em um dos elementos primordiais para garantir o desenvolvimento sustentável das cidades. Nesse aspecto, a análise geomorfológica se apresenta como uma ferramenta ímpar, uma vez que permite a compreensão da dinâmica dos processos naturais, a identificação de áreas de risco, a avaliação da capacidade de suporte do terreno e determina locais adequados para a construção de infraestrutura urbana, fornecendo, ainda, informações importantes sobre a evolução da paisagem ao longo do tempo.

Garcia, Augustin e Casagrande (2019) salientam que a seleção de locais para a ocupação urbana e a determinação de áreas para expansão futura devem considerar as fragilidades e as potencialidades naturais da área, sobretudo aquelas relacionadas à geomorfologia, sendo esta área do conhecimento fundamental para a gestão e planejamento do ambiente urbano.

A partir dos conhecimentos fornecidos pela análise geomorfológica, é possível a elaboração de planos para prevenção de desastres naturais, como deslizamentos

de terra, inundações e alagamentos, além de fornecer diretrizes para o uso e ocupação adequada do solo.

> A geomorfologia fundamenta as políticas básicas no que refere ao planejamento urbano, por essa razão os estudos geomorfológicos são importantes para o ordenamento das cidades. A fim de prevenir e/ou reduzir a possibilidade de desastres naturais e melhorar a qualidade de vida (Adeli; Khorshiddoust, 2010, s.p.)[2].

Sobre essa questão Reynard, Pica e Coratza (2017) destacam que a análise geomorfológica realizada nas cidades busca compreender as restrições do espaço frente ao desenvolvimento urbano, a adequação de diferentes formas de relevo para usos urbanos específicos, bem como entender qual o impacto das atividades urbanas nos processos que ocorrem na superfície. Cabe salientar que, nos centros urbanos, aquelas áreas mais planas situadas nos topos das vertentes tendem ser mais requisitadas e valorizadas pela especulação imobiliária, devido à sua baixa susceptibilidade a inundações, alagamentos e deslizamentos. Essas áreas demandam ainda menores investimentos em obras de infraestrutura urbana (Fujimoto, 2008; Moreira; Perez Filho; Di Mauro, 2021).

As ocupações urbanas, ao se apossarem das formas de relevo, sofrem influência dos sistemas geomorfológicos alterados, como, por exemplo, o aumento da erosão devido à exposição do solo, o assoreamento de riachos e a impermeabilização da superfície por edificações e arruamentos que alteram as condições do escoamento superficial e de subsuperfície (Bathrellos, 2007).

Uma das funções primordiais da análise geomorfológica é gerar informações úteis ao planejamento territorial (Silva, 2011), pois esta análise permite identificar áreas com potencial para o desenvolvimento sustentável urbano, uma vez que considera aspectos como disponibilidade de recursos hídricos, aptidão agrícola e características geotécnicas favoráveis à implantação de infraestrutura. A esse respeito, Jorge (2011) ressalta que a transformação no espaço urbano vem ocorrendo de forma muito intensa e que a ausência de um planejamento adequado tem suscitado diversos problemas ambientais no meio urbano, principalmente nas grandes e médias cidades, onde o desenvolvimento desses espaços não tem considerado os condicionantes biofísicos originais do lugar.

[2] Tradução nossa.

A autora considera, ainda, que o

> (...) relevo serve de suporte físico, em que as diferentes formas de ocupação refletem o momento histórico, econômico e social. (...) o relevo e seu modelado representam o fruto da dinamicidade entre os processos físicos e os agentes sociais atuantes, que ocorrem de modo contraditório e dialético a partir da análise integrada das relações processuais de uma escala de tempo geológica para escala histórica ou humana (Jorge, 2011, p. 118).

Hooke (1998) destaca que a legislação e as políticas públicas são importantíssimas para destinar áreas adequadas à ocupação, porém, os planejadores devem ficar atentos para quando estas ações resultarem numa degradação do meio físico, pois qualquer atividade antrópica que transforme a superfície pode ter desdobramentos diversos no equilíbrio socioambiental. Assim, os conhecimentos geomorfológicos consideram as características geológicas e geotécnicas do terreno, sendo possível direcionar o adequado uso do solo, identificando melhores rotas para estradas, ferrovias e dutos. Outrossim, devem considerar a estabilidade do terreno, a topografia e os obstáculos naturais, como aconteceu com a construção do rodoanel de Teresina, cujo trajeto inicial foi alterado devido à topografia não favorável e a outros fatores de ordem jurídica e administrativa[3] (Melo Filho, 2021). Tal conhecimento é importante, pois o crescimento dos grandes centros urbanos tem provocado muitos riscos geomorfológicos, o que suscita em diversos países a necessidade de estudos para avaliação dos impactos ambientais (Goudie, 2004).

Guerra e Marçal (2014) afirmam que o crescimento populacional, juntamente com a ocupação de novas áreas nas grandes e médias cidades, especialmente em regiões metropolitanas, tem provocado uma intensa pressão sobre o meio físico.

> A ocupação de encostas, planícies fluviais, áreas costeiras, entre outras, tem tido, muitas vezes, apoio envolvendo diagnósticos e prognósticos geomorfológicos, para se evitar enchentes, deslizamentos, erosão de áreas costeiras, que sempre causam prejuízos e, algumas vezes, perdas de vidas humanas. Nesse sentido, os geomorfólogos têm, cada vez mais, compreendido a importância dos seus levantamentos e estudos, com a finalidade de proporcionar uma ocupação mais segura e permanente de diversas

[3] Vale destacar que houveram outros fatores para ajustes no trajeto, a exemplo de indenização/ desapropriação, fora o patrimônio histórico associado à Fazenda São Joaquim. O Ministério Público do Estado e o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional também foram acionados.

> partes da superfície terrestre. (...) os danos ambientais tornam-se cada vez mais raros (Guerra; Marçal, 2014, p. 101).

Para esses autores, os conhecimentos geomorfológicos aplicados ao planejamento urbano subsidiam a compreensão da relação entre a ocupação humana e os recursos naturais, promovendo melhor qualidade de vida nos grandes centros urbanos. Para compreender a geomorfologia urbana, é essencial considerar três etapas: i) conhecer o relevo sobre o qual a cidade está situada; ii) entender os processos geomorfológicos modificados pela urbanização atual; e iii) prognosticar as futuras transformações geomorfológicas que ocorrerão (Douglas, 1988). Considerando tais etapas, a análise geomorfológica auxilia no planejamento urbano, na gestão da cidade e no ordenamento territorial, bem como entre outras ações que auxiliam na definição de locais mais favoráveis à abertura de ruas e avenidas, indicam áreas para loteamentos e propiciam um gerenciamento mais efetivo da drenagem urbana, uma vez que a urbanização impacta diretamente nas formas, processos e materiais que compõem o sistema geomorfológico (Douglas, 1977; Nunes, 2022).

> A apropriação do espaço pela sociedade evidencia a importância do relevo como fator de natureza antagônica, ora favorável à ocupação, ora apresentando feições e processos que desencorajam o mecanismo de ocupação por grupos humanos. Assim, o relevo tem um caráter restritivo a determinados tipos de ocupação humana. Entretanto, é inegável que o relevo constitui-se em um elemento basilar para a expansão da humanidade (...). As formas de efetivação de ocupação da crosta terrestre pela sociedade podem ser geradoras de impactos indesejáveis, com abrangência considerável sobre as formas de relevo e mesmo sobre os processos geomorfológicos. (Girão; Corrêa, 2004, p. 39).

Assim, consideramos que a relação entre a sociedade e o relevo é complexa e multifacetada. O relevo não só influencia a seleção de locais para assentamentos humanos, mas também é modificado e modelado pela ação humana. Dessa forma, um planejamento cauteloso e sustentável é crucial para mitigar os impactos indesejáveis da ocupação humana sobre o relevo e para assegurar uma convivência equilibrada entre a sociedade e o ambiente, principalmente em termos geomorfológicos.

A urbanização é entendida como um processo contínuo, condicionado por aspectos geomórficos que podem auxiliar na tomada de decisão e na organização territorial. Ross (2012) salienta que as modificações realizadas pelo ser humano sobre a superfície terrestre alteram o equilíbrio da natureza – sendo que esta, por não ser estática, possui um dinamismo equilibrado quando não afetada antropicamente. Miyazaki (2014) ressalta que a geomorfologia urbana deve envolver as análises não somente da dinâmica natural dos processos geomorfológicos (morfogenéticos e morfodinâmicos), mas contemplar as transformações ocasionadas pela ação antrópica, principalmente no meio urbano.

O crescimento populacional tem como consequência a expansão territorial da cidade em direções periféricas para suprir a demanda por moradia. Essa expansão se dá através de loteamentos localizadas no limite entre o urbano e o rural, o que ocasiona a expansão do perímetro urbano, de tal modo que “(...) a necessidade de planejamento se faz de grande utilidade para a implementação de formas de ocupação viáveis do ponto de vista ambiental sobre os novos espaços no perímetro urbano” (Girão; Corrêa, 2004, p. 41).

Cabe destacar que, inicialmente, os agentes imobiliários exercem papel fundamental nesse processo de produção do espaço urbano (Corrêa, 1989), uma vez que as áreas geomorfologicamente planas e menos acidentadas (terraços e encostas de baixa declividade) tendem a ser direcionadas para a valorização do espaço, onde serão instalados empreendimentos para ocupação residencial e comercial, enquanto que as áreas acidentadas e com risco geomorfológico (áreas de várzeas e encostas íngremes), geralmente localizadas em áreas periféricas, são ocupadas pela população de menor poder aquisitivo (Façanha, 2003; Girão; Corrêa, 2004; Miyazaki, 2011). O planejamento e a organização da gestão pública, deficitários naquelas novas áreas ocupadas nas cidades (Figura 15), evidenciam a urgência da incorporação nas equipes de planejadores e tomadores de decisão de especialistas capazes de desenvolverem estudos geomorfológicos.

Figura 15 - Processos erosivos em áreas de ocupação recente em Teresina (PI)

Em A há uma fotografia obtida no bairro Novo Uruguai, de ocupação espontânea, região leste de Teresina. Em B, a fotografia obtida no Residencial Torquato Neto, área destinada à construção de conjunto habitacional situado no bairro Portal da Alegria, região sul de Teresina. Em ambos os casos se verifica a ocorrência de processos erosivos provocados pela ineficiência da drenagem urbana, de modo que as águas pluviais, sem terem para onde escoar, intensificam o escoamento superficial, o que resulta na destruição parcial de vias de acesso (janeiro/2023).
Fonte: Acervo do autor (2023).

Corrêa (1989) e Miyazaki (2014) mencionam que a produção do espaço urbano está diretamente relacionada com o modo de produção capitalista, em que agentes produtores do espaço, como, por exemplo, os agentes imobiliários, visam ao lucro sobre os recursos naturais na medida em que o capital intensifica sua atuação em busca da lucratividade.

> O mercado imobiliário sintetiza algumas explicações para a expansão da mancha urbana das cidades, como a oscilação na valorização das terras rurais, com o interesse das elites na promoção da expansão da tipologia do loteamento horizontal de casas como diferencial ‘modista’, vinculado aos investimentos em infraestrutura direcionado ao sistema rodoviário, transporte público e o estímulo ao uso de carros, possibilitando, assim, a dissociação da utilização dos centros urbanos para o trabalho e das zonas periféricas, sejam estas valorizadas ou não (Balisa, 2015, p. 21).

Casseti (1991, p. 86) discorre que as dinâmicas entre sociedade/natureza e homem/homem “(...) se intensificam no tempo e no espaço, não acontecem simplesmente pela necessidade inata de ocupação, mas, sobretudo, dentro de uma lógica determinada pelas relações de produção”. Nessa mesma perspectiva, Corrêa (1989) salienta que o espaço urbano é uma herança dos processos que transformaram a paisagem no passado e continuam esculpindo-a no presente, a

partir da apropriação e ocupação da natureza. Ao analisar a estrutura e a dinâmica do relevo é possível identificar áreas com certo grau de fragilidade ambiental e, assim, definir zonas de risco e implementar medidas mitigadores dos possíveis impactos. Por essa razão, os estudos geomorfológicos urbanos são cada vez mais necessários para a compreensão das transformações na paisagem natural e a remodelagem da paisagem urbana.

3.2 Análise geomorfológica aplicada ao planejamento urbano: estudos de caso

Os estudos geomorfológicos, como já dissertado ao longo deste texto, desempenham importante papel no planejamento urbano, pois fornecem informações essenciais relativas às características e processos do relevo de uma determinada área. Assim, o conhecimento geomorfológico é crucial para a tomada de decisões qualificadas e sustentáveis no desenvolvimento e expansão das cidades, na medida em que se busca evitar, por exemplo, a ocupação de áreas suscetíveis a processos erosivos, minimizando os riscos para a população. Dito isto, a seguir são abordados alguns estudos de caso, nacionais e internacionais, considerando a relevância da contribuição das investigações geomorfológicas no desenvolvimento e expansão urbana comprometidas com a minimização de riscos ambientais oriundos das ocupações de áreas desfavoráveis à implantação de equipamentos urbanos (Quadro 2).

Quadro 2 - Investigações geomorfológicas a serviço do planejamento urbano: estudos de caso selecionados

Estudos de caso nacionais		
Alterações ambientais na região metropolitana de Porto Alegre – RS: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana	▪ Nina Simone Vilaverde Moura Fujimoto	Região Metropolitana de Porto Alegre / RS (2008)
Elaboração da carta de compartimentação geomorfológica para estudo do relevo na área urbana de Ituiutaba (MG)	▪ Leda Correia Pedro Miyazaki	Ituiutaba / MG (2017)
A influência do relevo e das coberturas superficiais no uso e ocupação das terras urbanas: alagamentos sazonais em topos de cimeira na cidade de Uberlândia/MG, Brasil	▪ Vinícius Borges Moreira ▪ Archimedes Perez Filho ▪ Cláudio Antonio Di Mauro.	Uberlândia / MG (2021)

Estudos de caso internacionais		
Effects of geomorphological characteristics on urban expansion of Jeddah city – Western Saudi Arabia: a GIS and Remote Sensing Data-Based Study (1965-2020)	▪ Mohamed Daoudi ▪ Abdoul Pjelil Niang	Jeddah city – Western Saudi Arabia (2022)
Geomorphic effects on urban expansion : a case study of small town in Central India	▪ Kuldeep Pareta ▪ Sanjay Prasad	Cidade de Sagar, Índia (2012)
Geomorphological hazards susceptibility in high-density urban áreas: A case study of Mexico City	▪ Daniel García-Soriano ▪ Adolfo Quesada-Román ▪ José Juan Zamorano-Orozco	Cidade do México, México (2020)

Fonte: Elaboração do autor (2023).

3.2.1 Estudos de caso nacionais

Caso 1

Esta contribuição, de autoria de Nina Simone Vilaverde Moura Fujimoto, professora do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, intitula-se *Alterações ambientais na região metropolitana de Porto Alegre – RS: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana*, e compõe o quinto capítulo do livro intitulado: *Geomorfologia: aplicações e metodologias*. Trata-se de contribuição integrante de obra organizada por João Osvaldo Rodrigues Nunes e Paulo César Rocha, publicada pela Editora da UNESP, em 2008.

O trabalho tem por objetivo analisar as principais mudanças ambientais provocadas pela urbanização no relevo da bacia hidrográfica do arroio Dilúvio, na região metropolitana de Porto Alegre – RS. A autora destaca que utilizou a proposta de AB'Saber (1969) na condução de sua análise geomorfológica, uma vez que esta permite ordenamento nos estudos geomorfológicos em diferentes níveis escalares espaço-temporal. Já para o mapeamento geomorfológico, optou pela taxonomia de Ross (1992), a qual favoreceu o reconhecimento do panorama geral da área a ser estudada, uma vez que a taxonomia das formas de relevo acaba por refletir influências genéticas e cronológicas e fornece informações morfométricas, morfogenéticas e morfocronológicas, contribuindo para que a carta geomorfológica seja um importante instrumento de análise do relevo em áreas urbanas. Utilizou,

para tanto, fotografias aéreas de 1973 e documentos cartográficos, entrevistas com moradores locais e observações *in loco* para a identificação dos compartimentos e do relevo pertencentes aos táxons superiores. Com isso, elaborou um mapa geomorfológico que identifica quatro padrões de formas e os impactos decorrentes da urbanização na área analisada, conforme pode ser verificado no Quadro 3.

O referido trabalho traz importantes contribuições do mapeamento geomorfológico na identificação de impactos ocorridos em áreas urbanas, principalmente naquelas áreas em que se verifica maior pressão populacional, como é o caso das regiões metropolitanas. A partir do mapeamento realizado foi possível identificar as formas de relevo originais e os atuais, essas últimas decorrentes de intervenções para implementação de equipamentos urbanos, o que favorece o reconhecimento dos principais impactos no meio físico. No entanto, a autora conclui que tais impactos não comprometeram a integridade ambiental da bacia hidrográfica analisada.

Quadro 3 - Padrões de formas de relevo e impactos associados oriundos da ocupação urbana na região metropolitana de Porto Alegre – RS

Padrões de formas	Características	Impactos
Padrão de formas em Morros com Topos Convexos	Vertentes retilíneas e elementos côncavos com declividades entre 30-40% e 20-30%, respectivamente. Altitude média entre 80 e 100 metros.	Cicatrizes de mineração, superfícies planas criadas pela urbanização (uso residencial); impermeabilização do terreno decorrente da compactação para construção dos arruamentos, moradias e demais edificações. Surgimento de processos erosivos nos declives das vertentes.
Padrão de Formas em Colinas de Topos Convexos e Colinas de Topos Planos e Amplos	Colinas de topos convexizados e topos planos e amplos com vales bem fechados com altitudes médias 50-80 metros e declividades médias nas classes de 10-20% e 20-30%. As vertentes são retilíneas, côncavas e convexas. Material predominante no fundo dos vales é arenoso.	Superfícies planas oriundas da ocupação urbana, cortes de aterro. Impermeabilização do terreno decorrente da compactação para construção dos arruamentos, moradias e demais edificações. A ocupação urbana modificou a geometria do fundo de vale através dos aterros e pequenos cortes. Essas modificações resultam nos rearranjos do padrão de drenagem, dificultando o escoamento superficial difuso, o escoamento de subsuperfície e a infiltração, além de intensificar o escoamento superficial, provocando

		os alagamentos.
Padrão em Formas de Áreas Planas	Áreas planas e individualizadas e dispostas ao longo dos cursos d'água com altitude média entre 55 e 65 metros e declividades baixíssimas. As áreas são planas em forma de alvéolos, caracterizados por serem alongados e semicirculares. Material arenoso.	Processos erosivos por solapamento nas margens dos rios, por ausência de vegetação e do entalhamento profundo dos riachos provocados pela ocupação urbana. Impermeabilização e compactação acentuam o escoamento superficial. A ocupação altera o nível do terreno para acima do nível natural das inundações.
Padrão em Formas de Planícies	Altitudes inferiores a 50 metros e forma uma extensa área plana numa bacia de inundação. Pode ser dividido em duas formas de relevo: Formas de planícies Flúvio-Lacustres Tecnogênica e Forma em Planície Fluvial Tecnogênica.	A ocupação urbana ocasionou a diminuição da qualidade do meio natural, modificação do relevo, surgimento de novos processos morfodinâmicos e a criação de depósitos tecnogênicos. Construção da barragem Mãe d'Água alterou a dinâmica geomorfológica e fluvial.

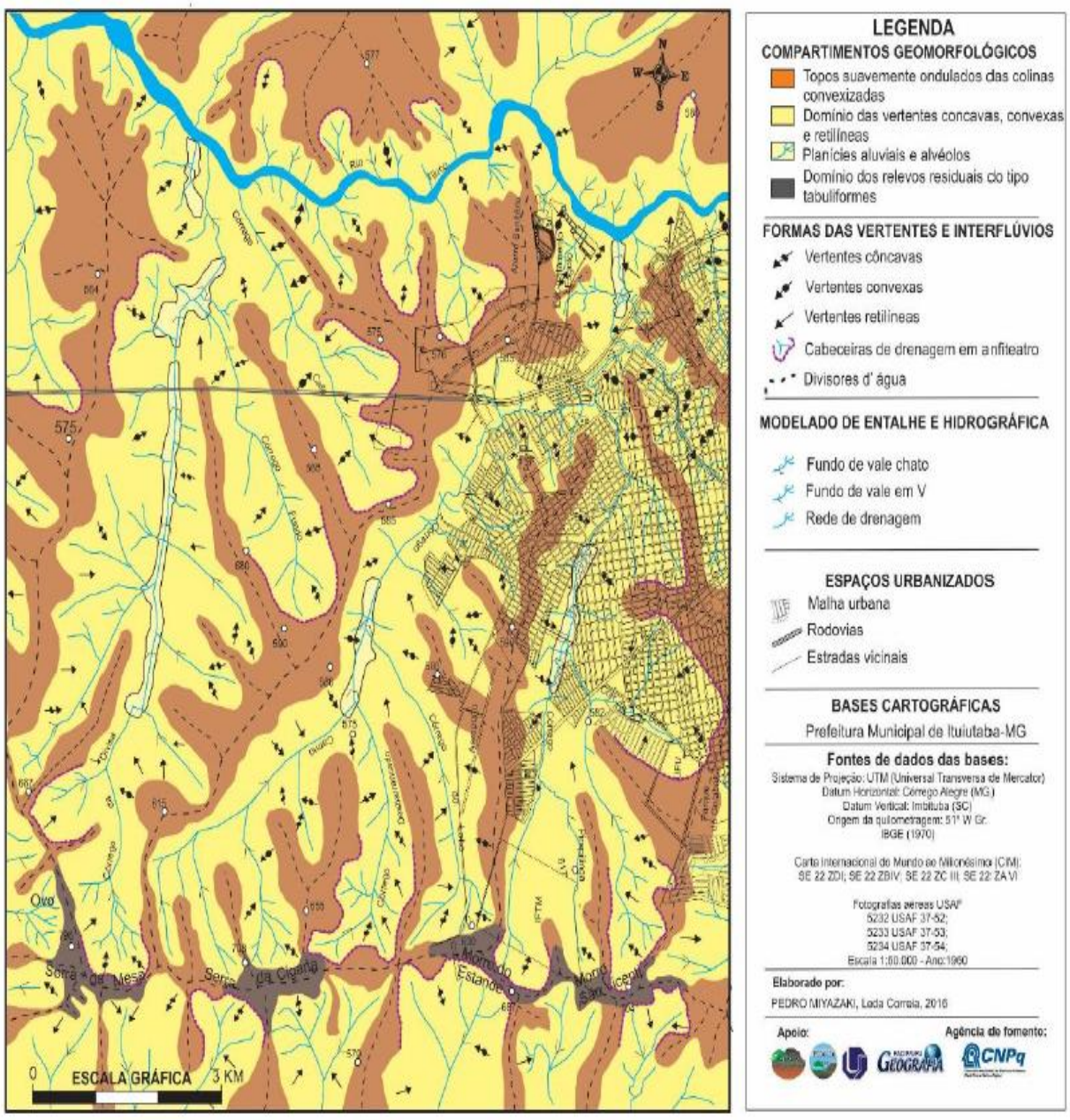
Fonte: Elaborada pelo autor com base em Fujimoto (2008).

Caso 2

Nesta contribuição, Leda Correia Pedro Miyazaki, professora do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, intitulada *Elaboração da carta de compartimentação geomorfológica para estudo do relevo na área urbana de Ituiutaba (MG)*, a autora chama a atenção para a ausência de dados de detalhe para a grande maioria das cidades brasileiras em razão do alto custo de sua obtenção, o que impõe algumas limitações aos estudos da geomorfologia urbana. Diante dessa realidade, a autora propõe o mapeamento geomorfológico através de técnicas de fotointerpretação mediante uso de fotografias aéreas e imagens de satélite, em que, no início, deverá ser extraída a rede de drenagem e delimitados os interflúvios, topos das colinas, planícies aluviais, cabeceiras de drenagem em anfiteatro e, em seguida, buscar caracterizar as vertentes, porém, adverte que os dados devem ser validados *in loco* (Miyazaki, 2017). A metodologia proposta no trabalho permite a elaboração da carta geomorfológica de detalhe para áreas urbanas, cujo objetivo é contribuir para o planejamento ambiental. Para tanto, a autora utilizou a proposta de compartimentação topográfica de Ab'Saber (1969) e, na identificação das feições de relevo, foram utilizadas as chaves de interpretação propostas por Florenzano (2008), tais como: a variação e delimitação das texturas, das tonalidades, das rugosidades, dos padrões e dos diferentes tamanhos.

A carta geomorfológica confeccionada para a área urbana do município mineiro de Ituiutaba resultou na identificação de quatro compartimentos geomorfológicos para uma parte de sua área urbana, sendo eles: Domínio de topos amplos e suavemente ondulados das colinas convexadas; Domínio das vertentes côncavas, convexas e retilíneas; Domínio das planícies aluviais e alvéolos; e Domínio dos topos estreitos suaves e ondulados dos relevos residuais do tipo tabuliforme (Figura 16 e Quadro 4).

Figura 16 - Compartimentação geomorfológica da região de Ituiutaba – MG



Fonte: Miyazaki (2017).

Quadro 4 - Compartimentos de relevo da região de Ituiutaba – MG

Domínios	Características
Domínio dos topos amplos e suavemente ondulados das colinas convexadas	Facilita a ocupação urbana, pois necessitam de poucas obras devido os topos serem alongados. As colinas são divisores das bacias hidrográficas urbanas.
Domínios das vertentes côncavas, convexas e retilíneas	Foram identificadas vertentes côncavas, convexas e retilíneas, a forma da vertente influencia diretamente o escoamento superficial, podendo dispensar a água (convexa); acumular (côncava) e contribuir para o escoamento superficial de forma mais intensa (retilínea). As vertentes, quando ocupadas, sofrem intenso processo de transformação da sua morfologia devido a declividade.
Domínio das planícies aluviais e alvéolos	Encontram-se vales em V e mais encaixados e os vales em berço, caracterizado por serem mais largos e planos. Os compartimentos desse domínio nos centros urbanos tendem a ser canalizados e as planícies de inundação são instabilizadas para instalação dos arruamentos principais, tais como as avenidas.
Domínio dos topos estreitos suaves e ondulados dos relevos residuais do tipo tabuliforme	São encontradas na área periférica do perímetro urbano e são ocupadas pela pecuária extensiva associada a vegetação natural do cerrado. Esse compartimento geomorfológico não é adequado para ocupação urbana devido os topos estreitos e vertentes íngremes. Área que concentra as cabeceiras dos rios que cortam zona urbana da cidade.

Fonte: Elaboração do autor (2023) com base em Miyazaki, (2017).

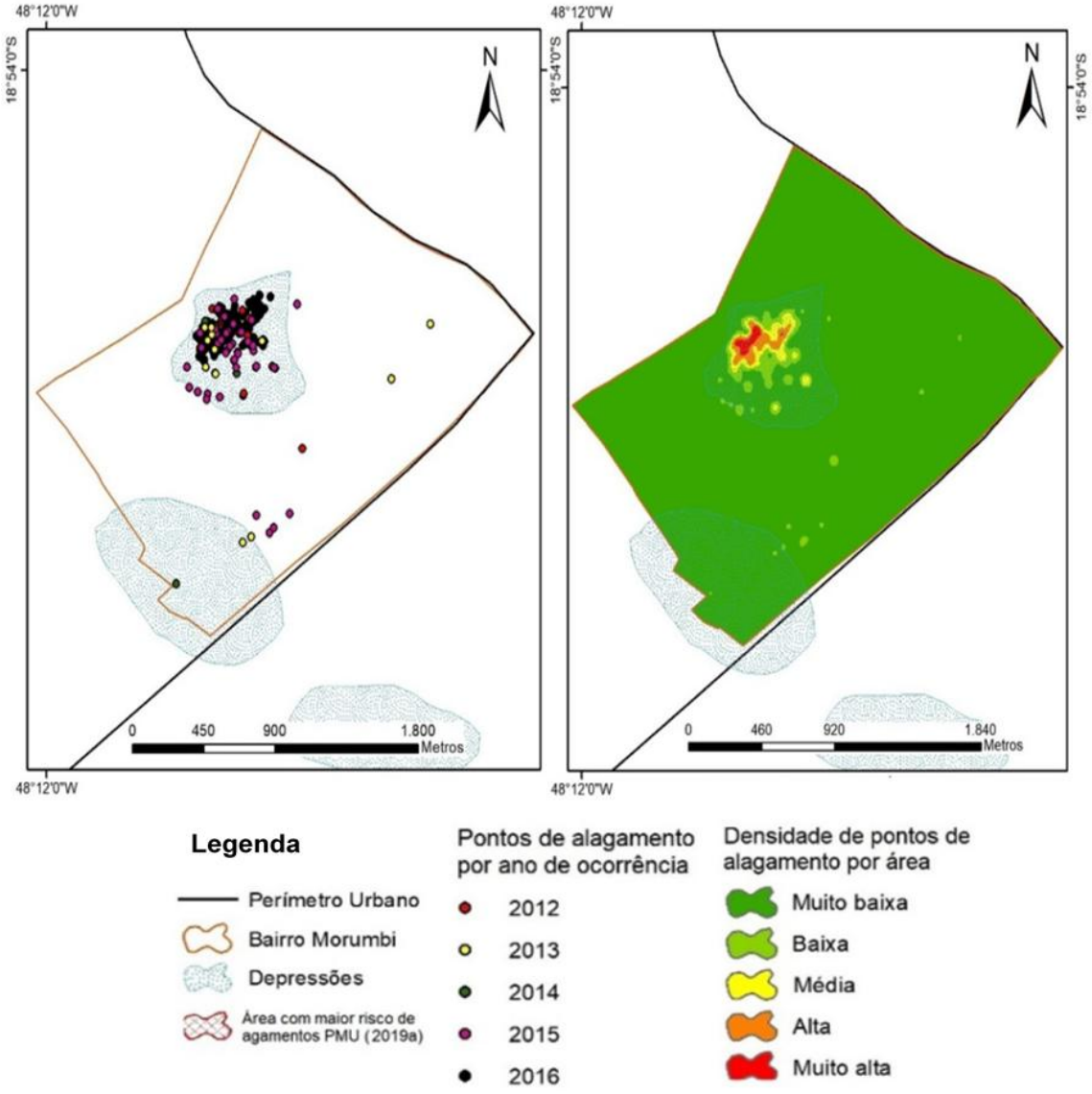
A autora, neste trabalho, apresenta dados relevantes sobre a elaboração de mapeamento geomorfológico de detalhe destinado a auxiliar no planejamento urbano, argumentando em favor da importância em se reconhecer e mapear os compartimentos geomorfológicos, buscando compreender neles os diferentes modos de ocupação em cada feição de relevo. Enfatiza, também, a importância da preservação das áreas de cabeceiras de drenagem com vistas a garantir o abastecimento de água nos centros urbanos.

Caso 3

O trabalho Moreira, Perez Filho e Di Mauro, de 2021, intitulado *A influência do relevo e das coberturas superficiais no uso e ocupação das terras urbanas: alagamentos sazonais em topos de cimeira na cidade de Uberlândia / MG, Brasil*, diferentemente dos estudos de caso anteriores, que propõem a elaboração de mapeamentos geomorfológicos de detalhe como ferramenta auxiliar ao planejamento ambiental frente à ocupação urbana, discute o processo de ocupação de uma porção da cidade de Uberlândia (MG) e os impactos decorrentes da instalação de um bairro residencial sobre as feições de relevo, de maneira especial aqueles relacionados aos alagamentos. Os autores destacam a relevância de considerar os dados pluviométricos em associação aos depósitos correlativos e compartimentos geomorfológicos, especialmente se tratando de relevo de cimeira, na análise de danos socioambientais na área urbana.

Para a caracterização geológico-geomorfológica da área investigada, Moreira, Perez Filho e Di Mauro (2021) utilizaram fotografias aéreas e radares, análise de imagens associadas aos eventos de precipitação e o avanço da ocupação urbana. Nesse trabalho ganha destaque a temporalidade das análises, que remontam à última década do século XX, período em que houve o início da ocupação urbana da área mediante a implantação de um novo bairro em Uberlândia, de nome bairro Morumbi. Os autores ressaltam que, embora nenhum canal fluvial corte a área de estudo, os alagamentos são constantes no período das chuvas, principalmente em episódios mais intensos de pluviosidade. Esse fato é atribuído ao relevo plano, que dificulta o escoamento superficial pluvial, bem como à impermeabilização provocada pela ação antrópica. Outro fator que contribui para os alagamentos está relacionado à concentração de argila nas coberturas superficiais oriundas de coberturas detrítico-lateríticas e dos depósitos correlativos associados às depressões côncavas de cimeira (Figura 17).

Figura 17 - Localização de pontos de alagamento no Bairro Morumbi, em Uberlândia – MG



Fonte: Moreira, Perez Filho e Di Mauro (2021).

Os pontos de alagamentos foram identificados a partir de dados da Defesa Civil, associando-os às características geológico-geomorfológicas da área investigada, o que demostra que a área central do Bairro Morumbi concentra maior acúmulo de água, uma vez que, segundo os autores, corresponde a um baixo topográfico, uma depressão cuja superfície foi impermeabilizada pela urbanização.

Moreira, Perez Filho e Di Mauro (2021) demonstram, ainda, que os processos geomorfológicos associados às superfícies de aplainamento com coberturas

argilosas exercem forte influência na geração dos episódios de alagamentos, o que reforça a necessidade de planejamento urbano que considere, dentre outros aspectos, aqueles geológico-geomorfológicos e climáticos.

3.2.2 Estudos de casos internacionais

Caso 1

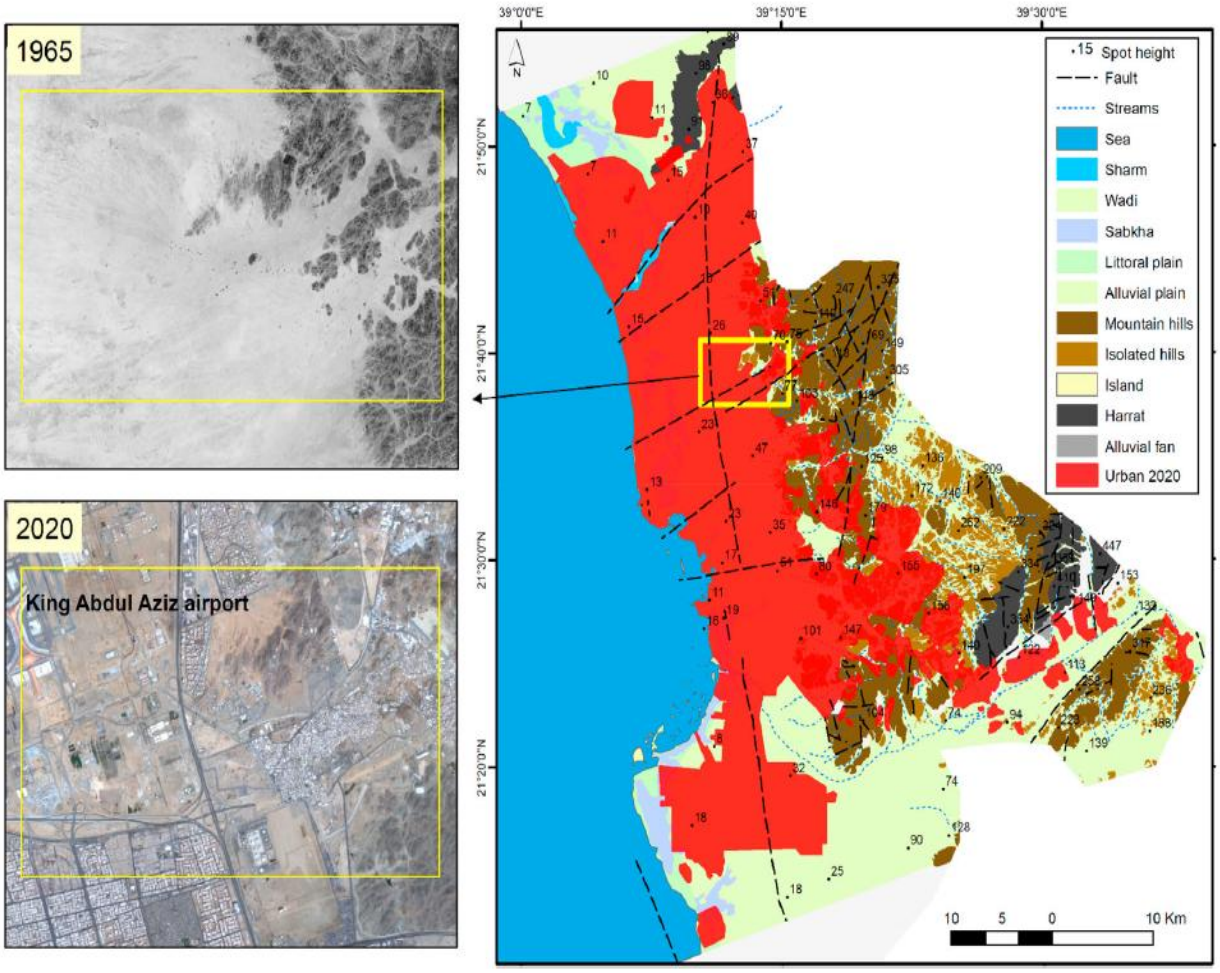
No trabalho intitulado *Effects of geomorphological characteristics on urban expansion of Jeddah city-Western Saudi Arabia: a GIS and Remote Sensing Data-Based Study (1965–2020)*, os autores Daoudi e Niang (2022) analisam os impactos provocados pela expansão urbana sobre feições geomorfológicas na cidade de Jeddah, na Arábia Saudita, mediante uso de sensoriamento remoto e de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Eles destacaram a importância do uso de imagens de satélite de alta resolução espacial para a análise da evolução histórica de fenômenos que provocam mudanças rápidas na paisagem, como é o caso da expansão urbana.

A evolução urbana da cidade de Jeddah foi analisada no espaço temporal de 1965 a 2020, na busca por compreender o espraiamento da mancha urbana em territórios cuja dinâmica geomorfológica é marcadamente diferenciada. Daoudi e Niang (2022) demonstram que a expansão urbana de Jeddah se espalhou pelos vales e planícies aluviais e costeiras, principalmente em direção ao curso do rio Wadi Fátima, um canal fluvial que atravessa a cidade. Embora as características topográficas junto às planícies aluviais sejam propícias à construção de estradas e outras vias de transporte, elas acabam por apresentar riscos naturais, como inundações e deslizamentos de terra, que podem ser intensificados pela urbanização.

Para os mapeamentos elaborados pelos autores foram utilizadas imagens de satélite, fotografias aéreas, Modelo Digital de Elevação (MDE) e mapa geológico. O mapeamento geomorfológico, além de reconhecer as unidades de relevo presentes na área de estudo, permitiu relacioná-las ao processo de intensificação da expansão urbana entre a década de 1960 até o ano de 2020. Por meio dele é possível notar que as áreas das planícies aluviais e litorâneas foram mais intensamente ocupadas

nesse recorte temporal, período em que a urbanização foi impulsionada pela extração de petróleo (Figuras 18 e 19).

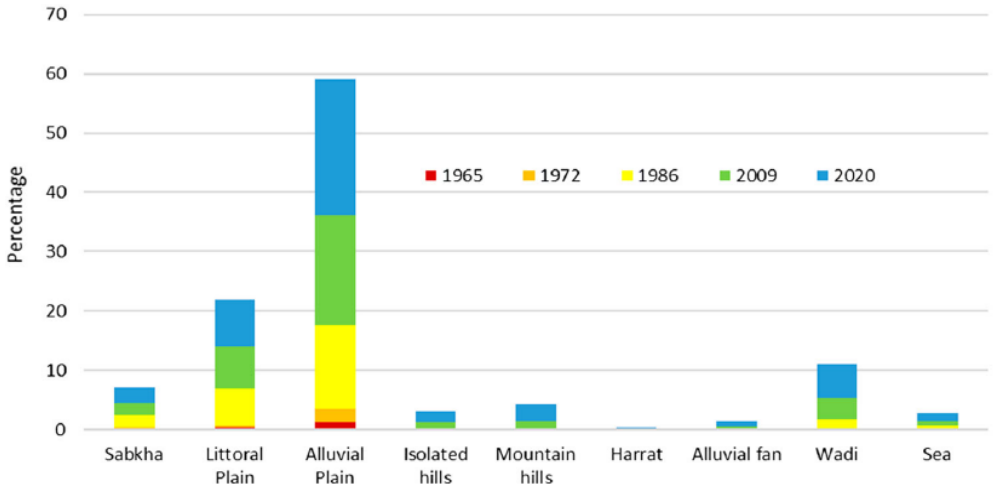
Figura 18 - Crescimento urbano sobre as feições geomorfológicas na cidade de Jeddah, Arábia Saudita



Fonte: Daoudi e Niang (2022).

Figura 19 - Unidades geomorfológicas e taxa de urbanização da cidade de Jeddah, na Arábia Saudita: 1965 - 2020

	1965		1972		1986		2009		2020	
	Area	Total %	Area	Total %	Area	Total %	Area	Total %	Area	Total %
Sea	0	0	0.7	0.02	14.8	0.6	18	0.7	33.3	**1.4**
Littoral plain and sabkha	8	0.34	15.6	0.6	192.3	7.9	220.6	9.2	246.6	**10.3**
Alluvial plain	28.2	1.16	58	2.4	346.7	14.3	449.7	18.6	569.6	**23.4**
Wadi	0	0	2.45	0.1	39.8	1.6	88.2	3.6	136.6	**5.7**
Alluvial fan	0	0	0.24	0.0	3.15	0.13	10	0.4	20.2	**0.9**
Harrat	0	0	0	0	0.85	0.03	2.2	0.1	4.3	**0.2**
Isolated Hills	0	0	0.01	0.0	3.5	0.14	24.5	1.01	47.6	**1.9**
Mountain hills	0	0	0	0	4.5	0.18	28.4	1.2	72.7	**3.1**
Total	**36.2**	1.5	**77**	**3.2**	**605.6**	**25.1**	**841.7**	**34.9**	**1130.9**	**46.9**



Fonte: Adaptado pelo autor (2023) a partir de Daoudi e Niang (2022).

Por fim, Daoudi e Niang (2022) destacam a relevância de se considerar as características geomorfológicas ao planejar o desenvolvimento urbano, a fim de minimizar os impactos negativos na paisagem natural e assegurar a sustentabilidade a longo prazo na cidade.

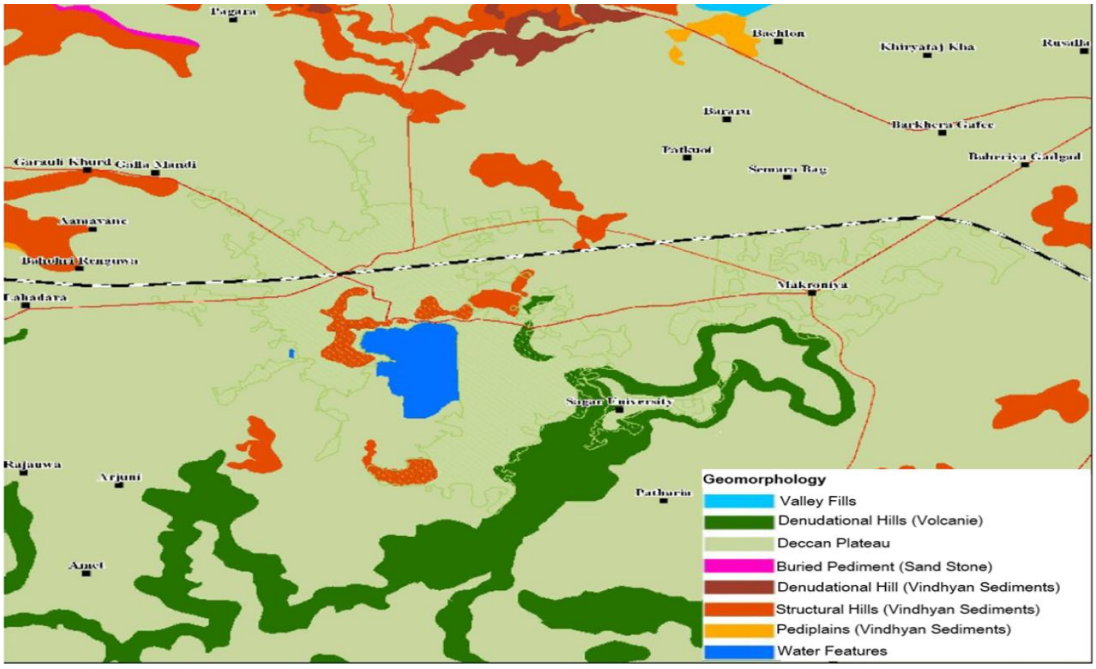
Caso 2

A contribuição de autoria dos pesquisadores indianos Pareta e Prasad, intitulada *Geomorphic effects on urban expansion: a case study of small town in central India* e publicada em 2012, discute os efeitos da expansão urbana sobre as características geomórficas da pequena cidade de Sagar, Índia, no período de 1972 a 2011. A investigação conduzida pelos autores foi realizada com base em imagens de satélites tratadas em sensoriamento remoto, o que permitiu a criação de um banco de dados sobre a evolução histórica da expansão urbana da cidade.

No que se refere aos aspectos da geologia e geomorfologia urbanas, o mapeamento foi elaborado com base em dados litológicos e imagens de satélite (ResourceSAT-1), LISS-IV Mx. O mapeamento geológico utilizado foi produzido pelo Serviço Geológico da Índia (Geological Survey of India). Os autores esclarecem que, a partir das análises dos dados e da elaboração dos mapeamentos, foi possível avaliar as mudanças na paisagem e no uso da terra, ao longo do período considerado, com destaque para como a geomorfologia influenciou a expansão urbana, uma vez que a ocupação urbana em Sagar se concentrou em áreas mais planas, de fácil acesso e com maior estabilidade para receber infraestrutura.

Segundo Pareta e Prasad (2012), as observações de campo foram fundamentais para validação dos dados e para a elaboração do mapeamento geomorfológico, já que o sensoriamento remoto e o SIG podem apresentar limitações em termos de resolução e precisão, sobretudo na identificação das diversas unidades geomórficas na área de estudo e dos processos geomorfológicos nelas vigentes. Foram identificadas oito unidades de relevo na área de estudo: planícies aluviais, vales preenchidos, Colina Denudacional vulcânica, Planalto Deccan, Buried Pediment, Colina Denudacional, Colinas Estruturais e os Pediplanos (Figura 20 e Quadro 5).

Figura 20 - Mapa Geomorfológico da cidade de Sagar, Índia



Fonte: Adaptado pelo autor (2023) a partir de Pareta e Prasad (2012).

Quadro 5 - Unidades geomorfológicas identificadas em Sagar, Índia

Unidades Geomorfológicas	Características
Planície Aluvial	Plana e levemente inclinada / superfície ligeiramente ondulada resultado da deposição de aluvião.
Vales preenchidos	Sedimentos não consolidados que preenchem o vale, por vezes controlado por fraturas originando depressão linear
Colina Denudacional vulcânica	Altas altitudes, colinas íngremes, compostas principalmente de basalto
Planalto Deccan	Topografia ondulada de baixo altitude de relevo. Área agricultável.
Buried Pediment	Superfície erosiva levemente inclinada coberta por detritos de arenito e uma fina camada de solo
Colina Denudacional	Alto relevo, declive moderado a íngreme
Colinas Estruturais	Colinas que demonstram falhas ativas
Pediplanos	Superfície erosiva coberta por fina camada de solo desenvolvido sobre rocha metassedimentar. Relevo baixo, levemente inclinado e ondulado.

Fonte: Adaptado pelo autor (2023) a partir de Pareta e Prasad (2012).

No período analisado, a maior taxa de urbanização ocorreu no Planalto do Deccan, o qual representa um pouco mais de 90% da área da cidade de Sagar. Esta unidade concentra grandes infraestruturas e áreas urbanas de alta e média densidade populacional. Os autores concluíram que, no período de 1972 a 2011, a expansão urbana se processou dezessete vezes mais rápido nas áreas planas em comparação com as áreas montanhosas. Essa rápida expansão resultou na redução significativa das áreas agrícolas. Esse resultado, juntamente aos demais alcançados pelos autores, ressaltam a importância da geomorfologia no planejamento urbano, notadamente por fornecer informações estratégicas sobre a paisagem e os recursos de um determinado território.

Caso 3

O trabalho intitulado *Geomorphological hazards susceptibility in high-density urban areas: A case study of Mexico City*, de autoria de García-Soriano, Quesada-Román e Zamorano-Orozco, publicado em 2020, discute a vulnerabilidade da

Cidade do México aos desastres naturais decorrentes de sua rápida urbanização, da exploração excessiva de recursos naturais e da precariedade de sua gestão territorial. Cabe destacar que a Cidade do México é uma das regiões metropolitanas mais populosas do mundo e, devido à sua dinâmica geofísica e à sua vulnerabilidade ambiental, sofre com constantes desastres naturais, comumente intensificados pela ocupação urbana. O recorte espacial da análise é o Distrito de Iztapalapa, localizado na porção leste da Cidade do México, que constitui a área administrativa mais densamente povoada do México, com mais de 15 mil pessoas por km², e totalizando quase dois milhões de habitantes.

Para a elaboração dos mapeamentos foram utilizadas análises do terreno e elementos morfogenéticos, informações geológicas e estratigráficas, bem como relatórios do banco de dados de desastres naturais ocorridos na Cidade do México entre 1970 e 2013. Os mapeamentos hipsométrico e geológico, associados às observações de campo, assim como as fotografias aéreas e as imagens do Radar Lidar foram fundamentais para a elaboração do mapeamento geomorfológico do Distrito de Iztapalapa, sendo possível identificar a gênese, a dinâmica, a morfologia, a evolução e a idade das formas erosivas e deposicionais do relevo. Os autores classificaram as formas de relevo do Distrito de Iztapalapa em três grupos de acordo com sua gênese: endógena, exógena e antrópica (Quadro 6 e Figura 21).

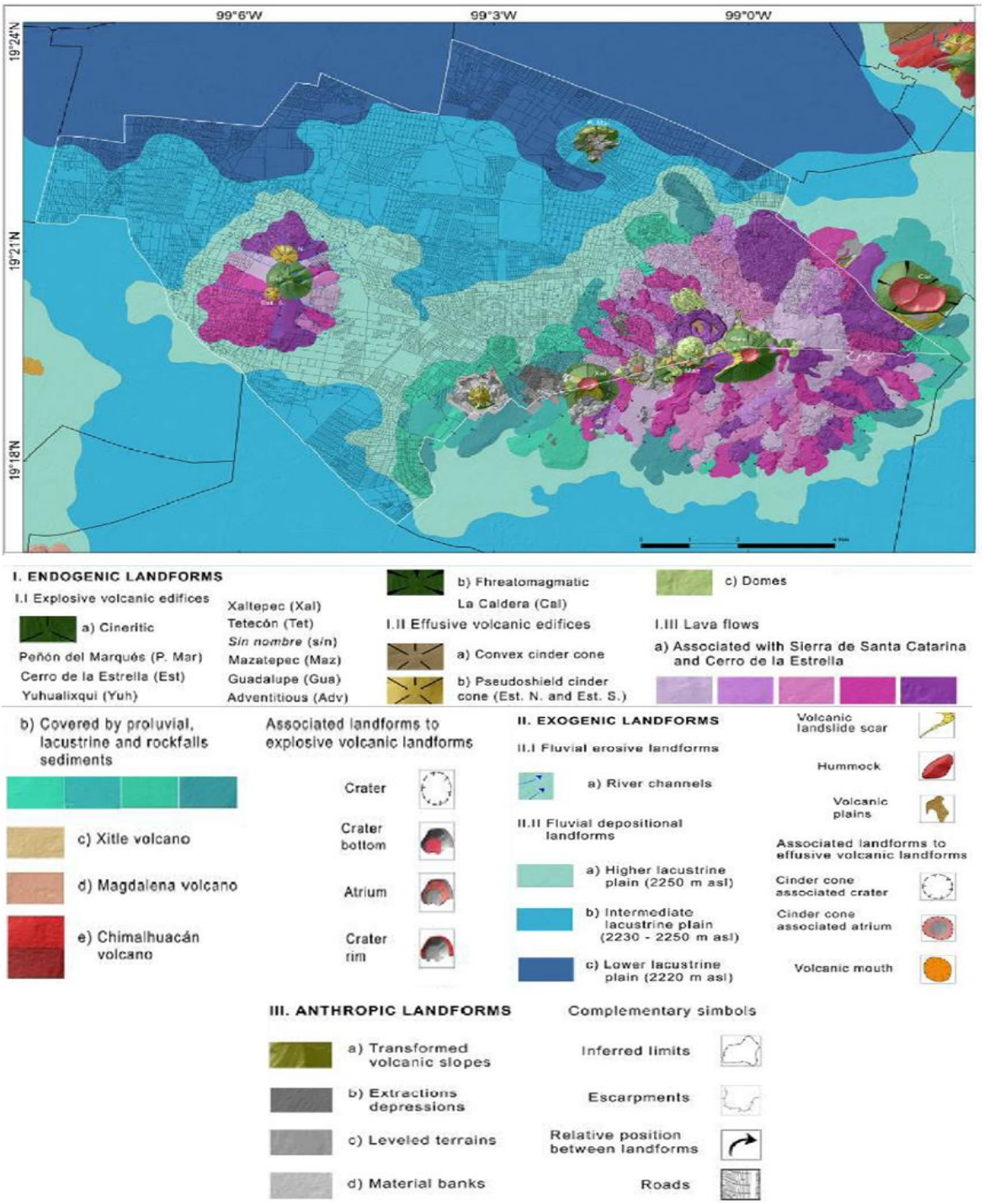
Quadro 6 - Formas de relevo presentes no Distrito de Iztapalapa – Cidade do México

Formas de relevo	Características
Endógena	Formas vulcânicas deposicionais explosivas e efusivas. Fazem parte desse grupo de estruturas os cones de cinzas monogenéticas: Peñón del Marqués, Cerro de la Estrella e a Serra de Santa Catarina que é composta por sete vulcões alinhados na direção NE-SW (Yuhualixqui, Xaltepec, Telecón, um vulcão sem nome, Mazatapec, Guadalupe e La Caldera).
Exógena	Formas de relevo erosivas (canais de rios) e deposicionais (planícies lacustres). As formas erosivas predominam no cone de cinzas na coroa do vulcão Cerro de la Estrella, que forma um padrão de drenagem do tipo radial centrífugo. Nesta área a erosão fluvial é mais intensa devido a composição geológica e coesão dos materiais, além que essas superfícies estão a mais tempo expostas aos processos intempéricos. No Distrito de Iztapalapa os processos deposicionais flúvio-lacustres são os mais expressivos. As planícies foram divididas em três unidades: a) altas com até 2250 m de altitude; b) intermediárias entre 2230 – 2250 m de altitude e c) baixas entre 2220-2230 m de altitude.
Antrópica	Resultam da intervenção do homem no setor da mineração a céu aberto para extração de materiais para a construção civil. Esta atividade resultou em terraços, aterros, rampas e declives acentuados de até 90º. Estas formas de

	relevo estão presentes no Peñón del Márques, na maioria dos vulcões da Serra de Santa Catarina.

Fonte: Elaboração do autor (2023) a partir de García-Soriano, Quesada-Román e Zamorano-Orozco (2020).

Figura 21 - Mapeamento geomorfológico do Distrito de Iztapalapa – City do México



Fonte: Adaptado pelo autor (2023) a partir de García-Soriano, Quesada-Román e Zamorano-Orozco (2020).

Para a identificação das fragilidades ambientais, o estudo foi realizado mediante execução de algumas etapas. Durante os trabalhos de campo, realizados no período de 2013 e 2015, foram coletadas informações quantitativas e qualitativas quanto aos processos de inundação, às rachaduras e à subsidência diferencial, dos locais com alto potencial de desmoronamentos e às áreas de reativação de depósitos antigos.

A partir de análise detalhada da geomorfologia foi possível correlacionar os riscos associados aos eventos de subsidência, inundações, rachaduras no solo e os desmoronamentos, e assim gerar o mapa de suscetibilidade de riscos geomorfológicos para o Distrito de Iztapalapa, diferenciando cada evento de acordo seu grau de intensidade.

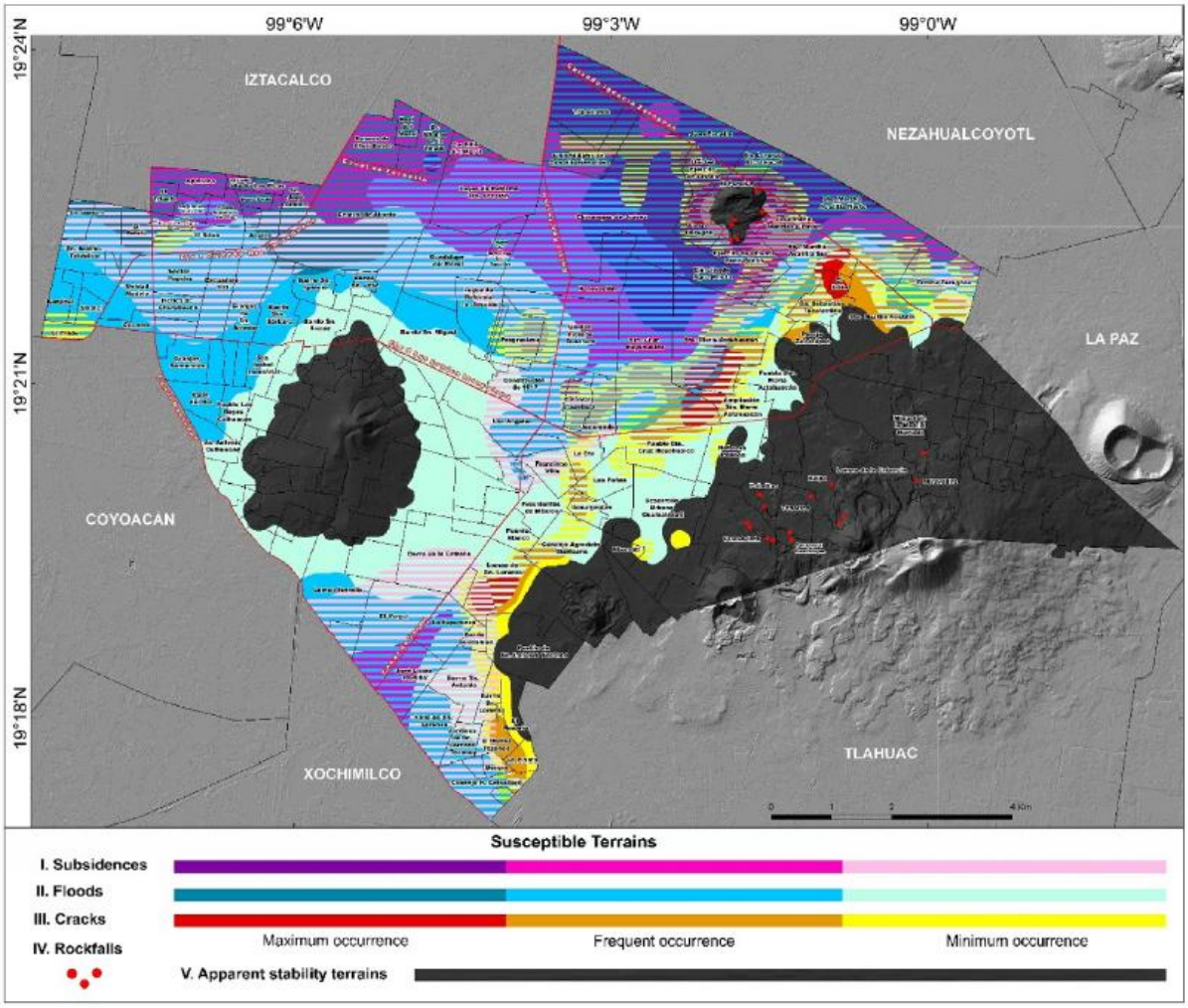
Foram identificados diferentes graus de suscetibilidade a riscos geomorfológicos. Para as inundações, subsidências, rachaduras no solo e os desmoronamentos, foram estabelecidos três níveis: máximo, frequente e mínimo (Figura 22). As inundações foram caracterizadas a partir de dados históricos e averiguação em campo, ao passo que as subsidências, a partir da literatura especializada, e a densidade de rachaduras no solo foi mapeada por quilômetro quadrado. O mapeamento dos desmoronamentos foi pontual e baseado em relatórios oficiais e reportagens jornalísticas.

Esses procedimentos identificaram que o processo de subsidência ocorre devido à exagerada extração de água subterrânea para abastecimento da Cidade do México durante o século XX, bem como a presença de silte e argila de alta plasticidade de origem lacustre e vulcânica. Este fenômeno causa sérios problemas nas estruturas de casas e prédios, além de impactar também as principais rodovias e arruamentos. Ademais, ele tem afetado o sistema coletivo de transporte como uma das linhas do metrô da Cidade do México. Sobre as rachaduras no solo que se concentram na porção leste do Distrito de Iztapalapa, sua origem está relacionada à heterogeneidade dos materiais lacustres e vulcânicos, falhas regionais, terremotos, a subsidência e a grande pressão exercida para infraestrutura urbana.

A respeito das inundações que todos anos causam diversos problemas socioeconômicos e ambientais no Distrito de Iztapalapa, o estudo aponta que estão relacionadas às formas de relevo com menos de dois graus de inclinação (relevo subhorizontal) e à densa infraestrutura urbana, que impermeabiliza o solo

prejudicando o escoamento e a infiltração da água, bem como também pela deficiência do sistema de drenagem urbana. Com relação aos desmoronamentos, sua origem está associada à extração de materiais para indústria de mineração, que originou encostas altamente instáveis, chegando a ângulos com mais de 70 graus de inclinação. Dessa forma, se configura um perigo para as comunidades que residem abaixo desses depósitos.

Figura 22 - Suscetibilidade ao risco geomorfológico na Cidade do México



Fonte: García-Soriano, Quesada-Román e Zamorano-Orozco (2020).

Ao se discutir a suscetibilidade a riscos geomorfológicos em áreas urbanas de alta densidade demográfica, como é o caso da Cidade do México, os autores destacam a importância do mapeamento geomorfológico na avaliação da vulnerabilidade a desastres naturais, bem como sua eficiência como ferramenta de subsídio ao planejamento urbano ambiental.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Referências teórico-metodológicas

A análise geomorfológica busca identificar e mapear as formas de relevo, considerando os processos morfogenéticos e morfodinâmicos que esculpem a superfície. Nesta pesquisa, optou-se por empregar a análise geomorfológica proposta por Ab'Saber (1969), a qual, segundo o autor, deve abranger três níveis de modo a permitir o ordenamento das análises na medida em que se considera as alterações temporal e espaciais:

> 1. (...) a Geomorfologia é um campo científico que cuida do entendimento da compartimentação da topografia regional, assim como da caracterização e descrição, tão exatas quanto possíveis, das formas de relevo de cada um dos compartimentos estudados; 2. em um segundo nível de tratamento, a Geomorfologia – além dessas preocupações topográficas e morfológicas básicas e elementares – procura obter informações sistemáticas sobre a estrutura superficial das paisagens referentes a todos os compartimentos e formas de relevo observados. Através desses estudos, por assim dizer **estruturais superficiais**, e, até certo ponto estáticos, obtém-se ideias da cronogeomofologia e as primeiras proposições interpretativas sobre a sequência de processos paleoclimáticos e morfoclimáticos quaternários da área de estudo. Desta forma, observações geológicas dos depósitos, e observações geomorfológicas das feições **antigas** (superfícies de aplainamento, relevos residuais) e **recentes** do relevo (formas de vertentes, pedimentos, terraços etc.), conduzem a visualização de uma plausível cinemática recente da paisagem. 3. em um terceiro nível, a geomorfologia moderna cuida de entender os processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais, em sua plena atuação, ou seja, procura compreender globalmente a fisiologia da paisagem através da dinâmica climática e de observações mais demoradas e sob controle de equipamentos de precisão. (...) Forma de relevo, solo e subsolo, estão sujeitos à atuação conjunta dos fatos climáticos em sua sucessão efetiva na área considerada. (...) Evidentemente, variações sutis de fisiologia podem ser determinadas por ações antrópicas predatórias, as quais na maior parte dos casos são irreversíveis em relação ao "metabolismo" primário do meio natural (Ab'Saber, 1969, p. 2).

Compreender os processos geomorfológicos atuantes na superfície é fundamental para o reconhecimento dos compartimentos de relevo e seu acervo de formas, bem como para a identificação de potencialidades e fragilidades naturais frente à ocupação urbana. Aliado a isso, e para uma melhor compreensão sobre os

impactos decorrentes da apropriação do relevo nos espaços urbanos, recorre-se, nesta pesquisa, ao Materialismo Histórico e Dialético e ao Método Hipotético-dedutivo como fundamento teórico-metodológico. Cabe destacar que o espaço geográfico é um conjunto indissociável e contraditório de objetos naturais e artificiais e de ações que podem ser estudadas por categorias analíticas: a) forma; b) função; c) processo e d) estrutura (Santos, 1997; 1999). A esse respeito, Salvador (2012) ressalta que a compreensão do espaço geográfico se constitui a partir das abordagens teórico-metodológicas adotadas pelo pesquisador, ou seja, quando se desejar priorizar a questão ambiental, que é o caso desta pesquisa, deve-se recorrer também ao método hipotético-dedutivo.

> O espaço é cada vez mais marcado pelo conteúdo técnico-científico-informacional, a natureza torna-se, mais e mais, humanizada, devido às ações artificializadoras dos homens sobre a mesma. Sendo assim, tratamos hoje de uma natureza modificada pela ação humana, de uma natureza humanizada. (...) a Geografia trabalhada de modo crítico procura refletir sobre o espaço geográfico numa perspectiva revolucionária (política), atentando para a insuportável realidade atual (para a grande maioria dos agentes sociais) e propondo transformações dessa realidade, visando um futuro melhor para todos e todas (...) não devemos desenvolver uma análise acerca de um determinado espaço por meio, somente, das descrições, das percepções e das estatísticas. Ao observar e analisar um espaço, podemos, sem dúvida, descrevê-lo e considerar as diferentes percepções e estatísticas acerca do mesmo. No entanto, nossa análise não deve se limitar às descrições, às percepções e às estatísticas; temos que partir em busca do essencial, do que se revela para além da aparência do espaço (Salvador, 2012, p. 98).

Cabe destacar, ainda, que o Materialismo Histórico e Dialético proporciona uma análise holística da interação entre a sociedade e o ambiente natural, uma vez que contribui para a compreensão de como as forças sociais moldam a forma como a natureza é percebida, ocupada e transformada, já que as características naturais influenciam na organização territorial, social e econômica da sociedade. Para os mapeamentos geomorfológicos e de fragilidade natural/ambiental, este trabalho se aporta nas propostas de Ross (1992; 1994), Lima (2011), Gouveia e Ross (2019) e Miyazaki (2017).

A taxonomia do relevo proposta por Ross (1992) possibilita a elaboração do modelado original da superfície, especialmente considerando os últimos táxons, com destaque, nesta pesquisa, a partir do terceiro táxon. Esses táxons permitem

correlacionar a elevação, a declividade, a orientação e a curvatura das vertentes na definição de unidades e compartimentos geomorfológicos em escalas cartográficas específicas (Quadro 7).

Quadro 7 - Taxonomia geomorfológica proposta por Ross (1992)

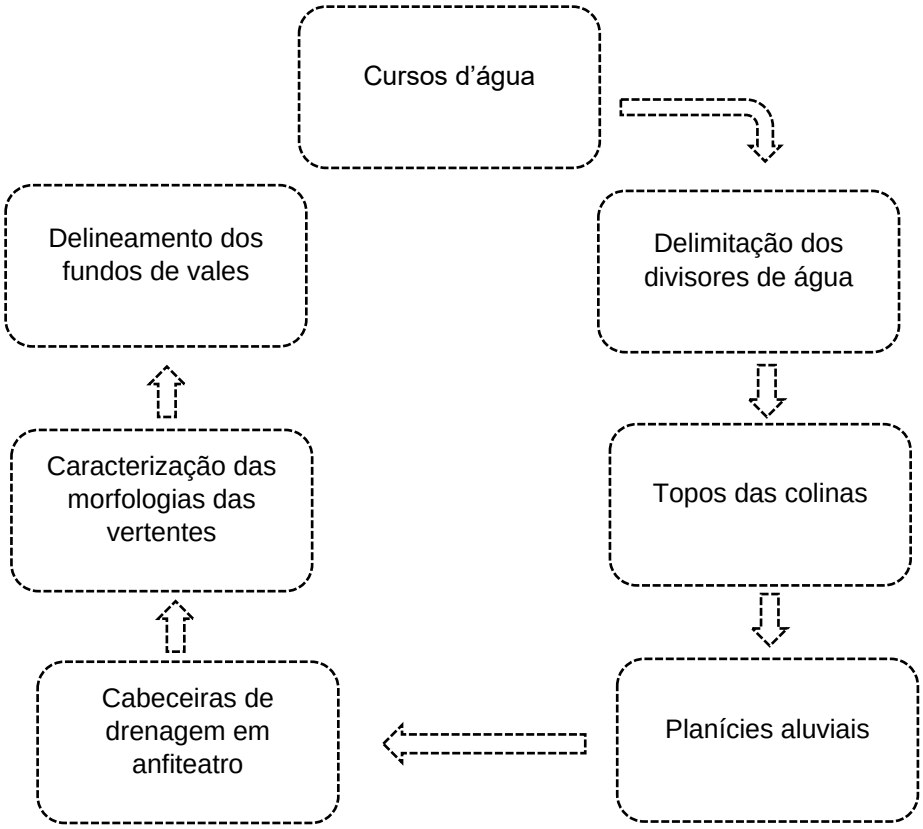
Táxons	Características
Primeiro	Unidades Morfoestruturais de grandes dimensões. Ex.: bacia sedimentar
Segundo	Unidades Morfoesculturais contidas em cada Unidade Morfoestrutural. Ex.: Planaltos em patamares, Planaltos residuais, depressões etc.
Terceiro	Unidades Morfológicas ou Padrões de Formas Semelhantes, contidos nas Unidades Morfoesculturais. Se definem por um conjunto de tipologias e formas que guardam entre si elevado grau de semelhança quanto ao tamanho de cada forma e o aspecto fisionômico. Se caracterizam por diferentes intensidades de dissecação do relevo por influência da rede de drenagem de canais temporários e perenes. Os dados morfométricos podem ser obtidos nesta unidade. Ex.: planícies marinha, fluvial e lacustre e as formas de denudação que foram esculpidas pelo desgaste erosivo, tais como os morros, colinas, serras, formas aplanadas etc.
Quarto	São as formas individualizadas, como uma colina de topo convexo com determinadas características de tamanho, inclinação das vertentes e gerada por erosão de ambiente climático quente e úmido. Faz parte da Unidade Morfológica do terceiro táxon: Padrão de Formas Semelhantes.
Quinto	Refere-se às vertentes, estas só podem ser representadas cartograficamente por meio de fotografias aéreas em escalas de detalhe.
Sexto	Representam as pequenas formas de relevo oriundas da ação antrópica nas vertentes. Ex.: ravinas, voçorocas, deslizamentos, corridas de lama, bancos de assoreamentos etc.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023) com base em Ross (1992).

Tendo em vista que as bases cartográficas que permitem realizar estudos de detalhe para a região de Teresina são inexistentes, pretende-se aliar as técnicas do mapeamento analógico proposto por Miyazaki (2017) para a elaboração do mapeamento geomorfológico com maior detalhamento possível para a área de estudo, a partir do uso da fotointerpretação de feições geomorfológicas obtidas de

fotografias aéreas com a visualização tridimensional com uso de estereoscópio de mesa e/ou utilização de imagens do Google Earth. Miyazaki (2017) enfatiza que, para a identificação das feições, deve-se considerar chaves de interpretações das aerofotografias para delimitar as texturas, tonalidades, rugosidades, padrões e os diferentes tamanhos das formas. Para isso, propõe uma sequência para a identificação das feições (Figura 23).

Figura 23 - Sequência didático-metodológica para identificação das feições para o mapeamento geomorfológico analógico de detalhe



Fonte: Elaboração do autor (2023) com base em Miyazaki (2017).

Para a delimitação das fragilidades naturais do relevo frente à ocupação pretende-se adotar também a proposta de Ross (1994) e Gouveia e Ross (2019). Esses autores recomendam a utilização de três modelos para identificação das fragilidades potenciais e emergentes de determinada área com a inserção de parâmetros morfológicos, para além da declividade, como geralmente é encontrado na literatura. A utilização desses modelos evita, por exemplo, a classificação de planícies fluviais como áreas sem restrições à ocupação. Assim, os modelos de

identificação das fragilidades ambientais propostos pelos autores devem seguir os critérios apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Composição dos modelos para determinação da fragilidade ambiental

Modelos	Características	Atributos de alimentação do modelo
Modelo A	Parâmetros morfológicos (elementos de formas do relevo), extraídos de mapa geomorfológico elaborado analogicamente e parâmetros morfométricos (declividades);	Solos, uso e cobertura da terra
Modelo B	Apenas declividade como parâmetros morfométricos.	Relevo (morfometria/declividade), solos e uso e cobertura da Terra
Modelo C	Parâmetros morfológicos (elementos de formas do relevo) extraídos automaticamente de MDE (geomorphons) e parâmetros morfométricos (declividades).	Relevo (*geomorphons*); solos e uso e cobertura da Terra

Fonte: Elaboração do autor (2023) com base em Gouveia e Ross (2019).

4.2 Etapa de gabinete

A etapa de gabinete se estende por todo o tempo de elaboração da pesquisa, porém, no primeiro momento, dedica-se ao levantamento, à aquisição e à compilação de dados referenciais bibliográficos, técnicos e cartográficos e demais informações/dados que possam ser úteis. Dentre os diversos autores lidos com o intuito de compreender melhor o tema estudado e a Geomorfologia como ciência, destacam-se: Ab'Saber (1969); Douglas (1977; 1988); Hooke (1988); Casseti (1991); Façanha (1998); Goudie (2004); Girão e Corrêa (2004); Lima (2002; 2011); Bathrellos (2007); Miyazaki (2011; 2017); Guerra (2011); Jorge (2011); Leal Junior (2014); Rodrigues (2013; 2015); Reis Filho (2012); Teresina (1988; 2002; 2006). Foram visitados também os *websites* da Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação de Teresina (SEMPLAN), Empresa Teresinense de Processamento de Dados (PRODATER), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), dos repositórios institucionais da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Universidade Estadual do Piauí (UESPI) e Universidade Federal de

Minas Gerais e da produção de grupo pesquisa Geomorfologia, Análise Ambiental e Educação (GAAE) da Universidade Federal do Piauí.

4.3 Levantamento de campo

As observações de campo são fundamentais, pois auxiliam na compreensão de fenômenos e aspectos que só podem ser visualizados *in loco*, especialmente quando se trata de mapeamento geomorfológico. No primeiro momento, a utilização do Google Earth foi fundamental para definir a área de estudo, além de produtos cartográficos disponibilizados em órgãos oficiais da Prefeitura de Teresina e/ou cedidos através de ofício (PPGGEO-IGC/UFMG n.º 018/2021 e n.º 025/2021) direcionados à SEMPLAN e à PRODATER, respectivamente. São estes os produtos cartográficos referidos:

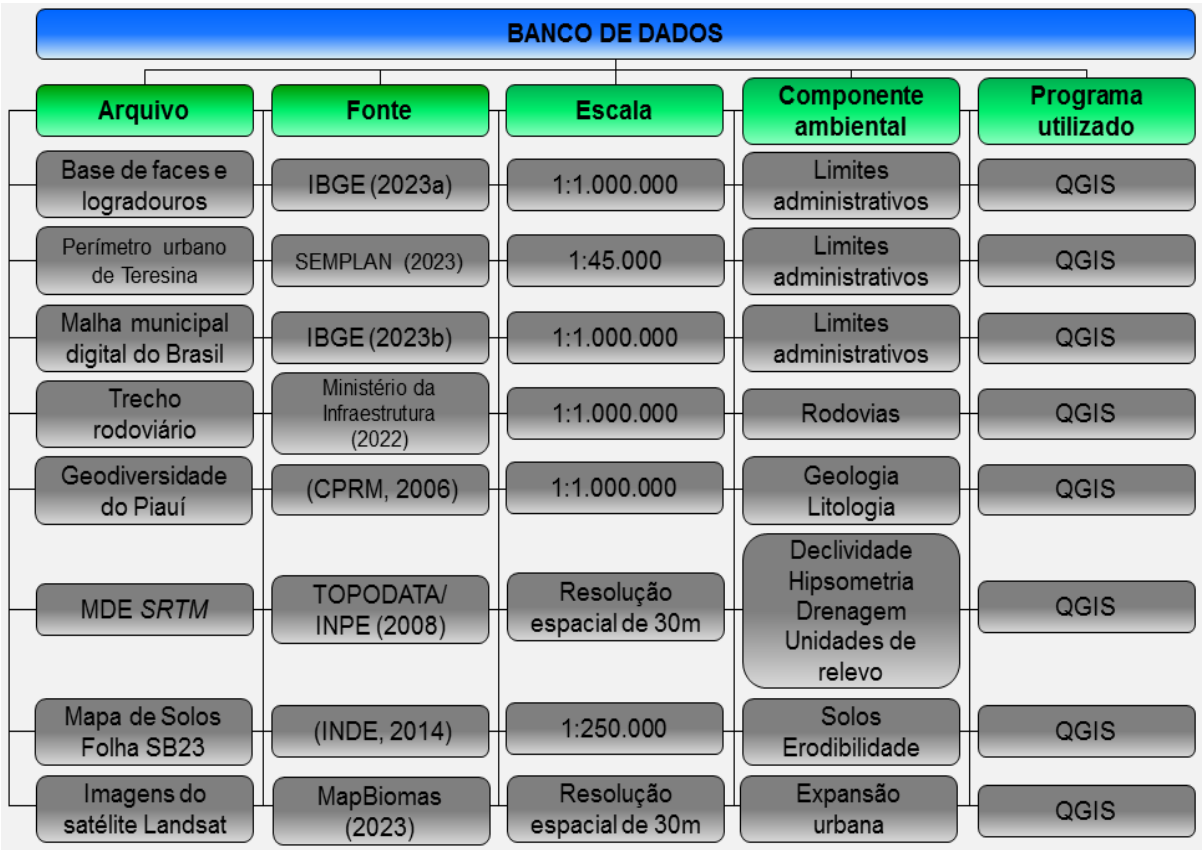
1. Perímetro urbano de Teresina, conforme Plano Diretor de Ordenamento Territorial (2020), na escala 1:45.000;
2. Macrozoneamento urbano de Teresina, escala 1:45.000;
3. Zoneamento urbano de Teresina, escala 1:45.000;
4. Divisão administrativa de Teresina (2020), na escala de 1:25.000;
5. Microbacias e drenagem de Teresina (2013), na escala 1:45.000.

Para a atividade de campo foi utilizado como ferramenta auxiliar o método *checklist*, o qual continha os seguintes itens: a) identificação dos principais canais da rede de drenagem; b) ocorrência de processos erosivos e sua tipologia; c) presença de solo exposto; d) ocupação urbana e uso da terra; e) arrumamentos. O'Brien *et al*. (2014) afirmam que o método *checklist* pode ser utilizado em pesquisas qualitativas, pois possibilita interpretações dos fenômenos à luz da visão epistemológica do pesquisador. Corroboram esta afirmação Rovere (1992) e Silva *et al.* (2012), ao afirmarem que, através desse método, é possível padronizar e identificar fatores e impactos ambientais específicos de determinada área. Os levantamentos de campo foram realizados ao longo dos anos de 2022, 2023 e 2024.

4.4 Produção cartográfica

Para montagem do banco de dados geoespacial foram adquiridos arquivos do tipo vetorial e matricial, junto a diversos órgãos governamentais (Figura 24). Esses arquivos passaram por processo de refinamento e espacialização, tendo sido manuseados através das ferramentas disponíveis no SIG QGIS, versão 3.16.

Figura 24 - Tipo de arquivo, fonte, escala, componente ambiental e programa utilizado para armazenamento e espacialização dos dados



Fonte: Elaboração do autor (2023).

Para produção dos mapas de localização foram utilizados os arquivos vetoriais de faces e logradouros do IBGE (2023a), Perímetro urbano de Teresina (Teresina/SEMPLAN, 2023) e malha municipal do Brasil (IBGE, 2023b), além de arquivo vetorial do trecho rodoviário obtido no banco de dados do Ministério da Infraestrutura (2022). O trajeto do rodoanel foi obtido via processo de vetorização, realizado através das ferramentas do QGIS, que permite a criação de nova camada vetorial, tendo como base imagem *Landsat*.

A espacialização das formações geológicas e litologias presentes no município de Teresina teve como base o mapa da geodiversidade do Piauí, obtido junto ao banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006). Posteriormente, foi realizado o recorte para a área do município de Teresina, com destaque para o perímetro urbano e área de estudo da pesquisa, resultando na seleção de duas formações geológicas e duas tipologias de rochas.

Para a identificação e delimitação das classes hipsométricas e de declividade do relevo, unidades de relevo e rede drenagem foram utilizados os produtos oriundos do Modelo Digital de Elevação (MDE), da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), junto ao banco de dados do TOPODATA, que é um *site* vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2008), a saber: 04S435 e 05S435. Para o refinamento dos dados do MDE fez-se uso da ferramenta mesclar, disponível na função Raster > miscelânea, do SIG QGIS. Em seguida, utilizou-se a ferramenta *fill sinks* para preencher as possíveis falhas, disponível na caixa de ferramentas do SAGA, a qual se trata de um *software* híbrido integrado ao QGIS.

Para a delimitação das classes hipsométricas foi utilizado o modo intervalos iguais, cuja menor altitude foi 38 m e a maior 253,8 m, tendo sido estabelecidas 5 classes. Posteriormente, foram realizadas as adaptações para a área de estudo. Para o estabelecimento das classes de declividade média do relevo foi utilizada a proposta apresentada do Manual Técnico de Geomorfologia.

Por sua vez, para a identificação das unidades de relevo levou-se em conta o mapeamento realizado por Lima (2011). Já para a extração da rede de drenagem foi utilizado o arquivo MDE refinado e por meio da ferramenta *network*, função *chanel network and drainage basins* do SAGA, mediante execução de procedimento para geração da drenagem para o município de Teresina.

Para a identificação dos grandes grupos de solos foi adquirido arquivo vetorial da Folha SB.23 (Teresina), em escala 1:250.000, disponibilizado no *site* da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, 2014). Foram identificados 4 grandes grupos de associações de solos, quais sejam: Latossolo Amarelo Distrófico, Neossolo Flúvico Eutrófico, Plintossolo Argilúvico e Plintossolo Pétrico Concrecionário.

Para o conhecimento da área de expansão urbana do município de Teresina foi empregado o complemento *MapBiomas Collection*, disponível no QGIS, que exibe série histórica de dados matriciais, considerando imagens *Landsat*. Foi selecionada apenas a classe de área não vegetada, a partir dos limites do município de Teresina, para os anos de 1985 e 2022. As classes selecionadas foram salvas em arquivo matricial, o qual foi, em seguida, convertido em arquivo vetorial do tipo polígono, para melhor manuseio.

Para cada mapa elaborado, foram aplicadas uma metodologia de classificação e uma técnica de geoprocessamento específica, com uso de algoritmos do *software* livre QGIS 2.18.1.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) e o modelo de padrões de relevo para a representação dos padrões e unidade de relevo foram elaborados a partir de referenciais e observações de campo e com técnicas de geoprocessamento, mediante emprego de dados vetoriais e matriciais, como modelo digital de elevação, do tipo terreno, a partir de um raster do relevo. Este foi adquirido com acurácia, um modelo digital de terreno (MDE), através da COP-30 (modelo Copérnicos de 30 metros de resolução espacial), o qual se trata de um MDE global de acesso gratuito, disponibilizado pela Agência Espacial Europeia (ESA). Portanto, é conhecido como MDE COP-30 e também nomeado como GLO-30. Este modelo digital de elevação é uma das versões de livre acesso e de cobertura global do programa *Copernicus* DEM. O *Copernicus* DEM é um modelo de superfície digital (DSM) que representa a superfície da Terra, incluindo edifícios, infraestrutura e vegetação. Este MDE é derivado de interferometria de radar de abertura sintética (InSAR) em banda X da missão TanDEM-X e TerraSAR-X, entre os anos de 2011 e 2015, representado pela Agência Aeroespacial Alemã (DLR) e a *Airbus Defence and Space* (Cremon *et al*., 2022).

Os procedimentos metodológicos se constituem na integração dos dados COP-30 em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), com Datum original WGS 84 e reprojetados para o sistema geodésico brasileiro, o SIRGAS 2000. O processamento, inicialmente, foi feito no *software* Global Mapper, versão 22, com respectivos perfis topográficos.

Para produção dos mapas de localização das principais avenidas de Teresina e da região norte, com destaque para o Parque Lagoas do Norte, foram utilizados os

arquivos vetoriais de faces e logradouros do IBGE (2023a), perímetro urbano de Teresina (Teresina/SEMPLAN, 2023) e malha municipal do Brasil (IBGE, 2023b). Foi utilizado, ainda, o mapa de fundo disponível no *Basemaps*, do complemento HCMGIS, disponível no QGIS, versão 3.28. As coordenadas das seis fotos inseridas no mapa das principais avenidas e das duas fotos inseridas no mapa da região norte, com destaque para o Parque Lagoas do Norte, foram obtidas por meio de Geocodificação, a partir do *Google Earth*.

Para a elaboração dos gráficos da área de expansão urbana do município de Teresina foi empregado o complemento *MapBiomas Collection* 7.0, disponível no QGIS, e Coleção e 8.0, disponibilizada no *site* do MapBiomas, que são produzidos a partir de imagens *Landsat*. Foi selecionada apenas a classe de área não vegetada, a partir dos limites do município de Teresina, para os anos de 1985, 1990, 2000, 2010, 2020 e 2023.

As imagens selecionadas foram submetidas à reclassificação por tabela – considerando os códigos da legenda para os valores de *pixel* e, respectiva paleta de cores para a coleção 7.0 e 8.0 – e conversão para arquivo vetorial, a partir do emprego da ferramenta poligonizar disponível no QGIS. Os gráficos foram elaborados no editor de planilhas *Microsoft Excel*, a partir dos arquivos da base da série histórica utilizada para a produção de dois gráficos de colunas, a saber: área urbanizada por região, do município de Teresina - PI, entre 1985 e 2023; evolução da área urbanizada do município de Teresina, entre 1985 a 2023.

4.5 Elaboração do mapa de fragilidade ambiental

Para a elaboração da fragilidade ambiental foi empregada álgebra de mapas a partir da Equação 1, que considerou cinco variáveis ambientais, a saber: geologia, relevo, declividade do relevo, solos e TWI. O procedimento gerou arquivo raster, que passou por processo de reclassificação e, posteriormente, convertido para vetor, do tipo polígono.

Equação 1:

$$F_{Ambiental} = G + S + D + P + TWI \qquad Eq.1$$

Onde: $F_{Ambiental}$ = Fragilidade ambiental; G = geologia; S = relevo; D = declividade do relevo; P = solos; TWI = Índice Topográfico de Umidade.

O grau de fragilidade ambiental foi considerado segundo as seguintes classes: muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4) e muito alta (5). Essas classes de fragilidade expressam, especialmente, a vulnerabilidade do ambiente em relação ao escoamento superficial e concentrado das águas pluviais (Tabela 3).

Tabela 3 - Unidades Hierárquicas de Fragilidade Ambiental

Peso	Classe
1	Muito baixa
2	Baixa
3	Média
4	Alta
5	Muito alta

Fonte: Adaptado pelo autor (2024) a partir de Ross (1994).

Para as formações geológicas foram considerados os seguintes pesos e classes: Pedra de Fogo, peso 3 e classe média; Pastos Bons, peso 3 e classe média; Piauí, peso 4 e classe alta. Tais pesos foram atribuídos por geólogos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) / Unidade Teresina, considerando as características morfogenéticas e a capacidade de infiltração inerentes a cada uma dessas formações geológicas (Tabela 4).

Tabela 4 - Classes e pesos da variável geologia, segundo especialistas do Serviço Geológico do Brasil – CPRM / Unidade Teresina

Formações	Peso	Classificação
Pedra de Fogo	3	Média
Piauí	4	Alta

Fonte: Elaboração do autor; dados da pesquisa (2024).

Para o relevo, tem-se o seguinte: morros com tendência ao arredondamento limitados por relevo escalonado, peso 1 e classe muito baixa; mesas com topos achatados limitados por escarpa, peso 2 e classe baixa; superfícies intensamente retrabalhadas pela drenagem com morros residuais, peso 4 e classe alta; planícies e

terraços fluviais, peso 5 e classe muito alta (Tabela 5). As planícies e os terraços fluviais foram classificados como alta fragilidade ambiental em função da instabilidade dos terrenos e ocorrência de inundações periódicas (Ross; Fiertz, 2017).

Tabela 5 - Classes e pesos da variável relevo

Unidades	Peso	Classificação
Morros com tendência a arredondamento limitados por relevo escalonado	1	Muito baixa
Mesas com topos achatados limitados por escarpa	2	Baixa
Superfícies intensamente retrabalhadas pela drenagem com morros residuais	4	Alta
Planícies e Terraços fluviais	5	Muito alta

Fonte: Elaboração do autor; dados da pesquisa (2024).

Em relação aos solos considerou-se: Latossolo Amarelo, peso 1 e classe muito baixa; Argissolo Vermelho-Amarelo, peso 2 e classe baixa; Chernosso Argilúvico, peso 3 e classe média; Neossolo Flúvico, peso 4 e classe alta; Neossolo Litolótico, peso 5 e classe muito alta. Esses pesos e classes foram atribuídos por um especialista pedólogo da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG), considerando as características físico-químicas e a capacidade de retenção e/ou infiltração (Tabela 6).

Tabela 6 - Classes e pesos da variável solos

Grupos de solos	Peso	Classificação
Latossolo Amarelo	1	Muito baixo
Argissolo Vermelho-Amarelo	2	Baixa
Chernosso Argilúvico	3	Média
Neossolo Flúvico	4	Alta
Neossolo Litolótico	5	Muito Alta

Fonte: Elaboração do autor; dados da pesquisa (2024).

Já para o TWI, delimitou-se da seguinte forma: 8,83 a 11,24, peso 3 e classe média; 11,25 a 14,77, peso 4 e classe alta; > 14,78, peso 5 e classe muito alta.

Essas classes correspondem, portanto, às áreas com maior potencialidade de inundações e alagamentos (Tabela 7).

Tabela 7 - Classes e pesos da variável TWI

Índice	Peso	Classificação
8,83 a 11,24	3	Média
11,25 a 14,77	4	Alta
>14,78	5	Muito Alta

Fonte: Elaboração do autor; dados da pesquisa (2024).

Para a declividade do relevo foram definidos os seguintes pesos e classes: suave ondulado (3 a 8%), peso 1 e classe muito baixa; ondulado (8 a 20%), peso 2 e classe baixa; forte ondulado (20 a 45%), peso 3 e classe média; montanhoso (45 a 75%), peso 4 e classe alta; plano (0 a 3%), peso 5 e classe muito alta. As áreas mais declivosas foram classificadas com maior fragilidade, com exceção das planícies de inundação que, mesmo apresentando declividade entre 0 e 3%, são enquadradas na classe muito alta fragilidade (Tabela 8).

Tabela 8 - Pesos e classes da variável declividade

Unidades	Peso	Classe
Suave ondulado (3 a 8%)	1	Muito Baixa
Ondulado (8 a 20%)	2	Baixa
Forte ondulado (20 a 45%)	3	Média
Montanhoso (45 a 75%)	4	Alta
Plano (0 a 3%)	5	Muito Alta

Fonte: Adaptado pelo autor (2024) a partir de IBGE (2009).

Para a delimitação das classes de fragilidade ambiental considerou-se o método graduado e o modo intervalo igual, resultando nos seguintes intervalos e classes: 2 a 21,6 (classe muito baixa); 21,6 a 41,2 (classe baixa); 41,2 a 60,8 (classe média); 60,8 a 80,4 (classe alta); 80,4 a 100,1 (classe muito alta) (Tabela 9).

Tabela 9 - Classificação da fragilidade ambiental

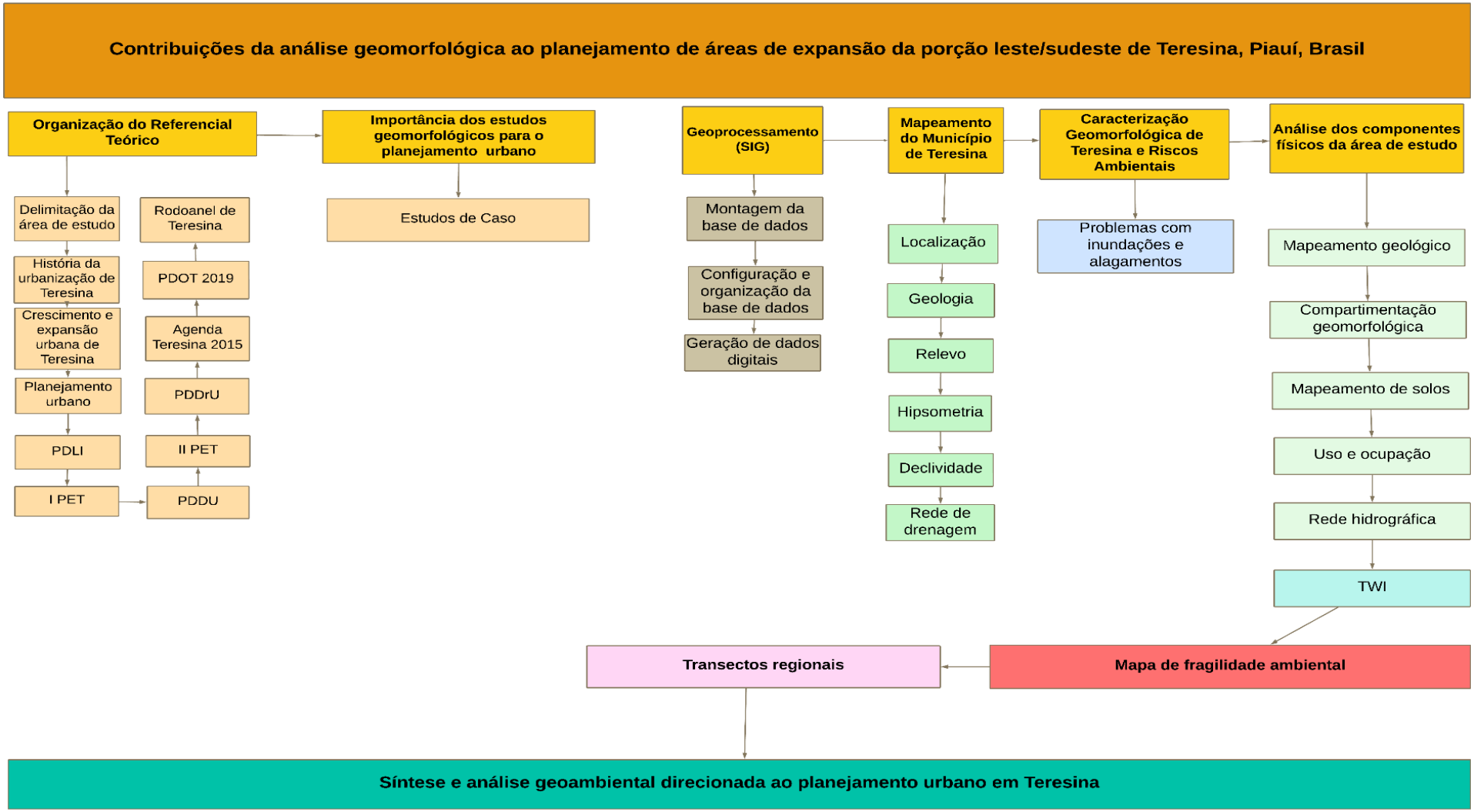
Intervalos	Pesos	Classificação
2 a 21,6	1	Muito Baixa

21,6 a 41,2	2	Baixa
41,2 a 60,8	3	Média
60,8 a 80,4	4	Alta
80,1 a 100,1	5	Muito Alta

Fonte: Elaboração do autor; dados da pesquisa (2024).

O SIG predominante utilizado para a geração dos mapas temáticos é o *software* gratuito QGIS (versão 3.26), com *base-maps* de imagens ortomosaico do *Google Earth* e da ESRI satélite, ambas da cidade de Teresina-PI. A modelagem da superfície será uma compreensão e visualização do relevo, com base em Lima (2011). Na Figura 25 é apresentado um fluxograma das etapas de desenvolvimento desse estudo.

Figura 25 - Roteiro sistemático-metodológico de execução da pesquisa



Fonte: Elaboração do autor (2024).

5 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA URBANA DE TERESINA: DANOS AMBIENTAIS RECORRENTES E AÇÕES MITIGADORAS

5.1 Aspectos da morfologia original antes da ocupação urbana de Teresina: quadro natural-ambiental

5.1.1 Aspectos geológico-geomorfológicos

A cidade de Teresina foi edificada sobre arcabouço litoestrutural pertencente à Bacia Sedimentar do Parnaíba, uma bacia intracratônica de idade Siluriano-Triássico (Góes, 1995; Vaz *et al*., 2007, Hassui *et al*., 2012; Cruz; Córdoba; Souza, 2019). Essa bacia engloba os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e uma pequena porção dos estados da Bahia, do Ceará e do Pará, apresentando coluna sedimentar de espessura estimada em 3.500 metros em seu depocentro (Góes; Feijó, 1994; Vaz *et al*., 2007, Lima, 2013).

Schobbenhaus Filho e Campos (1984) destacam que a Bacia Sedimentar do Parnaíba foi afetada por tectônica linear, fato que pode ser comprovado pelos lineamentos, flexuras e falhamentos que contribuíram para seus eixos deposicionais e estratos, de modo que seu diâmetro acompanha a direção Nordeste-Sudoeste. A esse respeito, Cunha (1986), citado por Lima (2013), destaca que o lineamento Picos-Santa Inês teve papel importantíssimo na formação dessa bacia, pois exerceu a função de controlar o expressivo plano de deposição e sua ligação com o oceano.

Cabe destacar que sua deposição ocorreu em três megaciclos: 1) neoordoviciano a eocarbonífero; b) neocarbonífero a jurássico; e c) cretáceo com coberturas do Terciário e Quaternário (Carozzi *et al*., 1975; Góes, 1995). Consequentemente, o ciclo deposicional da Bacia Sedimentar do Parnaíba é marcado por três supergrupos (Quadro 8).

Quadro 8 - Supersequências de deposição da Bacia Sedimentar do Parnaíba

Supersequências	Período de deposição	Formações
Grupo Serra Grande	Siluriano	Ipu, Tianguá, Jaicós
Grupo Canindé	Devoniano	Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti

Grupo Balsas*	Carbonífero-Triássico	Piauí, Pedra de Fogo*
-	Jurássico	Corda

*Compreende a estrutura geológica de Teresina.
Fonte: Elaborado pelo autor (2024) com base em Góes (1995) e Lima (2013).

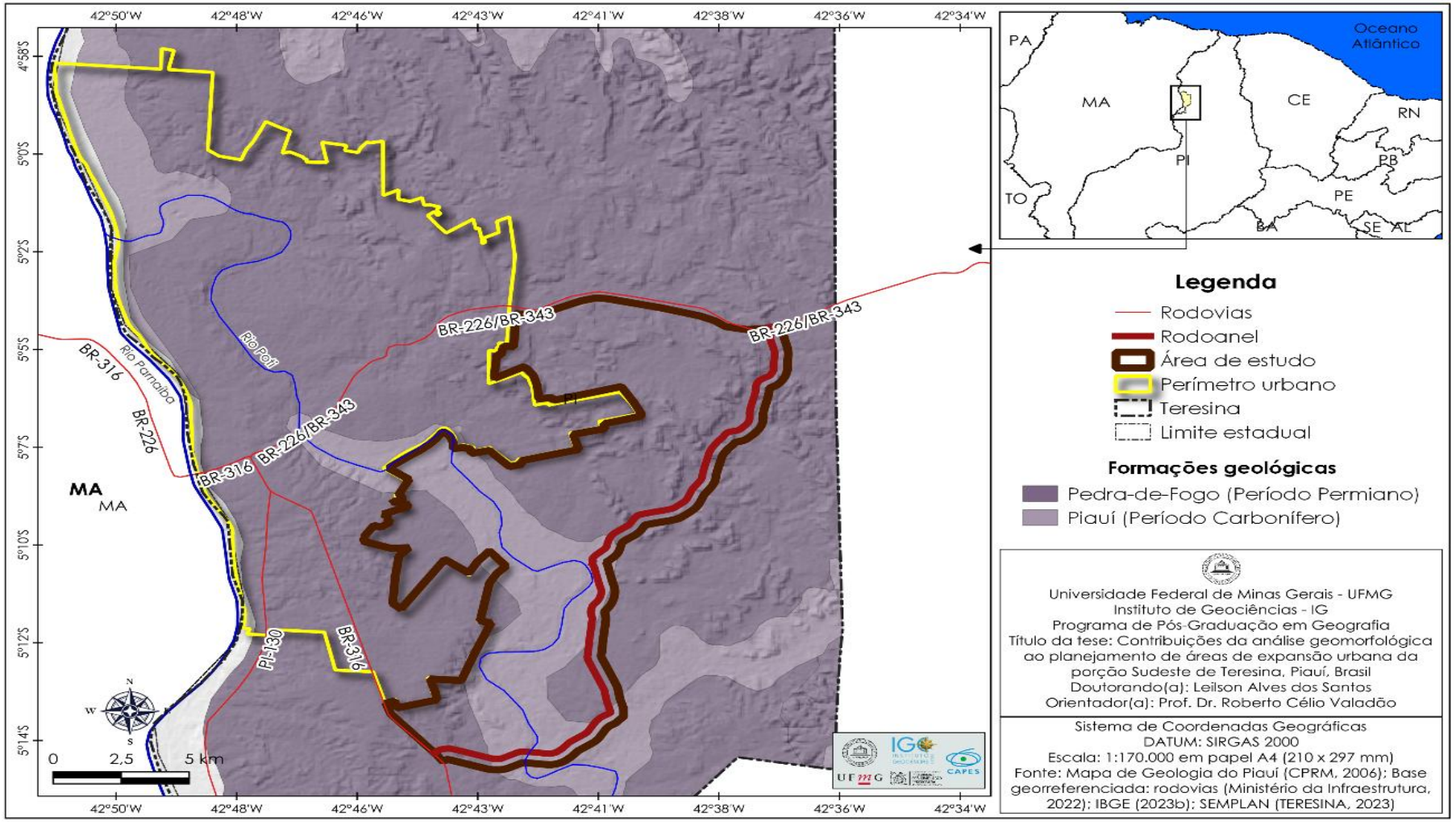
A literatura sobre a composição geológica/estratigráfica da Bacia Sedimentar do Parnaíba é extensa, de modo que não é nosso intuito explorá-la de modo pormenorizado. Porém, daremos ênfase à composição das formações Piauí, Pedra de Fogo e Corda, as quais afloram no município de Teresina.

As formações geológicas encontradas em Teresina estão organizadas em sequências deposicionais, uma vez que pertencem a períodos geológicos, sistemas deposicionais e litológicos diferentes, a saber: Poti (Grupo Canindé) com deposição entre 345 e 326Ma; Motuca (Grupo Balsas), entre 253 e 251 Ma; Pastos Bons, Corda e Sardinha (Grupo Mearim) com período de deposição entre 161 e 145 Ma, 161 e 125 Ma e 150 e 110 Ma, respectivamente (Góes, 1995; Vaz *et al*., 2007; Nunes, 2022).

As formações Piauí, Pedra de Fogo e Corda apresentam rochas compostas por arenitos, calcários, folhelhos, argilitos e siltitos (Lima; Leite, 1978; Vaz *et al*., 2007; Lima, 2013; Barbosa, 2020) (Figura 26). As formações Piauí e Pedra de Fogo afloram em praticamente toda área de Teresina, de forma alternada. No caso da formação Piauí, ela aflora ao longo das margens dos rios Poti e Parnaíba, associada a terrenos de relevo plano, ou seja, às planícies e terraços fluviais, bem como superfícies dissecadas com formas residuais.

A formação Piauí tem seu ciclo de deposição datado no Carbonífero e é composta por arenitos médios, maciços ou com estratificação cruzada de grande porte, com intercalação de folhelhos, finas camadas de sílex, calcários, siltitos e lentes conglomeráticas. O ambiente de deposição da formação Piauí foi fluvial, com influência eólica e incursões marinhas em clima semiárido e desértico (Góes, 1995; Lima, 2013).

Figura 26 - Formações geológicas presentes em Teresina - em destaque a área de estudo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Nos terrenos sustentados pela Formação Pedra de Fogo, o relevo apresenta-se de plano a ondulado, dissecado, com extensas superfícies sem declives acentuados. Também são encontrados platôs e planaltos isolados, bem como chapadões planos de grande expressão topográfica, com ocorrência de escarpas íngremes e rebordos revirados, onde é comum a presença de níveis de silexito (Lima; Leite, 1978; Barbosa, 2020).

A Formação Corda, mais recente, está depositada sobre a Formação Pedra de Fogo, aflorando no extremo sul do município de Teresina. Nessa área, constitui feições de relevo dissecado e formas residuais (planaltos), com altimetria variando entre 110 e 170 metros.

Teresina possui uma variedade de depósitos minerais amplamente utilizados na construção civil, explorados desde os primórdios da cidade. Destacam-se, entretanto, os minerais não metálicos, tais como: areias e argilas, solo arenoso e areno-argiloso, material coluvionar, laterita e canga laterítica, além de sedimentos areno-argilosos, conhecidos localmente como “barro” e “massará” – um material areno-argiloso, ligante, friável e com seixos (Correa Filho; Moita, 1996; Viana, 2013; Nunes, 2022).

Os solos presentes no município de Teresina estão classificados em cinco categorias, de acordo com a nomenclatura da Embrapa (2018): Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Chernossolo Argilúvico, Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico (Figura 27). Esse mapeamento pedológico baseia-se em informações do IBGE (2023), Semplan (2023) e Jacomine *et al*. (1983). Na Tabela 10, apresenta-se a distribuição dessas associações de solos no município de Teresina.

Tabela 10 - Percentual da ocorrência das classes de solos em Teresina

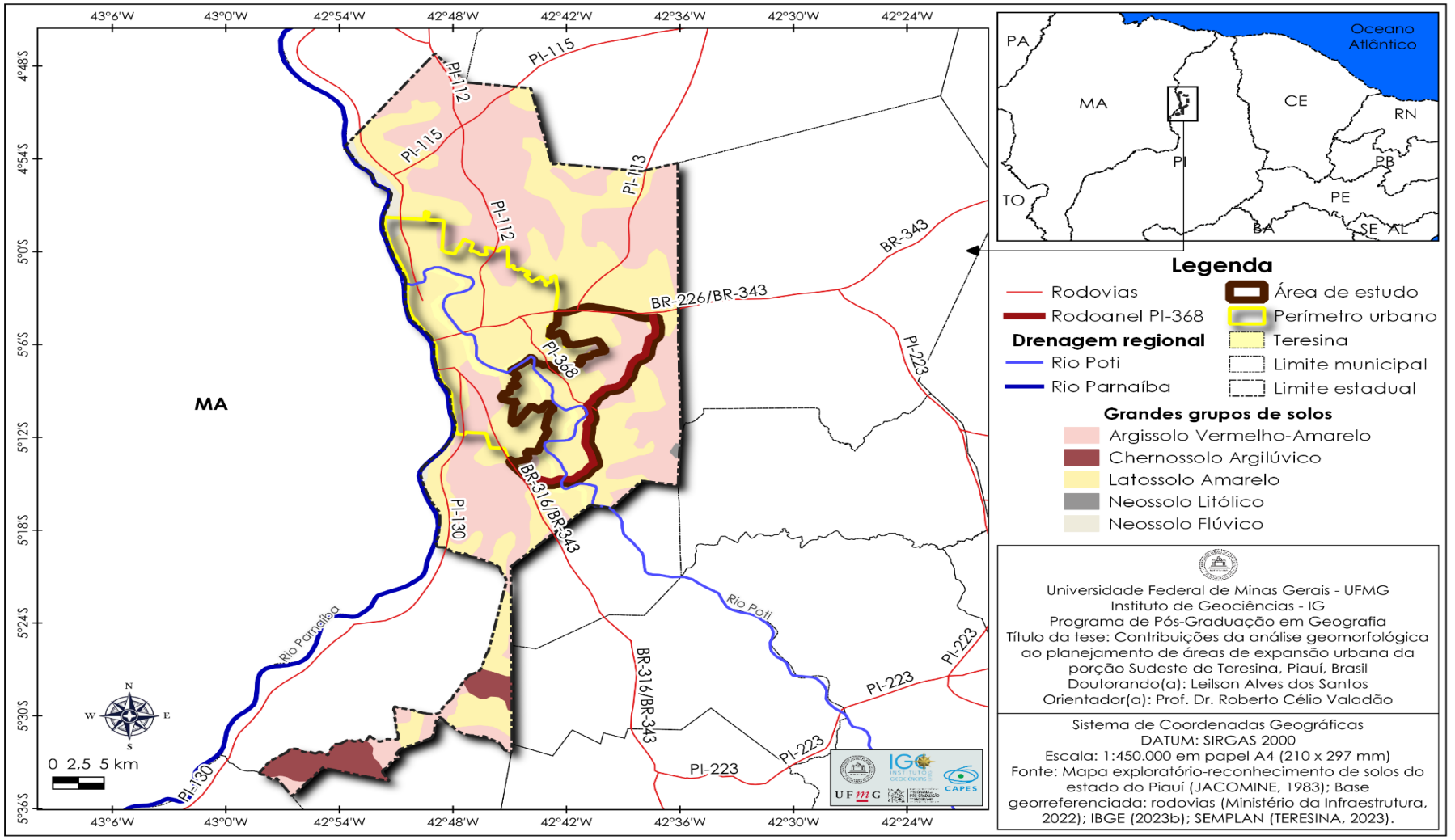
Classificação	**Área de abrangência em Teresina**
Latossolo Amarelo	50%
Argissolo Vermelho-Amarelo	46%
Chernossolo argilúvico	2%
Neossolo Flúvico	2%
Neossolo Litólico	<0,02%

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

O Latossolo Amarelo é amplamente distribuído em áreas planas de Teresina, especialmente ao longo do rio Parnaíba. Apresenta textura média, baixa fertilidade, além de ser profundo e bem drenado (Reis Filho; Lima, 2013; Lumbreras *et al*., 2015; Nunes 2022). Juntamente com os Argissolos Vermelho-Amarelo, esses solos representam 96% da área do município de Teresina. Destaca-se que, na classificação geotécnica do mapeamento de solos, tanto os Latossolos quanto os Argissolos são categorizados como solos lateríticos (Burgos; Conciani, 2015).

Segundo Melo *et al*. (2014), o Latossolo Amarelo encontrado em Teresina é originário da alteração de arenitos e material areno-argiloso de cobertura, apresentando estrutura maciça porosa "*in situ*" ao longo do perfil, blocos angulares e subangulares. Em termos geotécnicos, Aquino (2020) afirma que os Latossolos não apresentam argilominerais expansivos, grande capacidade de armazenamento de água, porém, quando submetidos à concentração de água oriunda da ocupação humana, se tornam susceptível à erosão.

Figura 27 - Associações de solos encontradas em Teresina - destaque para a área de estudo



Fonte: Elaboração do autor (2024).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos, a segunda classe de maior abrangência em Teresina, são encontrados a pouca profundidade, com distribuição espacial associada com os Neossolos Litólicos (Moraes, 2004; Aquino, 2020). Devido às suas características geotécnicas, como, por exemplo, a baixa resistência à erosão, podem causar problemas nas construções, necessitando, assim, de obras mais estruturantes.

Já os Chernossolos possuem textura média ou argilosa em todo o perfil, com pedregosidade ou não. Tratam-se de um solo muito argiloso, de textura composta com argila 2:1 com montmorilonítica (Moraes, 2004). Localizam-se no limite sudeste da cidade, nos limites com os municípios de Palmeirais, São Pedro do Piauí e Curralinhos (Aquino, 2020). Moraes (2014) afirma que os Chernossolos são solos propícios a movimentos de massa, portanto, não recomendados para a ocupação urbana.

Os Neossolos Flúvicos são encontrados ao longo da margem direita do rio Parnaíba, no munícipio de Teresina, bem como nas margens esquerda e direita do rio Poti, desde sua foz no rio Parnaíba até os limites de Teresina, na porção sudeste do município. Trata-se de um solo pegajoso, originado de sedimentos areno-argilosos. Essas características exigem atenção quanto à compactação e à saturação, pois podem resultar em solos expansivos (Aquino, 2020).

Por fim, os Neossolos Litólicos são encontrados associados aos Argissolos Vermelho-Amarelos. São solos rasos, pedregosos e ocupam áreas acidentadas. Originaram-se da alteração de rochas localizadas em altitudes mais elevadas.

Com relação à espacialização dos aspectos geológicos/geomorfológicos, a CPRM (2020) identificou cinco unidades geotécnicas no município de Teresina, conforme pode ser observado juntamente com suas características no Quadro 10.

Quadro 10 - Características geotécnicas encontradas em Teresina

UNIDADES GEOTÉCNICAS	CARACTERÍSTICAS
Depósitos Aluvionares Arenosos e Areno-Argilosos	Distribui-se ao longo dos rios Poti e Parnaíba e de seus maiores afluentes em Teresina, especialmente na área de confluência destes dois rios. Possuem sedimentos argilo-arenosos, argilo-siltosos ou areno-argilosos, com coloração entre vermelha, marrom, cinza e cinza esbranquiçada. Propício a inundações, enchentes e solapamentos.

Colúvio/Residual com substrato de rochas sedimentares pouco consolidadas indiviso	Possui colúvios pouco espessos ou inexistentes e camada pedológica residual argilosa-siltosa que capeia a rocha pouco consolidada, com potenciais riscos de deslizamentos. Esse material é não possui grande expressão em Teresina, sendo encontrado em pontos isolados da região sul e extremo norte da cidade.
Colúvio/Residual com substrato de rochas sedimentares consolidadas indiviso	Presente nas maiores cotas altimétricas de Teresina, especialmente nas áreas extremas das regiões leste e sudeste. Composto por saprolito sedimentar (com camadas arenosas, argilosíltico-arenosas e lâminas de argila) sobreposto por crosta laterítica e/ou horizonte concrecionário, com potenciais riscos de deslizamentos.
Colúvio/Residual com substrato de conglomerados pouco consolidados	Caracterizada por possuir colúvios pouco espessos ou inexistentes com solo residual argilo-siltoso que capeia a rocha pouco consolidada e camadas pouco espessas de conglomerados com arcabouço composto por seixos graníticos bem arredondados. Apresenta potenciais riscos para deslizamentos.
Colúvio/Residual com substrato de arenitos pouco consolidados	Caracteriza-se pela presença de colúvios pouco espessos relacionados com solo residual argilo-siltoso capeando a rocha pouco consolidada constituída por arenitos friáveis, com potenciais riscos de deslizamentos. Presente praticamente em toda área urbana de Teresina

Fonte: CPRM (2020); Nunes (2022).

A identificação de tais unidades geotécnicas é fundamental, pois fornece informações essenciais para o planejamento urbano sustentável, a prevenção de desastres naturais, a proteção de recursos hídricos e a segurança estrutural, especialmente das áreas urbanas. A ausência dessas informações e/ou ignorar esses aspectos pode resultar em consequências graves para o meio ambiente e para a segurança e bem-estar da população urbana.

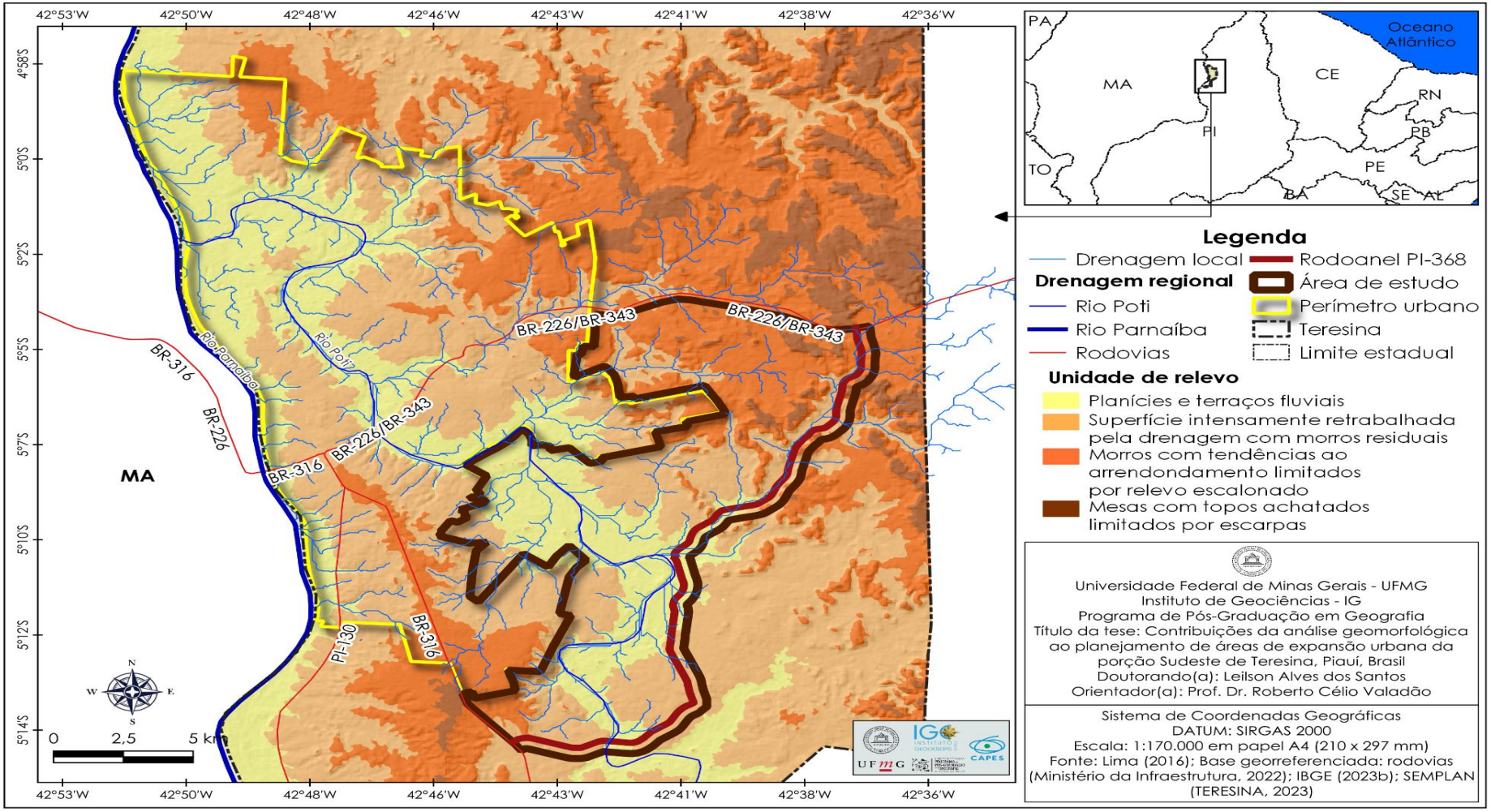
Ainda sobre esse aspecto, Lima (2011) classifica o relevo de Teresina em três unidades geomorfológicas, sendo elas planícies e terraços fluviais, Superfícies Intensamente Retrabalhadas pela Drenagem com Morros Residuais, Superfície Residual Recortada por Vales Encaixados, conforme pode observado no Quadro 11 e na Figura 28.

Quadro 11 - Unidades de relevo de Teresina proposta por Lima (2011)

Unidades de relevo		Características e abrangência
Planícies e Terraços fluviais		Compreendem as feições de acumulação por processos fluviais sobre a formação Piauí, com desenvolvimento de solos em faixa contínuas ao sul e de forma contínua ao norte da cidade de Teresina, em faixas de 0 a 70 m de altitude. Na área central da cidade, na margem do rio Parnaíba, encontram-se aluviões que variam de 5 a 15 m de profundidade sobre a Formação Piauí (4TE-16,17e 41-PI).
Superfícies Intensamente Retrabalhadas pela Drenagem com Morros Residuais		Corresponde às formas modeladas sob intensos processos erosivos, diretamente sobre a formação Pedra de Fogo, correspondendo à faixa de altitude entre 70 e 100 metros. Os solos na maior parte dessa área são LATOSSOLOS e em menor proporção ARGISSOLOS nas áreas que apresentam maior declividade e a vegetação de babaçuais se encontra nas áreas de relevo plano com transição para o cerrado no relevo suave ondulado.
Superfície Residual Recortada por Vales Encaixados:	B – Morros com Tendência ao Arredondamento Limitados por Relevo Escalonado	Compreende formas erosivas de topos definidos, porém reafeiçoados pelos processos erosivos, tendendo ao arredondamento, sendo recortados por vales encaixados e se encontram na faixa de 100 a 170 metros de altitude. Esse relevo é moldado em rochas da Formação Pedra de Fogo, onde predominam os ARGISSOLOS nas encostas mais inclinadas e LATOSSOLOS nas áreas de relevo suave ondulado. Na porção sul do município, ocorrem também Associações de CHERNOSSOLO ARGILÙVICOS e ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO em áreas de relevo mais elevado, parte sobre o diabásio e parte da área de rochas da Pedra de Fogo.
	A – Mesas com Topos Achatados Limitados por Escarpas.	Compreende formas erosivas de topos mais elevados e encostas íngremes, entre os níveis de 170 a 250 metros de altitude. Formam as pequenas áreas de maiores altitudes do município com cobertura de vegetação arbórea e, segundo Moraes (2004) apresentam solos dos tipos LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELO e Associações de ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO.

Fonte: Organizado pelo autor (2024) a partir de Lima (2011).

Figura 28 - Classes de relevo do município de Teresina - em destaque a área de estudo



Fonte: Elaboração do autor (2024).

A existência de terrenos cársticos que ocorrem em Teresina, em decorrência de lentes de calcário presentes na Formação Pedra de Fogo, provocam acidentes e subsidências de solo, especialmente na região central da cidade. Tais processos estão relacionados com a urbanização e oscilação do nível freático, favorecendo a formação de dolinas no subsolo e, consequentemente, pontos de afundamento (Góes; Feijó, 1994; Vaz *et al.,* 2007, Lima, 2013; Nunes, 2022).

Em relação à hipsometria, foram considerados, neste trabalho, cinco classes: Classe 1 (38 a 81m); Classe 2 (81,1 a 124m); Classe 3 (124,1 a 167); Classe 4 (167,1 a 210m) e Classe 5 (210,1 a 253,8) (Figura 29). Para o estabelecimento das classes de declividade média do relevo foi utilizada a proposta apresentada do Manual Técnico de Geomorfologia, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Classes de declividades

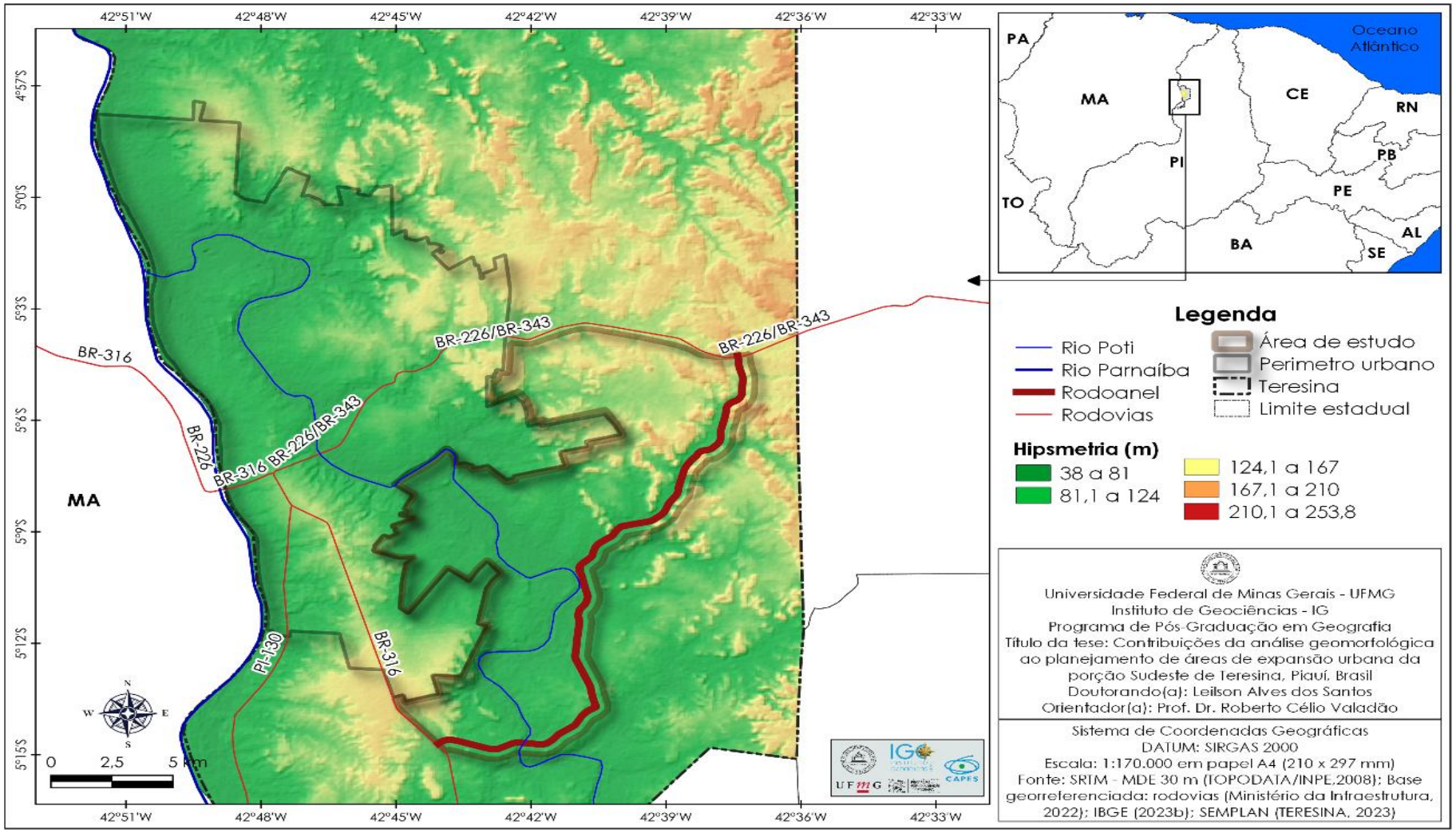
Padrão de forma	Declividade (%)
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75

Fonte: IBGE (2012).

As menores cotas estão relacionadas às áreas de planícies e terraços fluviais dos rios Poti e Parnaíba, bem como dos seus tributários, que favorecem a formação de lagoas marginais, propiciando, dessa forma, o aumento do risco de inundações e alagamentos no período de chuvas intensas, que em Teresina geralmente concentra-se no verão, entre os meses de dezembro e março.

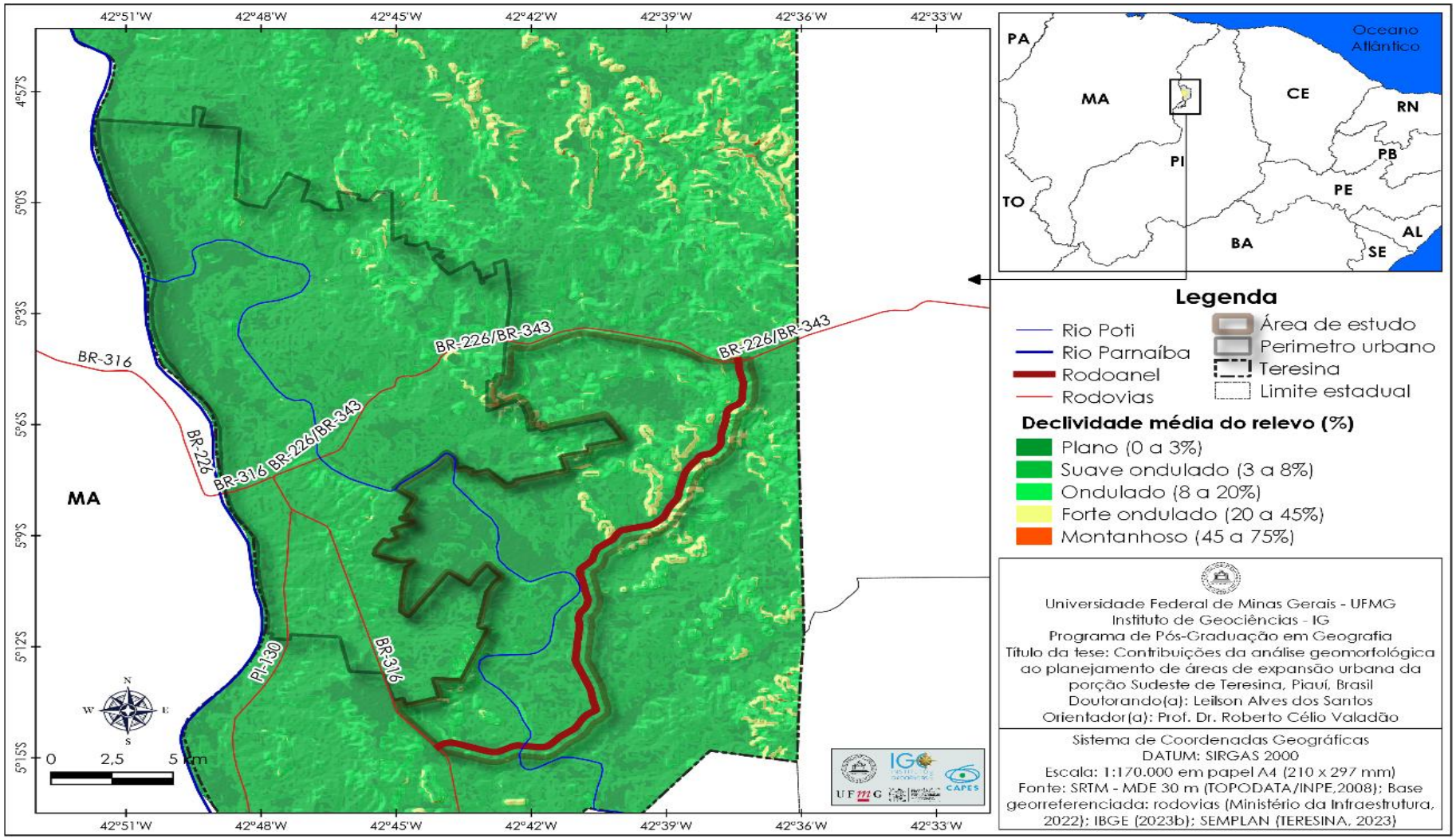
A declividade é importante, pois permite estimar o tempo e a velocidade que as águas superficiais dispõem para escoar em determinado local, sendo que quanto mais acentuado for o declive, maior será a velocidade do escoamento e menor o tempo que a água fica em contato com a superfície, dificultando, assim, a infiltração e acelerando processos erosivos. Ademais, é possível identificar áreas passíveis de alagamentos, inundações, deslizamentos e movimentos de massa – estes últimos associados aos materiais preexistentes na superfície (Figura 29).

Figura 29 - Mapa hipsométrico de Teresina - em destaque a área de estudo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 30 - Mapa de declividade de Teresina - em destaque a área de estudo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

O conhecimento da declividade propicia a identificação dos locais que precisam de maior atenção de infraestrutura e prevenção de risco, um indicador de suma importância para o planejamento urbano. A esse respeito, Sousa *et al.* (2014) relatam que, nos bairros Porto do Centro, Satélite e Samapi, situados na região leste de Teresina, e que apresentam declividade superior a 100m, é comum a ocorrência de voçorocamento, isto é, deslizamento de massa, e alagamento, os quais causam sérios transtornos à população.

5.1.2 Clima e aspectos hidrográficos

Teresina situa-se em áreas de baixa latitude, na faixa de transição climática entre o semiárido e a Amazônia úmida, de modo que seu clima é influenciado também pela latitude, o que confere à cidade aspectos climáticos particulares, principalmente no que diz respeito à umidade relativa do ar, ao regime pluviométrico e às altas temperaturas registradas durante a maior parte do ano.

Considerando a classificação climática de Köppen, a cidade apresenta o tipo climático AW/aw', considerado tropical-equatorial e subúmido quente de savana, com duas estações bem delimitadas, uma seca e uma outra chuvosa, que se estende entre os meses de dezembro e maio (Tabela 12 e 13). A temperatura média em Teresina é de 27,7º C. O período das maiores temperaturas está concentrado entre agosto e dezembro, coincidindo com as menores taxas pluviométricas registradas na cidade, o que aumenta o desconforto térmico para a sua população.

Tabela 12 - Maiores e menores taxas médias mensais de precipitação pluviométrica (mm) em Teresina, no período 1980 – 1999

Ano	Mês	Taxa Alta	Mês	Taxa Baixa
1980	fev	506,1	jun	3,5
1981	jan	353,6	out	4,9
1982	abr	355,2	ago	2
1983	mar	367,1	maio	4,8

1984	mar	259,7	jul	3,7
1985	jan	530,4	jul	9,6
1986	mar	453,3	ago	2,1
1987	mar	709,7	dez	11,4
1988	abr	450,3	jul	3
1989	dez	437,6	ago	7,3
1990	abr	148,5	ago	1,2
1991	jan	295,7	jul	12,9
1992	mar	256,2	ago	2,3
1993	mar	235,3	ago	2
1994	mar	389,3	out	5,5
1995	mai	408,7	jul	2,1
1996	fev	222,8	set	4,8
1997	jan	194,6	jul	2,6
1998	jan	318,2	ago	1,9
1999	mar	283,1	jul	5

Fonte: Elaborada pelo autor (2023) com base em ANA (2023).

Tabela 13 - Maiores e menores taxas médias mensais de precipitação pluviométrica (mm) em Teresina, no período 2000 – 2022

Ano	Mês	Taxa Alta	Mês	Taxa Baixa
2000	fev	308,5	nov	4,4
2001	mar	333,8	set	1,3
2002	abr	288,5	ago	1,1
2003	fev	367,1	set	2,3
2004	jan	422,2	set	18
2005	mar	284,3	jul	2,6
2006	mar	289,7	set	5,9

2007	mar	258,6	ago	2,3
2008	abr	506,2	ago	2,4
2009	mai	496,9	ago	3,3
2010	abr	239,2	jul	2
2011	fev	299,9	ago	13,7
2012	fev	257,3	out	4,7
2013	abr	387,7	set	14,8
2014	fev	360,3	jun	2,1
2015	mar	278,1	nov	2,1
2016	jan	330,3	nov	4,1
2017	mar	429,1	jul	14,4
2018	dez	409,6	nov	9,4
2019	mar	385,9	set	3,2
2020	mar	332,7	set	1,2
2021	fev	324,2	ago	0
2022	jan	345,3	jul	2,7

Fonte: Elaborada pelo autor (2023) com base em ANA (2023).

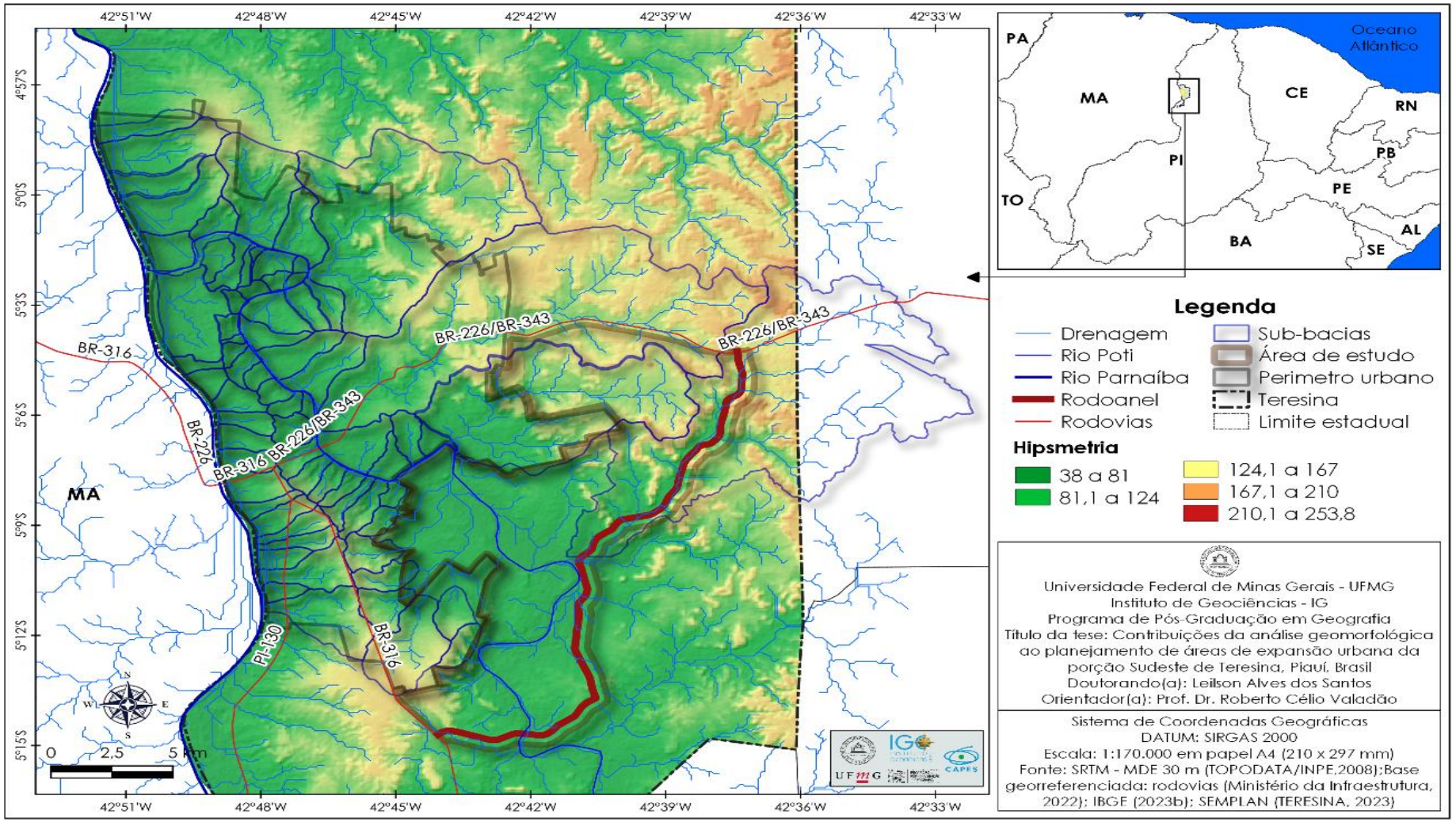
Andrade (2009) identificou que a radiação solar máxima em Teresina se concentra entre os meses de julho e outubro, ou seja, período em que cidade registra as mais altas temperaturas. O autor relaciona esta situação diretamente com a latitude, bem como às baixas cotas altimétricas, que geram feições de relevo pouco onduladas, as quais, aliadas à continentalidade, ao processo de urbanização, impermeabilização da superfície e supressão da vegetação natural contribuem para a retenção do calor.

Ademais, as chuvas intensas são comuns no período entre dezembro e março. Durante a estação chuvosa há o aumento da vazão dos rios Poti e Parnaíba[4], bem como de seus afluentes e do sistema de lagoas que os margeiam, localizados, principalmente, na região norte da cidade. Há, nesse contexto, uma

[4] Rios regionais de grande volume, o rio Parnaíba banha Teresina por sua margem direita, enquanto que o rio Poti corta a cidade e juntamente com seus afluentes. Estes são os cursos d´água que mais causam transtornos à população, devido ao transbordo no período chuvoso.

extensa rede de canais de drenagem de pequena extensão que drena a área urbana (Lima, 2011), conforme pode ser observado na Figura 31.

Figura 31 - Rede de drenagem na região de Teresina (Piauí) - em destaque a área de estudo



Fonte: Elaboração do autor (2024)

Devido à presença dos dois rios regionais – Parnaíba e Poti – na zona urbana de Teresina, sua área é drenada por vários de seus afluentes, além das diversas lagoas que se formam ao longo das planícies de inundação desses corpos hídricos.

De acordo com dados da Prefeitura de Teresina, existem cerca de 70 sub-bacias hidrográficas na área urbana da cidade, de modo que 16 delas drenam no sentido da margem direita do Poti, 32 em direção à margem esquerda e 22 deságuam no Parnaíba. A esse respeito, Nunes descreve que, ao adentrar Teresina o rio Poti:

> Caracteriza-se pela baixa declividade, por possuir os maiores afluentes em Teresina, principalmente na sua margem direita, além de possuir direção de escoamento Sul-Norte, quando próximo aos bairros Zoobotânico e Embrapa, muda o sentido de drenagem para Leste-Oeste (com duas inflexões, a primeira no sentido anti-horário e a segunda no sentido horário) possibilitando sua foz no Parnaíba com um ângulo próximo de 90º que auxilia na influência que este sofre pelo remanso do rio Parnaíba formando uma barreira natural (Nunes, 2022, p. 111).

Devido a essa densa rede de canais de drenagem e à ocorrência de extensos terraços fluviais relacionados ao rio Poti e em menor extensão ao rio Parnaíba, no período chuvoso estas áreas são afetadas por inundações sazonais (Chaves; Tavares; Andrade, 2017).

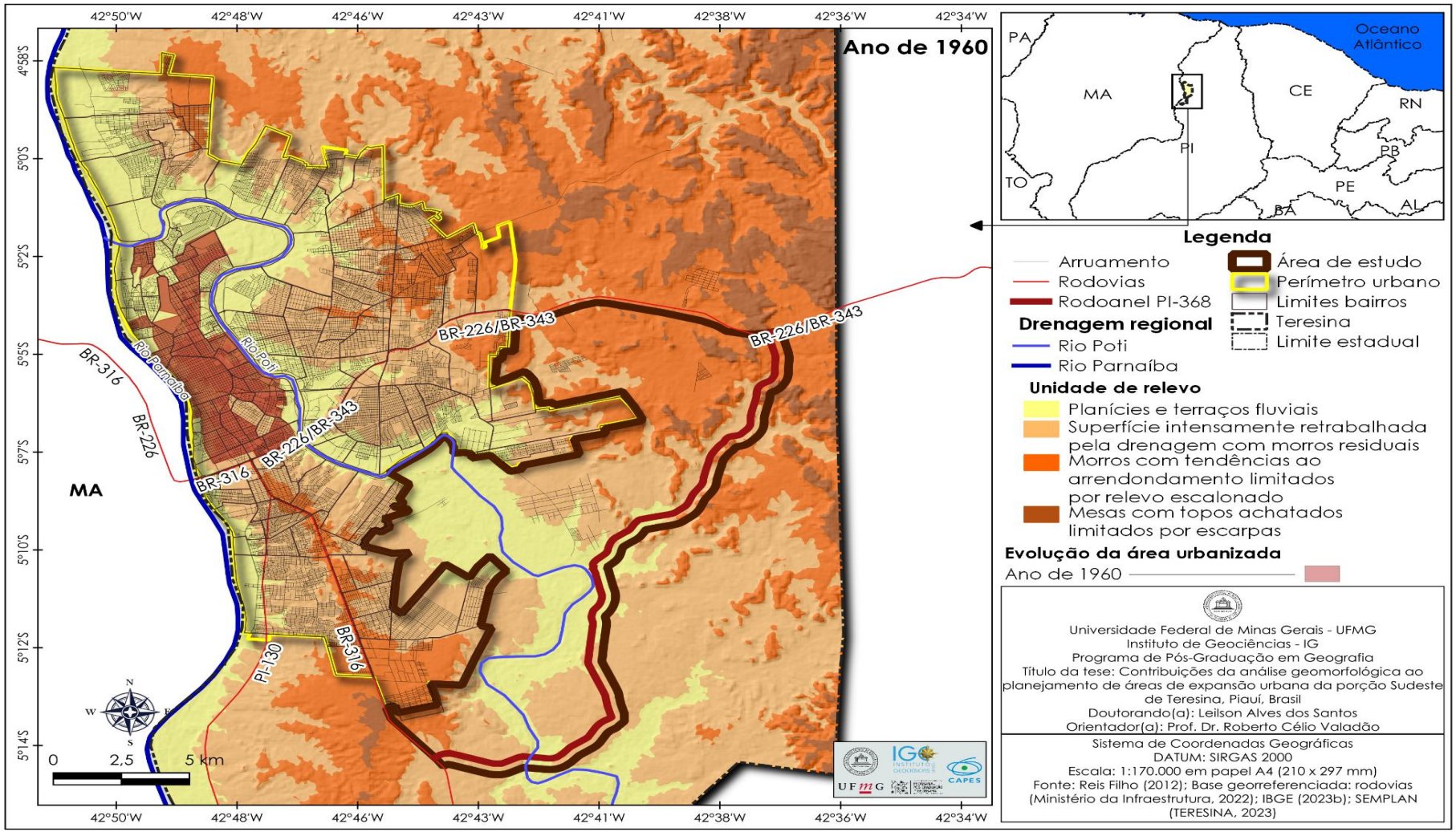
5.2 Entre planícies, terraços e morros: por onde se estabeleceu a ocupação urbana de Teresina?

A capital da Província do Piauí, até meados do século XX, era a cidade de Oeiras, situada no semiárido e de difícil comunicação com as demais cidades importantes da época, como, por exemplo, São Luís, Recife e Salvador. Para mudar tal realidade e motivar a integração do Piauí com seus vizinhos, o então presidente da Província, Conselheiro José Antônio Saraiva, resolveu transferir a capital para um local localizado numa posição geograficamente estratégica para o desenvolvimento econômico. A área escolhida situava-se entre a confluência de dois grandes rios, o Parnaíba e o Poti, um povoado denominado Vila do Poti, que já sofria com as inundações

sazonais desses dois rios. No entanto, o local para edificação da nova capital ficaria à montante da confluência do Poti no Parnaíba, para evitar as inundações sazonais – uma área de relevo mais plano e elevado, a chapada do corisco[5] (Figura 32).

[5] É uma forma de relevo que se caracteriza por ser uma extensa superfície plana, elevada em relação às áreas circundantes. No caso a chapada do Corisco recebe esse nome devido a intensa atração de descargas elétricas.

Figura 32 - Localização da ocupação urbana de Teresina, década de 1960, associada às unidades de relevo



Fonte: Elaboração do autor (2024)

Convém mencionar que áreas que apresentam morfologia plana e em cotas altimétricas mais elevadas são mais valorizadas pelos agentes imobiliários para construção de empreendimentos urbanos, pois são áreas que demandam obras menos complexas da engenharia para instalação de infraestrutura urbana, bem como também oferecem menos riscos e vulnerabilidades ambientais, como inundações, alagamentos e deslizamentos de terra (Sousa *et al*., 2014; Andrade *et al.,* 2014; Moreira; Perez Filho; Di Mauro, 2021).

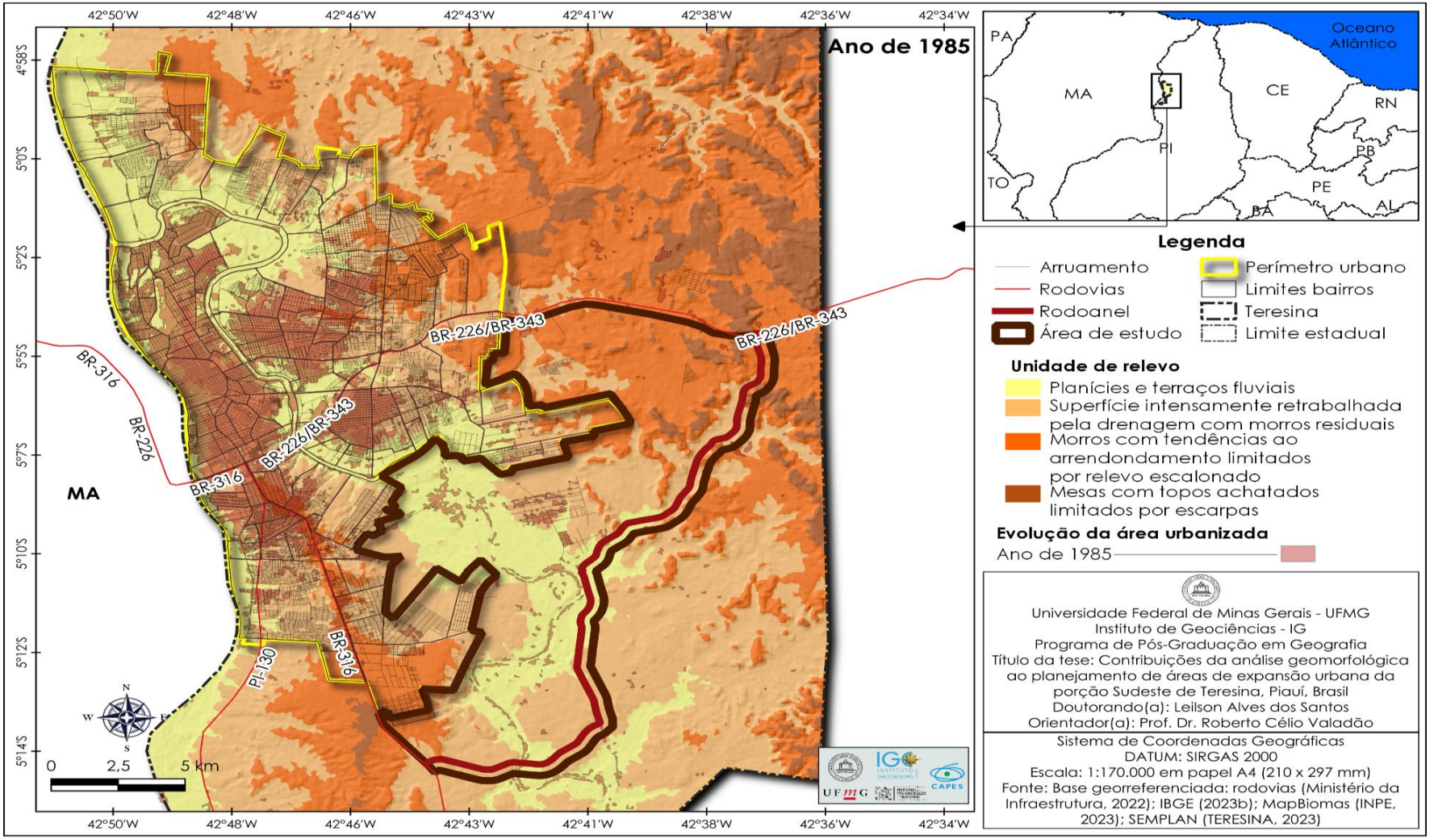
Com o crescimento populacional e o espraiamento do tecido urbano de Teresina, especialmente a partir da década de 1970, as demais áreas com feições de relevo distintas foram sendo ocupadas, as planícies e os terraços voltaram a ser ocupados por diversas partes da cidade, fundos de vales e áreas de vertentes côncavas, ou seja, aquelas propícias ao acúmulo de água. Ainda sobre essa questão, Nunes enfatiza que

> A expansão urbana, o baixo preço da terra e a quantidade de terrenos ociosos contribuíram para, principalmente entre as décadas de 1970 e 1990, o surgimento de conjuntos habitacionais e ocupações em espaços não planejados, desconsiderando, em muitos casos, as limitações físico-naturais destes espaços e que até hoje torna-se evidente nas construções mais recentes, mesmo com a existência de legislações e planos diretores (Nunes, 2022, p. 131).

Sousa *et al.* (2014) também relatam que, na porção do extremo leste da cidade de Teresina, surgiram diversas ocupações, como, por exemplo, as vilas Bandeirantes I, II e III, que se instalaram em áreas de relevo irregular, ocasionando o surgimento de erosão por voçorocamento nas vertentes mais íngremes e aterramentos de vales, o que tem resultado em alagamentos sazonais no período chuvoso.

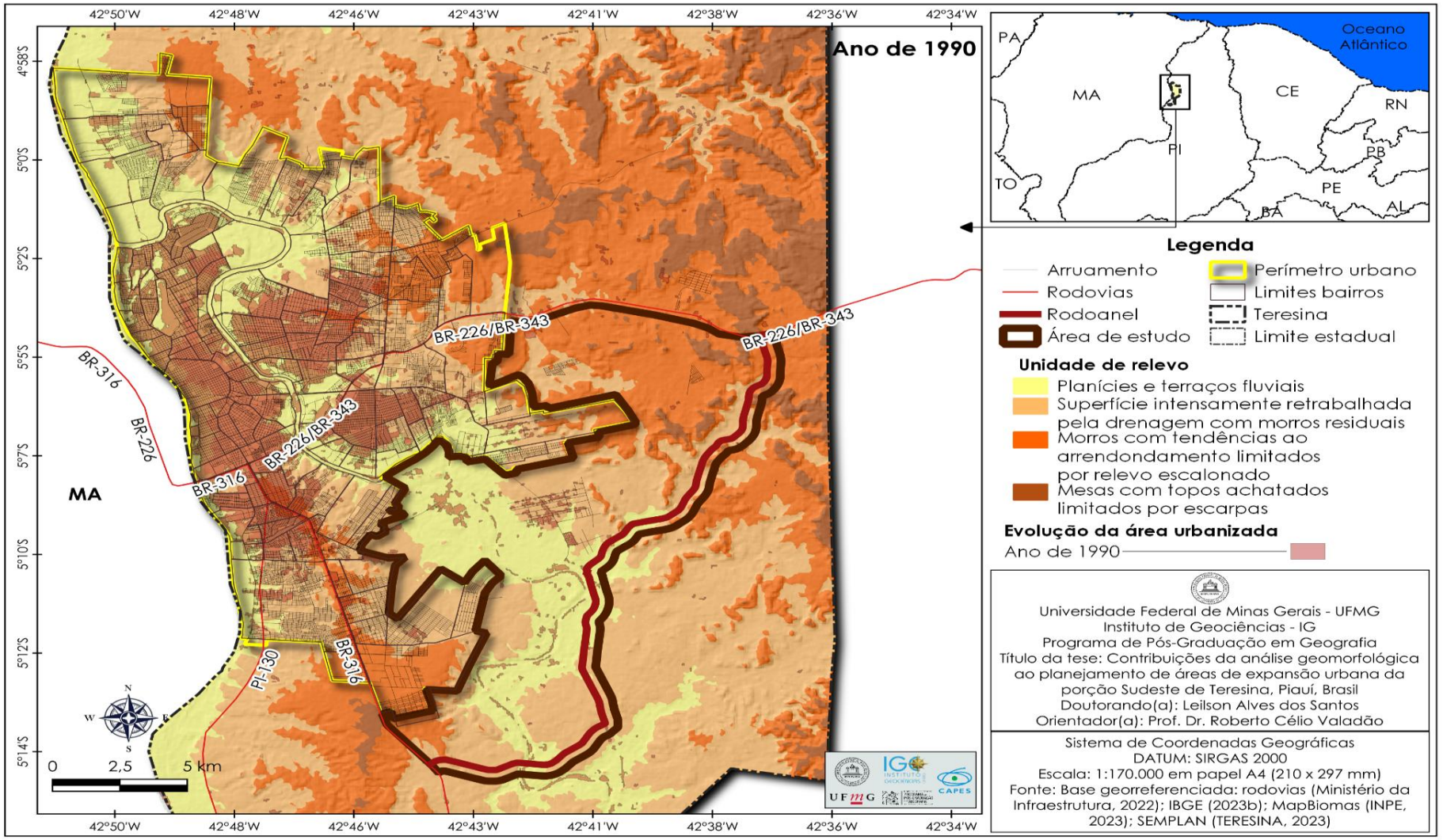
Nas Figuras 33, 34, 35, 36 e 37 pode-se observar o avanço do espraiamento urbano de Teresina sobre as unidades de relevo entre os anos de 1985 e 2022.

Figura 33 - Tecido urbano sobre o relevo em 1985



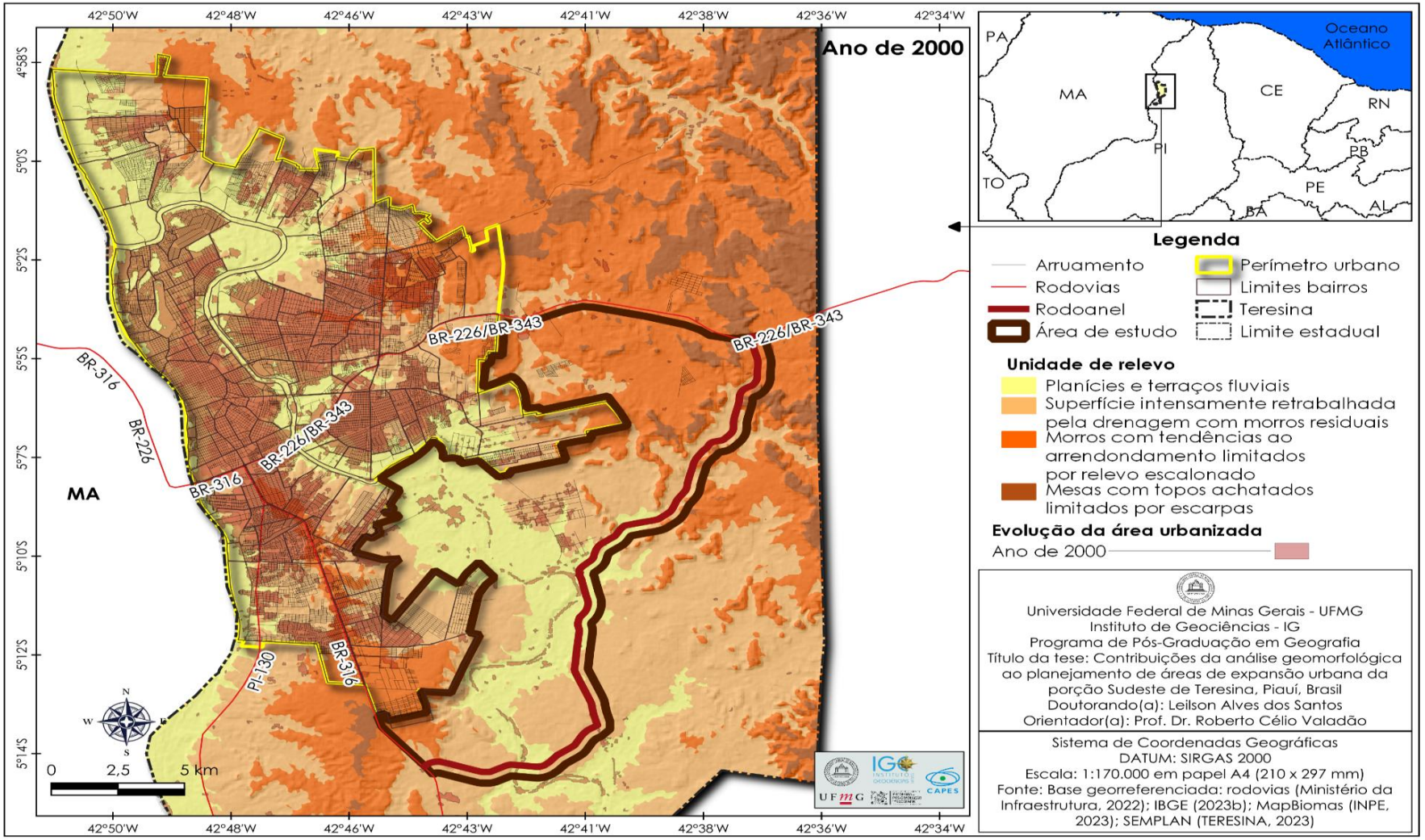
Fonte: Elaboração do autor (2024)

Figura 34 - Tecido urbano sobre o relevo em 1990



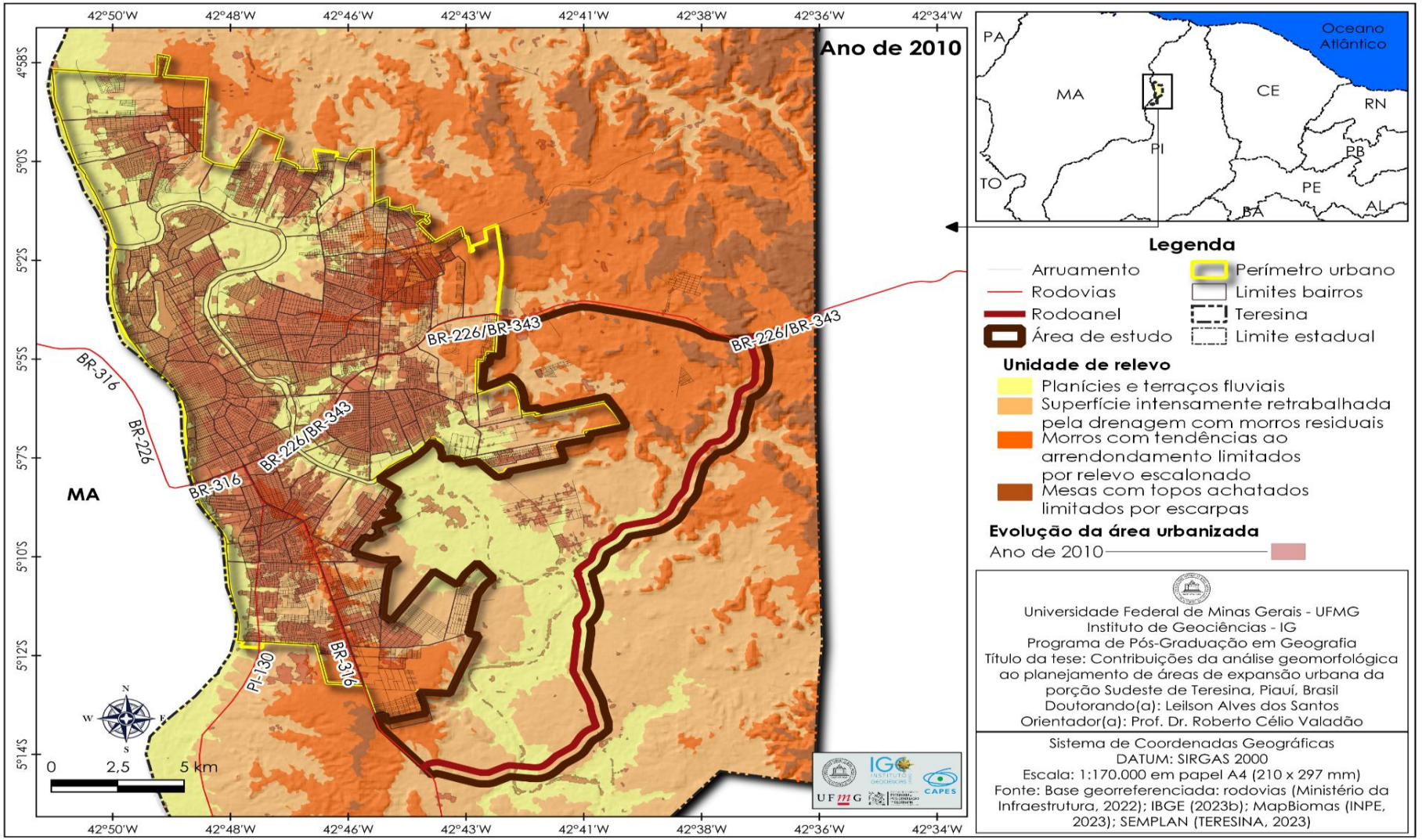
Fonte: Elaboração do autor (2024)

Figura 35 - Tecido urbano sobre o relevo em 2000



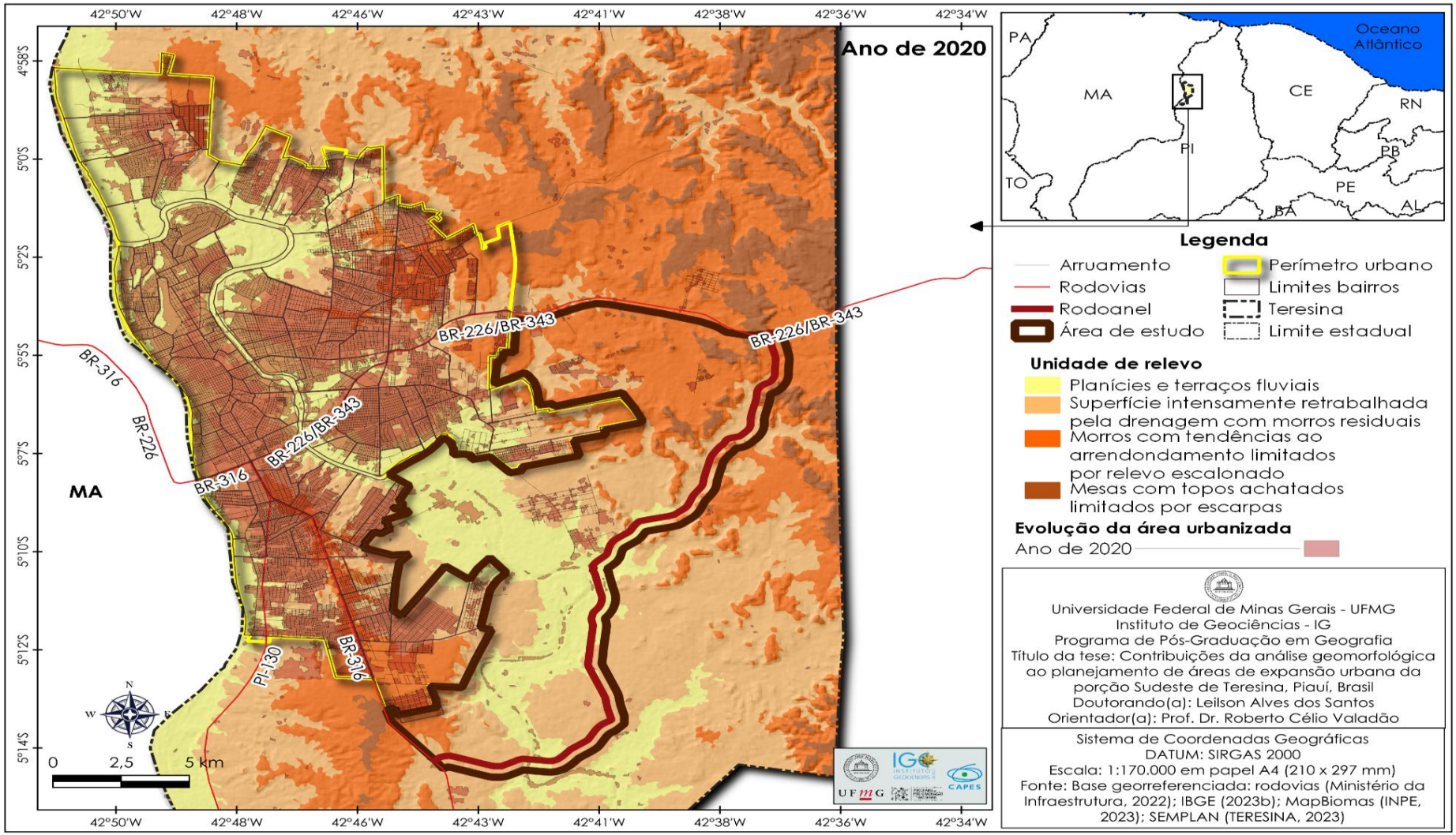
Fonte: Elaboração do autor (2024)

Figura 36 - Tecido urbano sobre o relevo em 2010



Fonte: Elaboração do autor (2024)

Figura 37 - Tecido urbano sobre o relevo em 2020



Fonte: Elaboração do autor (2024)

A ocupação urbana sobre as unidades de relevo sem o devido planejamento, especialmente com ocupação de encostas íngremes e áreas de planícies de inundação, pode resultar em deslizamentos de terra, erosão do solo, inundações e alagamentos, assim colocando em risco não apenas as estruturas construídas, mas também a vida e a segurança dos habitantes. Além disso, essas áreas geralmente se tornam locais de moradia para população de baixa renda, que não possui acesso à habitação segura em outras áreas da cidade, sendo, portanto, expostas a riscos socioambientais, como é caso visto em diversas áreas da cidade de Teresina.

5.3 Impactos do crescimento urbano sobre as unidades da geomorfologia

O crescimento populacional dos grandes aglomerados urbanos, principalmente desde meados do século XX, provocou a expansão da malha urbana nas cidades. Nas palavras de Dal'Asta, Reckziegel e Robaina (2005, p. 31), essa expansão ocorreu/ocorre "(...) sem critérios técnicos adequados, associada à segregação socioespacial na sociedade capitalista, estimulando a ocupação desordenada de áreas geomorfologicamente frágeis ao uso urbano", resultando na ocupação de áreas de encostas íngremes, planícies de inundação, fundos de vales dentre outras áreas com potenciais riscos ambientais. Assim, a análise geomorfológica é fundamental para a identificação e compreensão das características físico-ambientais das cidades.

No caso da cidade Teresina, que apresenta relevo predominante de planícies, terraços fluviais, fundos de vales e formas de vertentes íngremes na sua mancha urbana consolidada, a ausência de um planejamento adequado gera inúmeros problemas socioambientais para a população.

Teresina, assim como ocorreu em diversas cidades brasileiras, se expandiu de forma horizontal e, devido às suas características de relevo, no qual predominam as planícies e superfícies aplainadas, exigia um planejamento estratégico que pudesse prevenir os danos ambientais, principalmente aqueles ligados às inundações e alagamentos, tornando o sítio urbano com maior qualidade e até mesmo mais inclusivo. Lima (2002, p. 183) faz uma reflexão pertinente a esse respeito, dizendo que: "(...) ao deter o olhar sobre Teresina, em busca da sua verdadeira essência, é possível perceber a transformação causada pelo homem, em

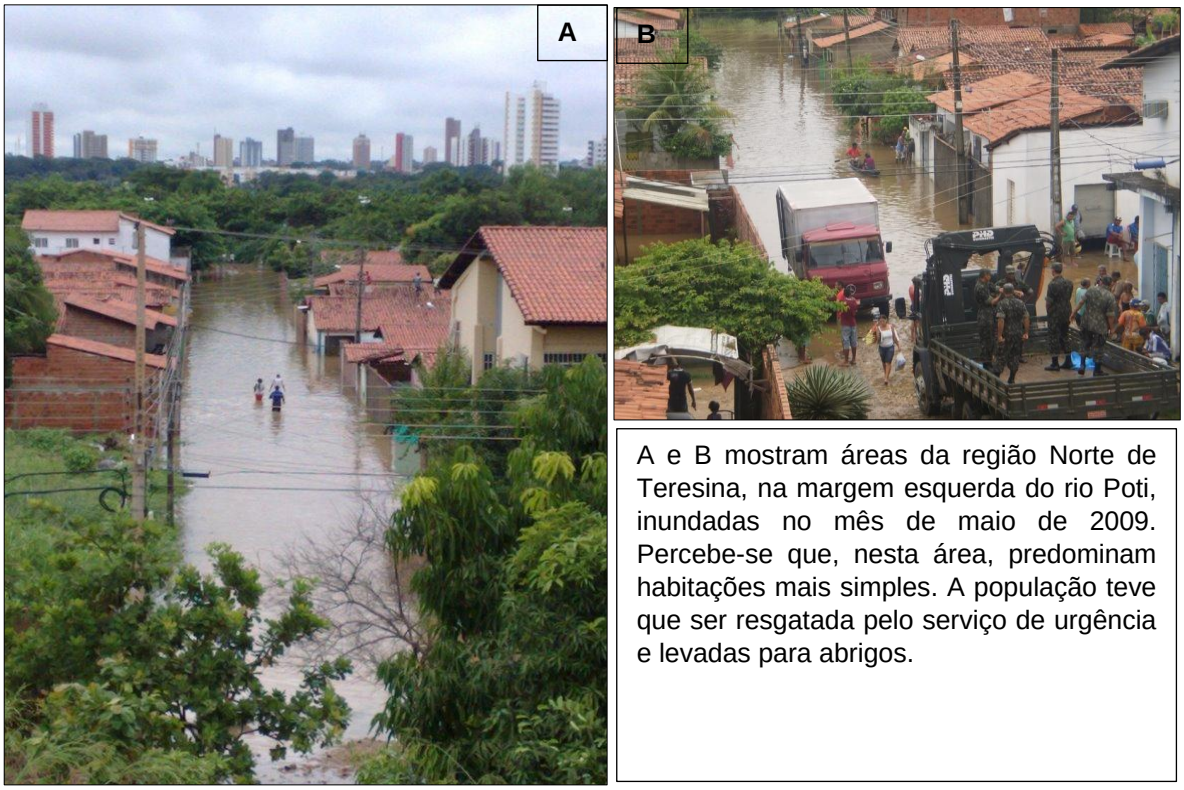
nome do progresso e da construção do urbano". A partir dessa citação, iremos traçar algumas discussões neste capítulo, buscando compreender como a ocupação inapropriada das formas de relevo e/ou sem os devidos cuidados prejudicam a busca por uma cidade sustentável.

Nas Figuras 38 e 39 é possível observar um dos episódios extremos de chuvas que provocaram alagamentos e inundações em diversas partes da cidade em maio de 2009, mês que registrou a maior taxa pluviométrica daquele ano, com quase 500 mm.

Figura 38 - Episódios excepcionais de inundação em vias de Teresina em 2009

Fonte: Acervo do autor (2009). Em A, inundação do rio Poti, na qual suas águas ultrapassaram a Avenida Raul Lopes, que também serve como dique de contenção de cheias extremas, e atingiram lojas do Riverside Walk Shopping. Em B, as águas pluviais alagaram a Avenida Jockey Club, margem direita do rio Poti, Região Leste, área nobre de Teresina.

Figura 39 - Inundação excepcional em vias da Região Norte de Teresina em 2009



A e B mostram áreas da região Norte de Teresina, na margem esquerda do rio Poti, inundadas no mês de maio de 2009. Percebe-se que, nesta área, predominam habitações mais simples. A população teve que ser resgatada pelo serviço de urgência e levadas para abrigos.

Fonte: Acervo do autor (2024).

Essas áreas compreendem as planícies e terraços fluviais do rio Poti que, devido ao fato de serem densamente ocupadas, no qual o rio Poti e seus afluentes principais, que estão sufocados pela urbanização, foram canalizados e até mesmo aterrados para dar espaço às obras da construção civil. A Avenida Raul Lopes, uma importante via da cidade situada na margem direita do Poti, funciona como dique[6] de contenção de inundação do rio, porém, em períodos com altos índices pluviométricos, a cota de inundação desse rio ultrapassa essa barreira antrópica.

Vale ressaltar que o poder público sempre negligenciou as características morfológicas e hidrográficas de Teresina, planejando os traçados das ruas perpendiculares ao leito dos rios, bem como cortes perpendiculares às curvas de nível. Desse modo, contribuiu para o aumento do escoamento superficial e consequente danos nas áreas de menor altitude, tais como inundações, alagamentos, dentre outros riscos e vulnerabilidades relacionados à ocupação de áreas impróprias para uso urbano (Monteiro, 1988; Nunes, 2022).

[6] Estrutura construída para controlar ou conter a água. Nas áreas urbanas são construídos ao longo de canais fluviais e, ao mesmo tempo, também servem como vias urbanas (ruas e avenidas).

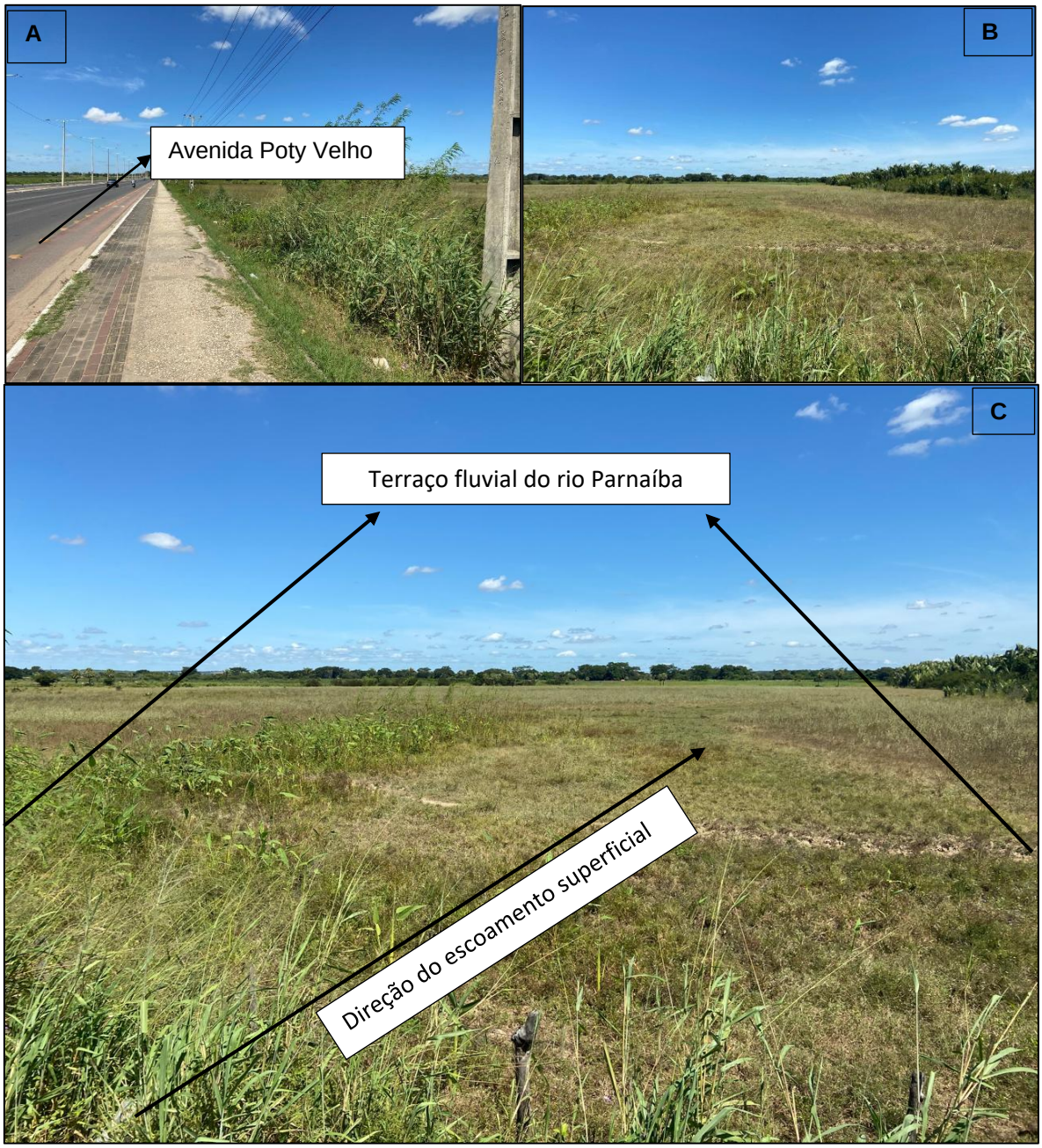
A esse respeito, Mendes (2000) enfatiza que os primeiros problemas de ocupação relacionados à drenagem começaram a aparecer com a expansão da cidade após a década de 1940 e o consequente investimento nos serviços de calçamento e aterramento de lagoas e riachos em diversas áreas da cidade, especialmente, da área central, com a ocupação das áreas de relevo mais rebaixado, como as atuais Avenida José dos Santos e Silva, Praça Landri Sales e Praça da Costa e Silva – Região Centro de Teresina.

Nunes (2022) explica que, devido aos problemas com a drenagem nessas áreas mais rebaixadas a partir de 1960, percebe-se um movimento de ocupação das áreas mais elevadas de Teresina, coincidindo com o *“boom”* de construções de conjuntos habitacionais da política nacional de habitação em áreas mais periféricas da cidade, como aqueles localizados nos bairros Itararé (região sudeste), Parque Piauí e Saci (região sul) e Mocambinho (região norte). Juntamente, aparece o fenômeno da favelização, com a ocupação de áreas de riscos e vulnerabilidades (Lima, 2010; Nunes, 2022).

Com relação à região norte, no limite do rio Poti, vale destacar que na morfologia original predominam áreas rebaixadas devido à confluência do rio Poti no Parnaíba, o que cria uma área com lagoas naturais, que eram preenchidas durante as cheias, e consequentemente a elevação do nível freático. Nos limites da planície de inundação do Poti com os bairros Santa Sofia, Mocambinho, São Francisco Norte e Poti Velho ergueu-se um dique para evitar que as águas do Poti inundassem esses bairros, o qual se prolonga até sua foz no rio Parnaíba. Outro dique foi erguido no prolongamento das Avenidas Boa Esperança e Maranhão para barrar as água do Parnaíba, assim evitando as inundações naquela área do baixo centro. Essa obra de engenharia alterou o limite topográfico e, portanto, a cota de inundação nesses trechos, de maneira que propiciou maior proteção à população. No entanto, comprometeu a retroalimentação das lagoas marginais.

Tendo em vista estas características geomorfológicas, as planícies e terraços têm sido direcionados para a agricultura intermitente, porém, é comum ver pela cidade áreas suscetíveis às inundações e/ou alagamentos (Figura 40) ocupadas por residências (Figura 41).

Figura 40 - Terraço fluvial do rio Parnaíba, Região Norte de Teresina



Em A, Avenida Poty Velho, importante via de integração da Região Norte de Teresina para além da Ponte Mariano Gaioso Castelo Branco. Em B e C, terraço fluvial do rio Parnaíba destinado à pastagem e à agricultura intermitente.
Fonte: Acervo do autor (2023).

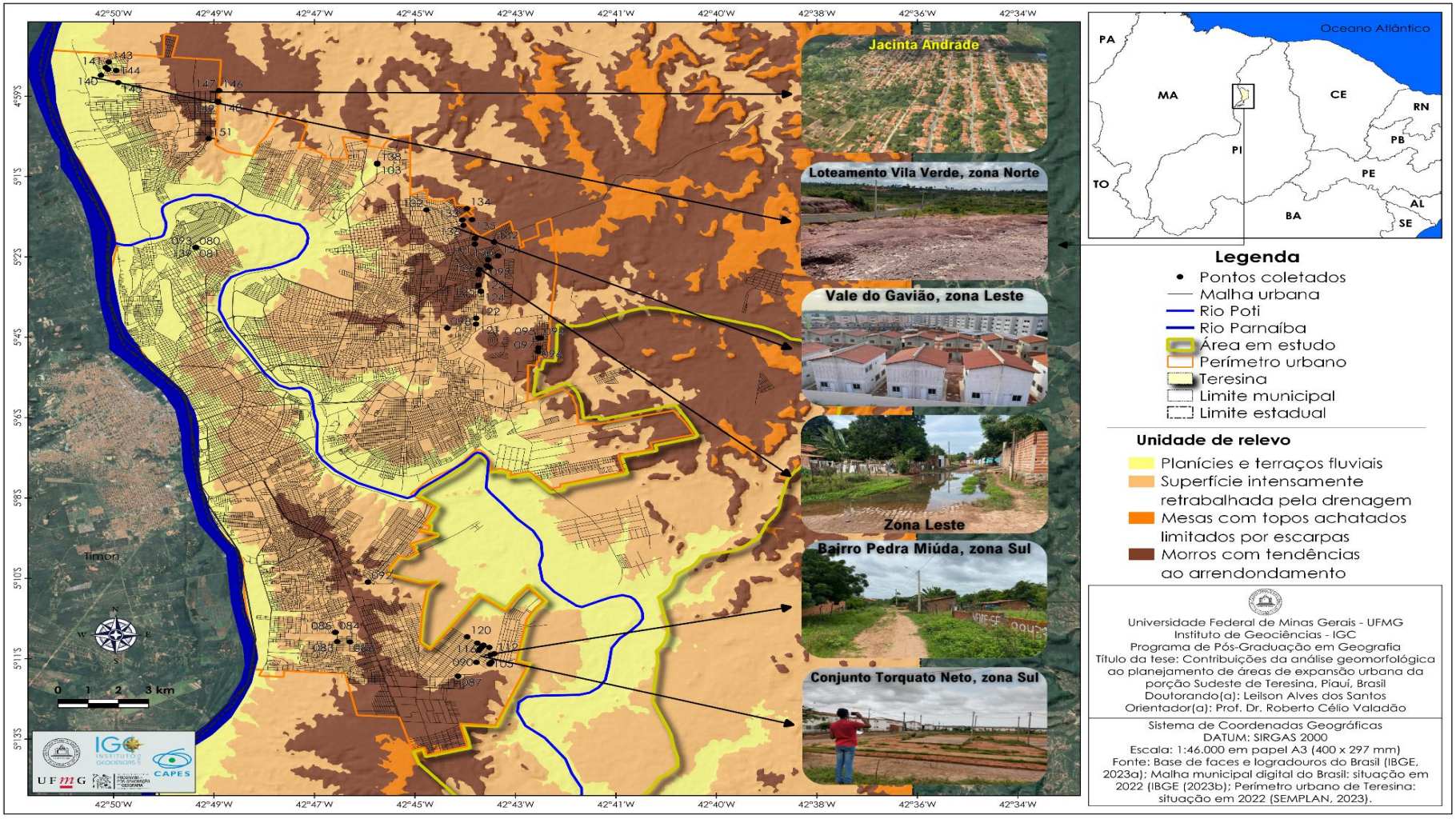
Figura 41 - Construções de casas populares em áreas de terraço fluvial à margem direita do rio Parnaíba margeando a Avenida Poty Velho

Fonte: Acervo do autor (2023).

É importante destacar que, no período chuvoso, a Avenida Poty Velho fica intrafegável em alguns trechos devido à ausência de sistema de drenagem eficiente para drenar o grande volume de água que escorre em direção ao rio Parnaíba. Por isso, a compreensão dos padrões de drenagem é fundamental na análise geomorfológica urbana, uma vez que a gestão adequada das águas contribui para prevenção de inundações e alagamentos. Também por essa razão a análise da topografia local deve ser considerada nos estudos referentes aos locais destinados à ocupação urbana.

O crescimento urbano e o próprio processo de urbanização, como já mencionado ao longo do texto, pode ser considerado um dos indicadores fundamentais do desenvolvimento econômico, ou seja, quanto mais urbanizado se torna um país, mais atividades econômicas – especialmente aquelas ligadas ao segundo e ao terceiro setor da economia – estão sendo desenvolvidas. No entanto, essas transformações no uso e na ocupação da terra têm provocado mudanças expressivas na paisagem e na cobertura do solo das áreas urbanas (Mohapatra; Pani; Sharma, 2014). Assim, a expansão urbana deveria considerar as características do relevo do terreno local, pois o relevo se transforma conforme o planejamento e/ou a falta dele para atender às necessidades da construção civil. Na Figura 42, pode-se observar que o espraiamento da mancha urbana de Teresina sobre as unidades de relevo, especialmente, com a construção de conjuntos habitacionais populares, bem como loteamentos privados.

Figura 42 - Mancha urbana de Teresina relacionada com as unidades de relevo

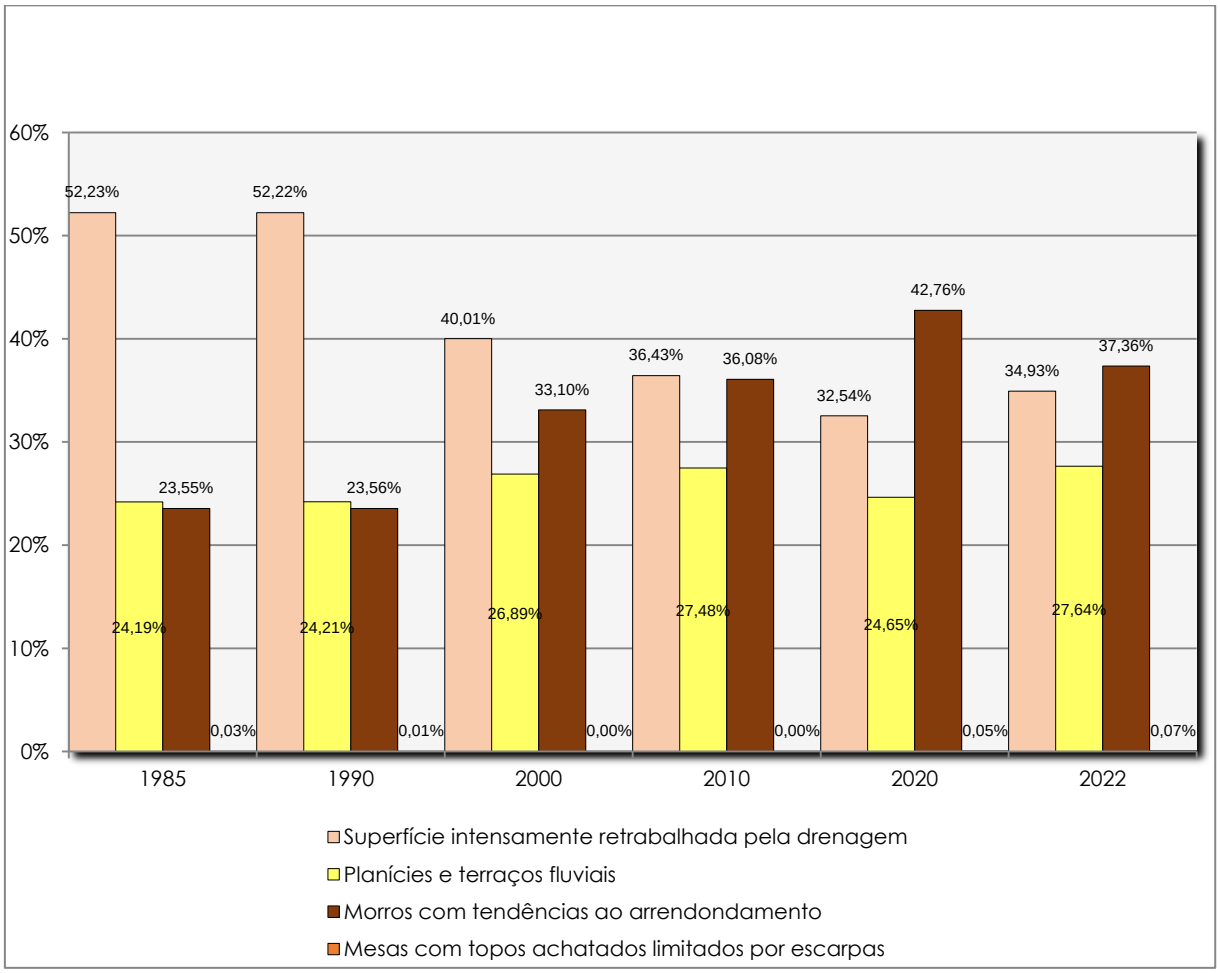


Fonte: Elaboração do autor (2024)

No vetor norte, entre os pontos 140 e 144, foram marcados em loteamento privado, localizado no bairro Chapadinha, instalado sobre as Superfícies Intensamente Retrabalhadas pela Drenagem. Já os pontos entre 146 e 149 demarcam áreas do Conjunto Habitacional Jacinta Andrade, que nomeia o bairro, que foi instalado na interface das Superfícies Intensamente Retrabalhadas pela Drenagem avançando sobre as unidades de Morros com Tendência ao Arredondamento. Essa área corresponde ao limite do extremo norte do perímetro urbano de Teresina.

No eixo do extremo leste, sudeste e sul percebe-se um avanço significativo da ocupação sobre o relevo de Morros com Tendência ao Arredondamento avançando para além do atual perímetro urbano. Todavia, embora esses morros estejam sendo rebaixados nessas áreas, é necessária uma atenção especial para planejamento devido à fragilidade ambiental natural e àq possibilidade de ocorrência de deslizamento de terra. O Gráfico 5, adiante, corrobora as informações visualizadas no mapa acima, no qual é possível observar uma tendência de ocupação dos Morros com Tendência ao Arredondamento notadamente a partir da primeira década do século XXI.

Gráfico 5 - Porcentagem da expansão urbana em relação às unidades geomorfológicas em Teresina, período de 1985 a 2022



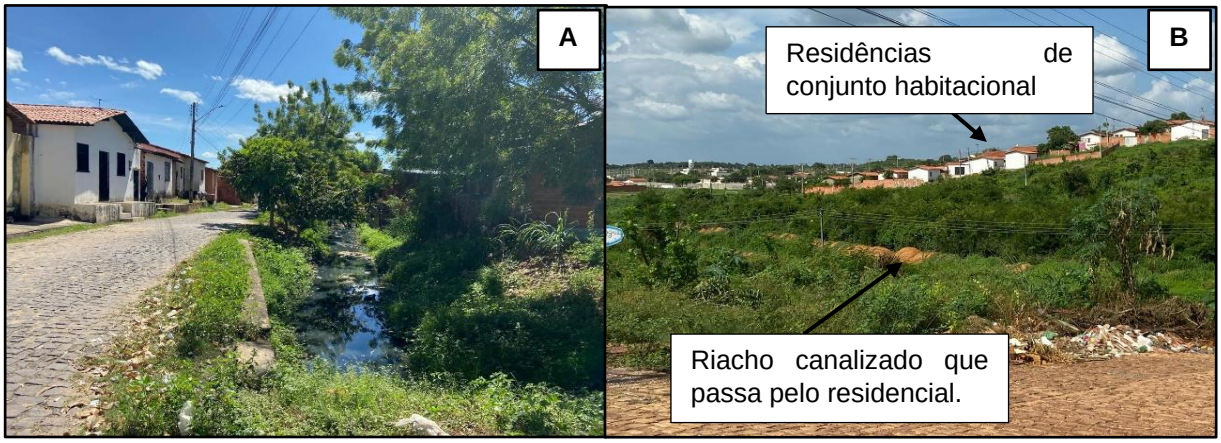
Fonte: Elaboração do autor (2024).

O rápido crescimento populacional acelerou a urbanização da capital piauiense. Este fato, aliado a um planejamento deficiente, tem dificultado que Teresina alcance o equilíbrio ambiental de forma sustentável, principalmente com a perda da paisagem natural e os problemas decorrentes da urbanização que transformaram significativamente os ambientes natural e construído. O desmatamento de extensas áreas verdes nas franjas da cidade para a construção de conjuntos habitacionais populares também atrai outras formas de ocupações do espaço urbano, como, por exemplo, residências precárias e a população carente de saneamento básico (Silva; Travassos, 2008).

Corroborando os autores supracitados, foi possível observar, nos pontos extremos da Teresina, áreas de plena expansão urbana, diversos conjuntos habitacionais e empreendimentos para outros fins instalados sem considerar as

características naturais – no caso o relevo, a drenagem, e, no seu entorno, diversas moradias precárias. Isso significa, portanto, que os problemas enfrentados atualmente pela população teresinense tendem a se intensificar nessas novas áreas, inclusive ampliando também os impactos para além das inundações e alagamentos que assolam a cidade há bastante tempo – fato este que tem resultado em danos à qualidade de vida da população (Figuras 43, 44 e 45).

Figura 43 - Ocupações urbanas em dois pontos distintos da Teresina, regiões norte e leste



Em A, Vila Mocambinho, cuja ocupação remonta ao início da década de 1990, e onde se observam residências situadas ao lado de um canal de alimentação de lagoas marginais do rio Poti na região norte de Teresina. Durante o período chuvoso, geralmente essas lagoas transbordam, provocando inundações nas moradias. Em B, Vale do Gavião, cuja ocupação mais intensa remonta ao início da década de 2000, localizado na região leste. No primeiro plano vê-se um riacho canalizado e casas dos conjuntos habitacionais. Devido à deficiência do serviço de drenagem, essa área também sofre com inundações durante o período chuvoso.
Fonte: Acervo do autor (2023).

Figura 44 - Residencial Torquato Neto e as moradias do entorno, região sul

Em A, Residencial Torquato Neto. Em evidência, um cruzamento de ruas destruídas pela ação das águas da chuvas devido à ausência de serviço de drenagem adequado. Este cenário é observado em diversas ruas do residencial. Em B e C, destaque para ponte improvisada sobre um canal de drenagem e moradias que surgiram em decorrência de implantação de alguns residenciais, por exemplo, o Torquato Neto e o Portal da Alegria, localizados nessa porção da região sul de Teresina.
Fonte: Acervo do autor (2024).

Figura 45 - Residencial Jacinta Andrade, extremo norte de Teresina

Em A, rua prof. Emérito, limite sul do Residencial Jacinta Andrade, com destaque para riacho assoreado devido à forte pressão antrópica no seu entorno. Em B, área destinada a futuros loteamentos. Esta área está inserida na interface das Superfícies Intensamente Retrabalhadas pela Drenagem e os Morros com Tendência ao Arredondamento.
Fonte: Acervo do autor (2024).

A interação entre os diferentes aspectos da expansão urbana e dinâmica do meio natural causam efeitos adversos nas características geomorfológicas da área em questão, como alterações nos cursos d'água, que se tornam mais assoreados, bem como no sistema de retroalimentação de aquíferos devido às extensas áreas impermeabilizadas. Tudo isso favorece os episódios de inundações, alagamentos e deslizamentos de terras, como os registrados em Teresina, com destaque para o último, que tem se tornado cada vez mais frequente na cidade, com a ocupação das áreas de vertentes íngremes.

Nesse contexto, os planos diretores são fundamentais para direcionar as ações a serem implementadas, no entanto, no caso de Teresina, embora existam diversos planos de desenvolvimento urbanístico já elaborados para a cidade, o que se percebe é a ineficiência de uma aplicabilidade efetiva, como o Teresina Agenda 2015 (Plano de Desenvolvimento Sustentável), no qual se prevê que a expansão da cidade deve considerar os aspectos físicos. Nesse âmbito, deveriam ser considerados a geomorfologia e os aspectos climáticos e ambientais.

Como já mencionado anteriormente, o PDOT não prevê a destinação de novas áreas para ocupação urbana fora do atual perímetro urbano de Teresina delimitado pela Lei 5.757, de 3 de junho de 2022. O Plano Diretor em vigor na cidade tem por objetivo a ocupação dos vazios urbanos. No entanto, acreditamos que Teresina precisa voltar seu olhar para a área compreendida entre o atual perímetro urbano e o rodoanel na delimitação entre as rodovias BR 343 e BR 316.

6 CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS E POTENCIAL DE OCUPAÇÃO URBANA FUTURA NA PORÇÃO LESTE-SUDESTE DE TERESINA

6.1 Tendência de expansão urbana de Teresina em direção ao rodoanel

O planejamento é essencial para se obter resultados satisfatórios em qualquer área do conhecimento e, no que se refere ao planejamento urbano, esta ação pode evitar problemas futuros para a população. Para Girão e Corrêa (2004), o planejamento urbano engloba firmemente a espacialidade, uma vez que incide na implementação de ações em determinado território, independentemente da escala, seja ela da micro à macroescala, cabendo à equipe de planejadores considerar os aspectos intrínsecos aos sistemas ambientais físicos e socioeconômicos. Dessa maneira, "(...) o conhecimento geomorfológico torna-se um instrumento de incontestável importância para o planejamento e tomadas de decisão relativas à expansão urbana" (Girão; Corrêa, 2004, p. 45).

A instalação do rodoanel de Teresina criou um atrativo para novas ocupações na porção leste/sudeste da cidade, tal como evidenciado no Gráfico 3, apresentado no Capítulo 2, o qual demonstra que a região Leste da cidade apresentou crescimento de sua ocupação entre 2020 e 2022. Girão e Corrêa afirmam, ainda, que "(...) principalmente nas periferias das cidades, a necessidade do planejamento se faz de grande utilidade para implementação de formas de ocupação viáveis do ponto de vista ambiental e sobre os novos espaços no perímetro urbano" (*Ibidem*, p. 46).

O atual Plano Diretor de Ordenamento Territorial de Teresina (PDOT), em vigência desde 2019, prioriza a ocupação dos vazios existentes dentro do atual perímetro urbano. No entanto, faz-se necessário voltar o olhar e o planejamento para a área compreendida entre o atual limite urbano e o rodoanel da cidade como área potencial de ocupação no futuro breve.

Ferrandans *et al.* (2017) e Gonçalves e Ribeiro (2020) discorrem que a construção de anéis rodoviários em Barcelona (Espanha) e Guimarães (Portugal), embora estes tenham sido implementados com o objetivo de minimizar impactos do tráfico automotivo nas áreas urbanas centrais, teve um efeito que foi além, a ponto de influenciar o aumento da concentração das ocupações no entorno dessas

rodovias, que, no momento da sua implantação, estavam distantes da mancha urbana. Na atualidade, esses entornos já foram incorporados à malha urbana dessas cidades (Gonçalves; Ribeiro, 2020).

No Brasil, esse cenário se repete em diversas cidades, especialmente naquelas situadas em regiões metropolitanas, como é o caso de São Paulo e Belo Horizonte, onde essas rodovias atualmente se encontram cercadas por grande diversidade de ocupações urbanas, tornando-se áreas densamente povoadas. No caso de Teresina, acredita-se que esse cenário será, também, uma realidade a médio e longo prazo, tendo em vista a dinâmica socioeconômica que uma rodovia dessa magnitude proporciona. Por essa razão, agentes públicos devem direcionar o olhar para essa área a fim de assegurar a qualidade ambiental da população que ali se instalará, evitando os já conhecidos problemas de alagamentos e inundações, mas também outros problemas, como deslizamentos de terra decorrentes das características de seu relevo. Outra observação importante diz respeito às áreas destinadas ao modal de transporte, com vias largas e com eficiente sistema de drenagem das águas pluviais.

6.2 Análise dos componentes biofísico-naturais frente à ocupação urbana de Teresina

6.2.1 Identificação de áreas de Proteção Permanente (APPs), de Uso Restrito (AUR) e de Reserva Legal (RL)

As áreas rurais, por força da legislação vigente instituída pelo Código Florestal Brasileiro (Lei n.º 12.651/2012), devem atender a algumas especificidades, como o Cadastro Ambiental Rural (CAR), a fim de regularização das propriedades e definir as áreas que merecem maior atenção e proteção ambiental. Assim, são definidas três categorias principais direcionadas para conservação e proteção ambiental, conforme pode ser observado no Quadro 11.

Quadro 11 - Categorias de proteção ambiental no CAR

<table>
<tr><th>Categorias</th><th>Características</th></tr>
<tr><td>Áreas de uso restrito – AUR
Lei 12.651/2012</td><td>Áreas que possuem inclinação entre 25º e 45º. É permitido o manejo florestal sustentável e atividades agrossilvipastoris. É vetada a conversão de novas áreas, exceto em casos de utilidade pública e interesse social.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Reserva Legal – RL
Lei 12.651/2012</td><td>É uma área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa.</td></tr>
<tr><td>
<table>
<tr><th>Área</th><th>Percentual da ARL</th></tr>
<tr><td>Floresta</td><td>80%*</td></tr>
<tr><td>Cerrado</td><td>35%</td></tr>
<tr><td>Campos Gerais</td><td>20%</td></tr>
<tr><td>Demais regiões</td><td>20%</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Área de Preservação Permanente
Lei 12.651/2012</td><td>É uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.</td></tr>
</table>

*exceto propriedades localizadas na floresta Amazônica que desmataram entre 1989 e 1996, o percentual é de 50%.
Fonte: Organizado pelo autor (2024) a partir de Brasil (2012).

Essas áreas de proteção ambiental desempenham função crucial na conservação ambiental e manutenção dos ecossistemas, especialmente aqueles diretamente ligados aos recursos hídricos, prevenindo o assoreamento dos canais fluviais, além de funcionarem como corredores ecológicos. As intervenções humanas para proteger esses ambientes envolvem uma série de ações, as quais devem considerar, em especial, a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, desde as nascentes até a foz (Guerra; Cunha, 1995; Ross, 2012).

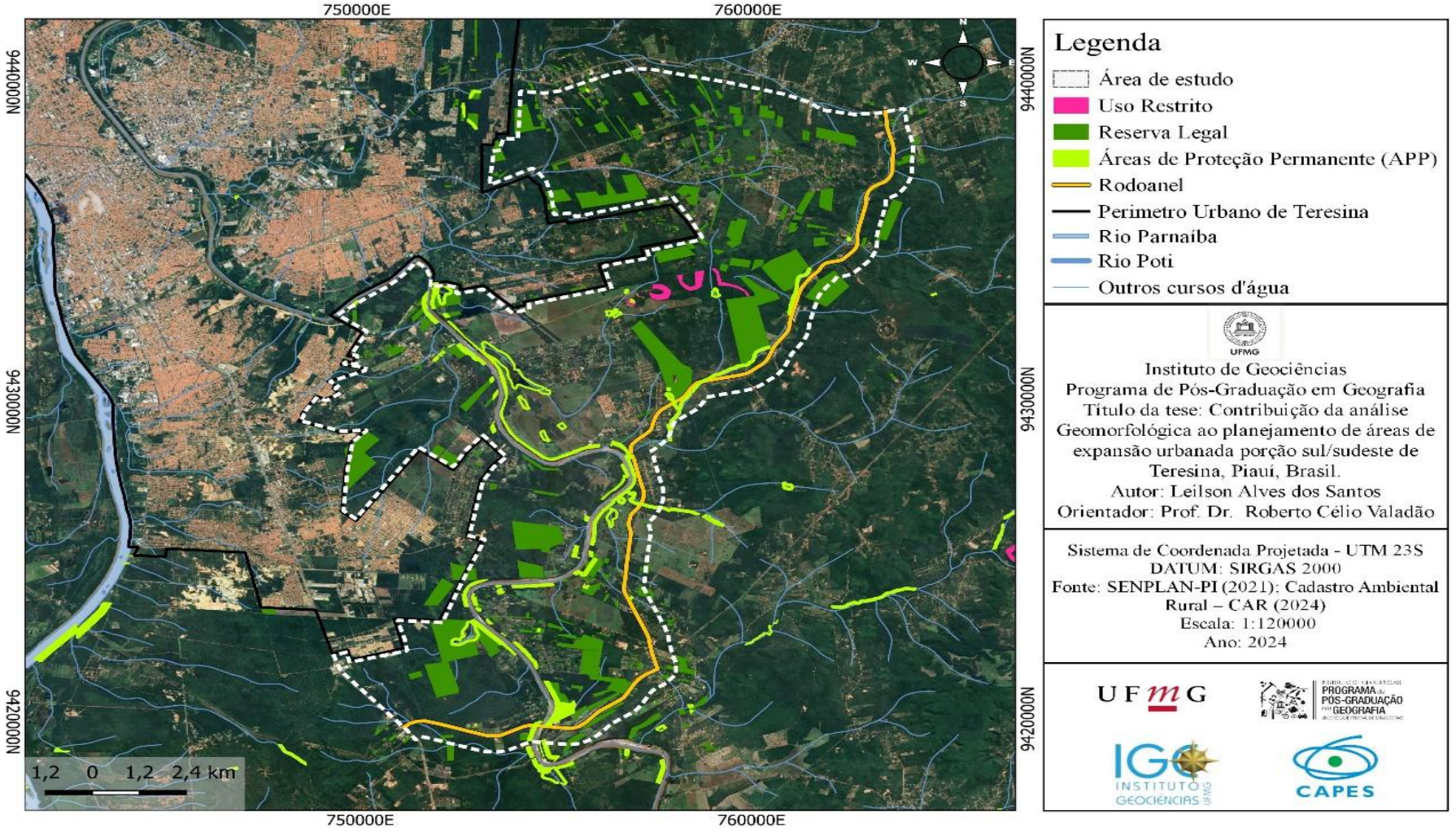
A Lei n.º 12.651/2012 prevê a possibilidade do manejo sustentável nessas áreas considerando as seguintes situações e oportunidades:

> I - É livre a coleta de produtos florestais não madeireiros, tais como frutos, cipós, folhas e sementes, devendo-se observar: 1. os períodos de coleta e volumes fixados em regulamentos específicos, quando houver; 2. a época de maturação dos frutos e sementes; 3. técnicas que não coloquem em risco a sobrevivência de indivíduos e da espécie coletada no caso de coleta de flores, folhas, cascas, óleos, resinas, cipós, bulbos, bambus e raízes (Art. 21).
> II – O manejo sustentável para exploração florestal eventual sem propósito comercial, para consumo no próprio imóvel, independe de autorização dos órgãos competentes, devendo apenas ser declarados previamente ao órgão ambiental a motivação da exploração e o volume a ser explorado, a exploração anual ficando limitada a 20 metros cúbicos (Art. 23).
> III- O manejo florestal sustentável da vegetação da Reserva Legal com propósito comercial depende de autorização do órgão competente e deverá atender as seguintes diretrizes e orientações (Art. 22): 1) não descaracterizar a cobertura vegetal e não prejudicar a conservação da vegetação nativa da área; 2) assegurar a manutenção da diversidade das espécies; 3) conduzir o manejo de espécies exóticas com a adoção de medidas que favoreçam a regeneração de espécies nativas.

No entanto, a exploração dessas áreas depende de licenciamento pelo órgão competente do SISNAMA, mediante aprovação prévia de Plano de Manejo Florestal Sustentável que contemple técnicas de condução, exploração, reposição florestal e manejo compatíveis com os variados ecossistemas a serem formados pela cobertura arbórea (Brasil, 2012).

Contudo, o desenvolvimento de atividades em uma Área de Preservação Permanente, como de uso consolidado, depende de boas práticas de conservação de solo e água, pois trata-se de áreas com diversas fragilidades ambientais. Em Teresina não foram encontrados, junto aos órgãos competentes Semam, Semplan e Prodater, as delimitações de áreas de conservação na zona rural do município, de modo que utilizamos, nessa delimitação, os dados disponibilizados no Cadastro Ambiental Rural (Figura 46). Isso demonstra a discordância com as políticas de conservação ambiental, o que acaba por favorecer o avanço e a ocupação indiscriminada de topos, encostas e fundos de vale.

Figura 46 - Áreas de Proteção Ambiental (APP) na área de estudo registradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR)



Fonte: Cadastro Ambiental Rural (2024)

Existem diversas áreas de reserva legal no polígono da área de estudo. A maioria delas corresponde a pequenas propriedades que, gradativamente, serão convertidas em loteamentos e direcionadas para a ocupação à medida que a pressão do setor imobiliário se intensificar. As áreas de proteção permanente foram delimitadas ao longo de cursos d´água e topos de morros, no entanto, verificou-se em campo que tais áreas não têm recebido ações adequadas, que garantam a preservação dos corpos hídricos. Um exemplo dessa inadequação é o fato de parte do traçado do rodoanel margear o canal de um riacho.

Cabe destacar que a pressão urbana sobre os recursos naturais, em especial aquela relacionada à expansão das cidades, tem gerado impactos significativos que comprometem a integridade e a sustentabilidade ambiental. O crescimento desordenado dos assentamentos humanos em áreas destinadas à preservação ambiental tem resultado na implantação de uma série de consequências negativas ao meio ambiente, o que reflete diretamente na qualidade de vida da população residente nas áreas urbanas.

Em Teresina, a ineficiência do planejamento adequado das áreas susceptíveis à ocupação futura pela população urbana pode intensificar os problemas já conhecidos na cidade, com destaque para os alagamentos e inundações, como também comprometer a qualidade ambiental dos cursos d´água que poderiam ser empregados no abastecimento futuro da cidade, além de preservar a vegetação que contribuiria para a manutenção do microclima local. Além disso, a ocupação irregular de áreas que deveriam ser protegidas afeta de forma mais acentuada as populações socialmente vulneráveis e geram tensões sociais (Lima, 2010).

6.2.2 Uso e ocupação na área de estudo

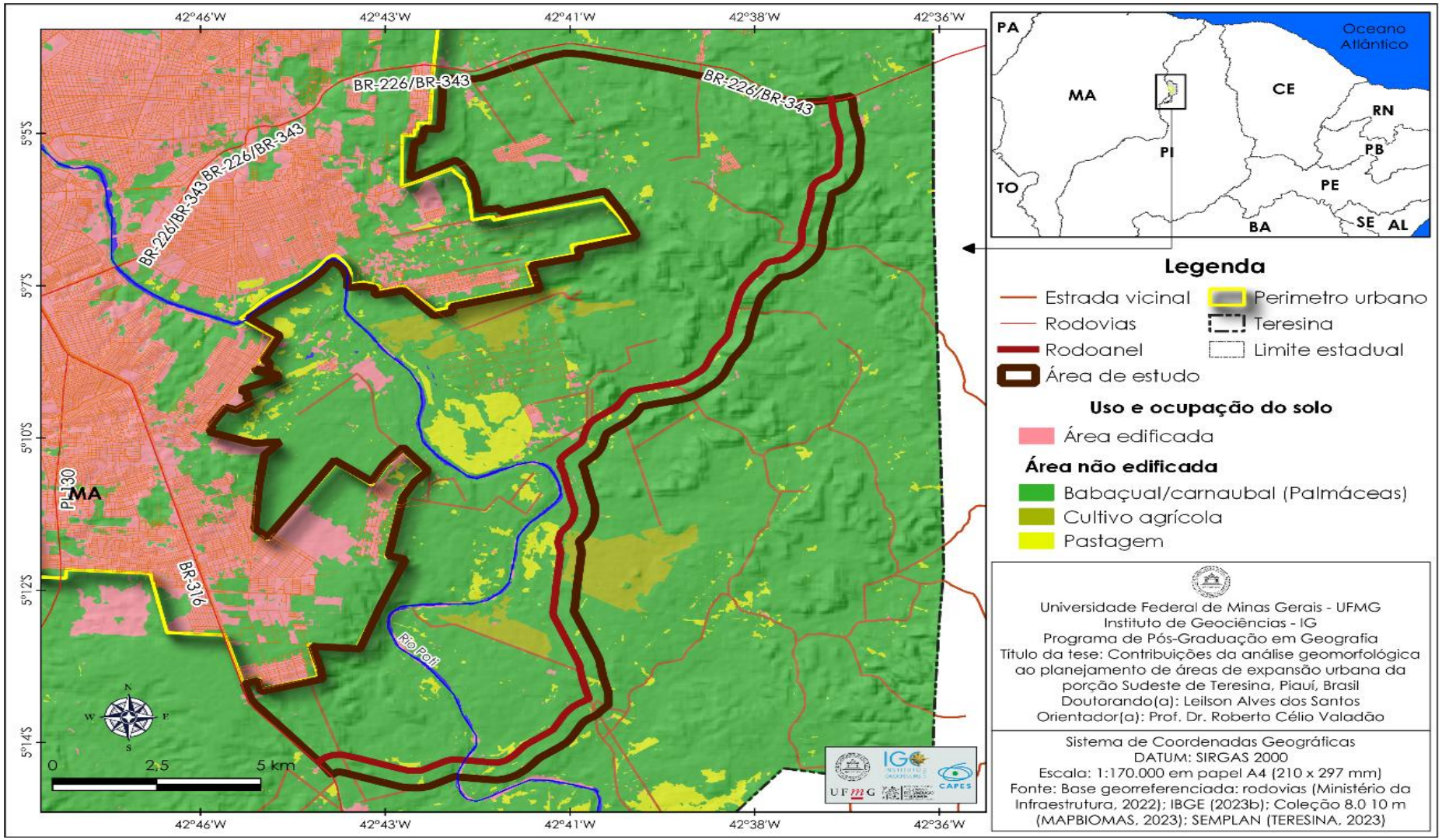
O principal agente transformador do espaço geográfico é o ser humano, sendo que suas interferências resultam em problemas das mais diversas proporções, podendo ser até mesmo ser irreversíveis, principalmente aquelas relacionadas à exploração dos recursos naturais (Fonseca; Fonseca, 2012).

Em se tratando das cidades, a análise do uso e ocupação do terreno é fundamental para o planejamento urbano e ambiental, pois permite identificar

padrões de crescimento, avaliar impactos ambientais e sociais, além de prever tendências que podem influenciar na qualidade de vida da população. Essa análise se torna, portanto, crucial para a tomada de decisões no que se refere à conservação de áreas naturais – corpos hídricos, áreas de matas e encostas íngremes –, ao desenvolvimento de infraestrutura e, sobretudo, ao direcionamento para os avanços da urbanização. Nesse contexto, destaca-se o mapeamento de áreas de riscos que pode contemplar, por exemplo, zonas susceptíveis a inundações e/ou deslizamentos, de modo a subsidiar intervenções preventivas que garantam segurança e qualidade de vida da população.

Na área de estudo se observa a predominância de vegetação de palmáceas, típica da mata dos cocais, como o babaçu (*Attalea speciosa*) e a carnaúba (*Copernicia prunifera*), de cultivos agrícolas e de pastagens destinadas à criação de gado. Extensões territoriais menores correspondem a áreas já edificadas (Figura 47, 48 e 49).

Figura 47 - Uso e ocupação do terreno da área de estudo



Fonte: Elaboração do autor (2024)

Figura 48 - Vegetação predominante de palmáceas nas margens do rodoanel de Teresina

Fonte: Acervo do autor (2024).

Figura 49 - Área agricultável situada às margens do rodoanel de Teresina

Fonte: Acervo do autor (2024).

Em campo também foi possível verificar a demarcação de diversos loteamentos destinados à especulação imobiliária. Verificou-se, ainda, que as áreas edificadas estão avançando para além do limite do perímetro urbano, o que reforça a hipótese de que o rodoanel tende a intensificar as ocupações nessa área.

Como o atual PDOT não sinaliza a ocupação dessas áreas, o controle ambiental fica a desejar, sem um instrumento/legislação que assegure o parcelamento do solo de forma adequada no tecido periférico da cidade, o qual avança mediante a ocupação de patamares planos e encostas na medida em que avança em direção ao rodoanel.

A compactação do solo e a ausência de sistema de drenagem eficiente aumentam o escoamento superficial, resultando em processos erosivos, como observado no loteamento Villa Imperial, localizado na região leste de Teresina, nas proximidades do atual perímetro urbano (Figura 50). Cabe destacar que o mapeamento geomorfológico é primordial no planejamento urbano, pois pode direcionar o processo de ocupação da superfície, visando ao menor impacto da sociedade sobre os recursos naturais.

Figura 50 - Processo erosivo no loteamento Villa Imperial – região leste de Teresina

Fonte: Acervo do autor (2024).

No Piauí, a Lei n.º 3.888, de 28 de setembro de 1983, proíbe a derrubada das palmáceas em todo o território estadual, inclusive nas zonas rurais. No entanto, com o avanço do processo de expansão da urbanização de Teresina, especialmente no sentido horizontal, verifica-se a não obediência da referida Lei, o que se traduz no

aumento do desmatamento de áreas com predominância dessas palmáceas para dar lugar a condomínios e loteamentos, seguindo a tendência de bairros planejados.

A pressão das ocupações urbanas sobre as áreas de preservação também pode gerar conflitos socioambientais devido à presença de assentamentos e de áreas de mineração de areia e seixo, pois envolve as comunidades locais, governos e a iniciativa privada que, em geral, detêm o capital para transformar o espaço, em especial quando se trata de especulação imobiliária. Ao mesmo tempo, surgem os bairros planejados e, no entorno deles, se aglomeram ocupações susceptíveis a riscos socioambientais, que podem gerar disputas entre o uso do solo e a demanda de políticas de ordenamento urbano.

Em Teresina, essa realidade fica evidente quando percorremos as áreas periféricas da cidade que estão loteadas e demarcadas pela especulação imobiliária, mas que, ao mesmo tempo, são ocupadas por parte da população socialmente vulnerável. Cabe destacar que o espaço urbano de Teresina, desde os primórdios de sua ocupação, esteve vinculado à sua morfologia, de tal modo que as áreas de relevo plano e mais elevado foram destinadas à burguesia da cidade, enquanto a população mais pobre ocupava áreas de relevo em cotas altimétricas mais baixas.

A expansão com pouca preocupação com um planejamento urbano e ordenamento territorial eficientes tem promovido a degradação de áreas vitais para a manutenção da qualidade de vida da população. Assim, torna-se imprescindível a implantação de políticas públicas que promovam, de fato, o uso sustentável dos terrenos, em especial aqueles com tendência à ocupação urbana futura, como é o caso do recorte espacial em análise neste trabalho.

6.2.3 Rede hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma unidade importante para o planejamento urbano, uma vez que entender os processos ocorrentes no seu interior é fundamental para a implantação de ações que visem à conservação ambiental e ao bem-estar da população (Cunha; Guerra, 2012). Landim Neto *et al.* (2018) discorrem que, tomando-se a bacia hidrográfica como referência ao planejamento, é possível a identificação de impactos ambientais relacionados a inundações, alagamentos,

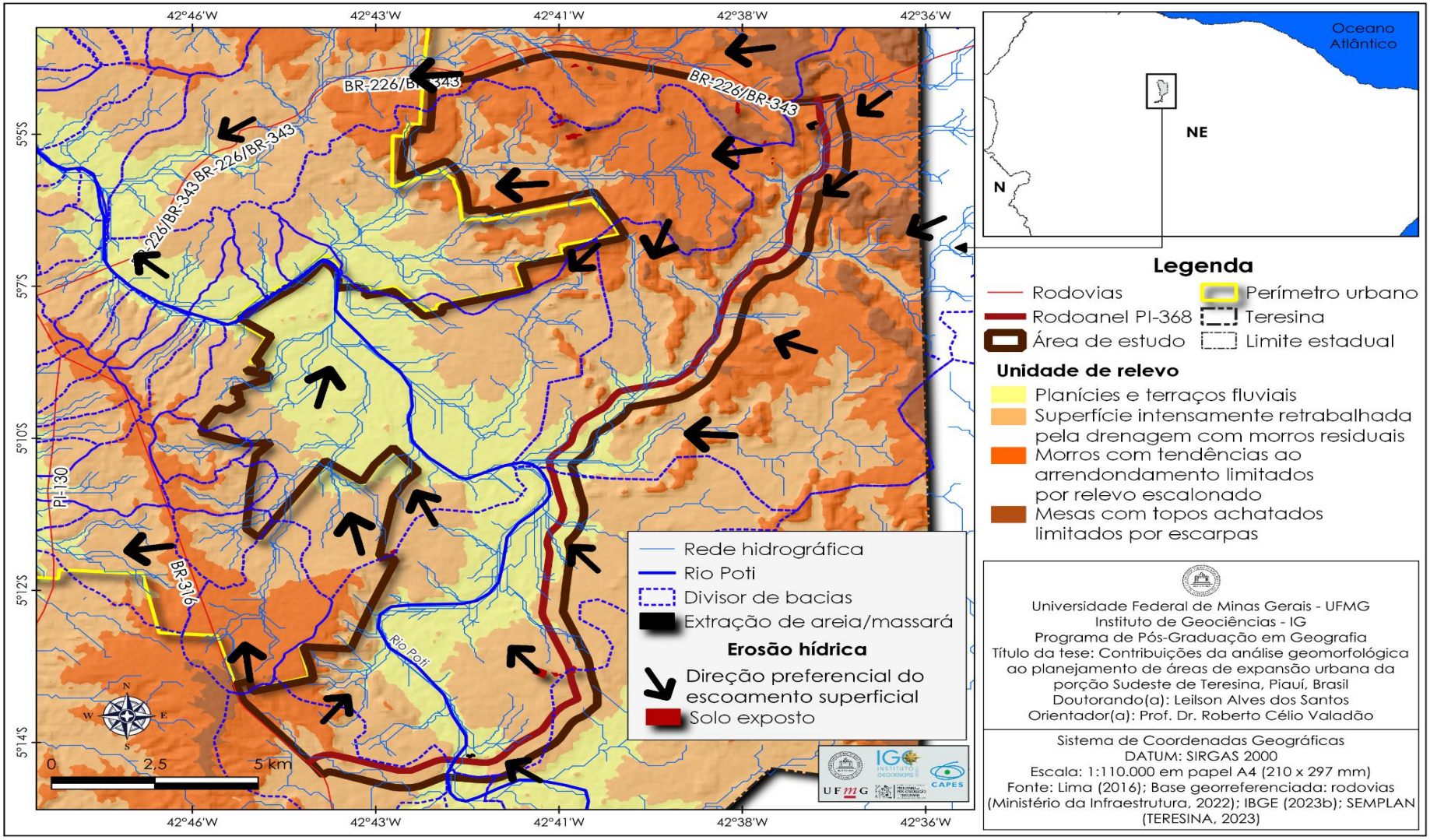
erosão, infiltrações, dentre outros que podem auxiliar no melhor planejamento urbano.

Ross (2010) chama a atenção para o fato de que o planejamento deve considerar fatores fitogeográficos e socioeconômicos, a fim de avaliar as potencialidades de uso do território de maneira que os danos sejam os menores possíveis. Nesse sentido, a rede de drenagem se configura como elemento crucial para a compreensão da dinâmica do escoamento superficial, o que contribui para o direcionamento de obras de infraestrutura e condiciona a ocupação.

Teresina possui uma densa rede de drenagem, como já mencionado anteriormente. Nesse município destacam-se dois grandes rios regionais, o Parnaíba e o Poti, com dezenas de afluentes, o que lhe confere, no dito popular, o título de mesopotâmia nordestina. Destaca-se que, no trecho de Teresina, o Rio Parnaíba encontra-se no seu médio curso, enquanto que o Rio Poti encontra-se no seu baixo – trecho este que recebe dezenas de afluentes com nascentes predominantemente localizadas no município de Teresina.

A área de estudo é integralmente drenada pelo rio Poti e seus afluentes (Figura 51). A capilaridade hidrográfica dessa porção merece atenção especial, pois reflete diretamente nas reservas para o abastecimento futuro da cidade, bem como nos processos erosivos.

Figura 51 - Rede drenagem da área de estudo, com destaque para a direção do escoamento superficial



Fonte: Elaboração do autor (2024)

À medida que se afasta do núcleo urbano central, o relevo de Teresina adquire novas características, com vertentes mais íngremes e morros mais dissecados, especialmente na porção norte da área de estudo, entre a BR-343 e o rodoanel. Essa área, devido a essas particularidades, possui maior potencial de ocupação rápida. Já as porções central e sul são dominadas por planícies e superfícies retrabalhadas pela drenagem, com altitudes variando entre 80 e 124 metros. Mais ao sul, também há presença de áreas úmidas e lagoas.

Em campo, observou-se a presença de diversos trechos com solo exposto devido ao desmatamento, além da atividade de mineração, como a extração de massará e, principalmente, de areia retirada diretamente do rio Poti. Essas práticas, quando realizadas sem o manejo adequado, podem resultar no assoreamento dos canais fluviais, comprometendo seriamente a dinâmica fluvial local.

Além disso, as mudanças climáticas interferem diretamente no ciclo hidrográfico, agravadas por questões socioeconômicas, o que pode aumentar a frequência de eventos extremos, como as inundações (Cury *et al*., 2021). A esse respeito, Tundisi (2008) observa que os eventos extremos afetam diretamente a população, especialmente aquelas que vivem em áreas urbanas, devido a enchentes, deslizamentos e inundações. Assim, torna-se importante o conhecimento da dinâmica ambiental do território que possa auxiliar no planejamento.

6.2.3.1 Análise do mapa TWI

Um dos grandes problemas ambientais encontrados nas áreas urbanas, atualmente, relaciona-se aos alagamentos, às inundações e aos deslizamentos. Dantas (2018) ressalta que tais eventos estão condicionados ao tipo de terreno, à hidrografia, à morfometria e ao relevo das áreas susceptíveis à inundação e aos alagamentos. No entanto, essas condições físicas do ambiente podem ser intensificadas com a ação humana, com o avanço desordenado da urbanização, a exploração exacerbada do solo, o desmatamento e a ocupação das áreas ribeirinhas.

A cidade de Teresina convive com episódios de inundações e alagamentos desde os primórdios de sua ocupação e, mais recentemente, devido ao

adensamento populacional e à consequente expansão urbana, tem vivenciado eventos cada vez mais extremos relacionados ao escoamento superficial.

Com o objetivo de identificar pontos de inundações/alagamentos aplicou-se, para a área de estudo, o Índice Topográfico de Umidade (TWI – Topographic Wetness Index), o qual permite a identificação e distribuição espacial de áreas com saturação hídrica, seja permanente e/ou temporária. De acordo com Capoane *et al.* (2015), o Topographic Wetness Index (TWI) indica a ocorrência de zonas preferenciais para acúmulo de água com base na declividade e nas áreas de contribuição para um trecho definido, sendo desenvolvido a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE).

Neste estudo, os leitos dos rios Poti e Parnaíba foram desconsiderados, uma vez que o TWI abrange toda a extensão do canal fluvial, desde a nascente até a foz. Dessa forma, os dados apresentados se referem exclusivamente aos afluentes desses dois rios que drenam o município de Teresina, e de modo particular àqueles localizados na área de estudo.

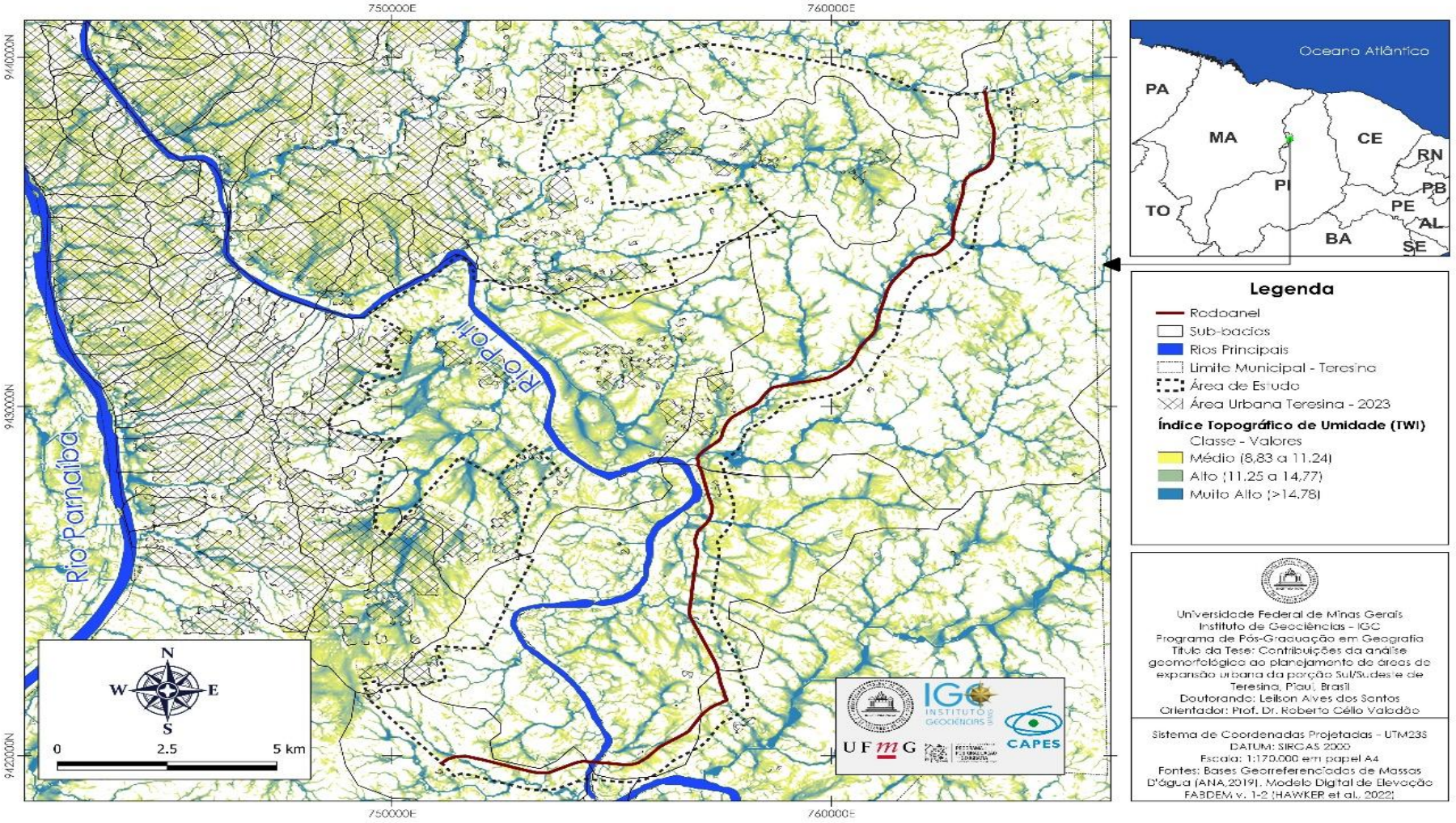
Para a geração do TWI da área de estudo foi utilizado o modelo *Forest and Building Removed Copernicus* DEM (FABDEM) (Hawker *et al*., 2022). Segundo Bielski *et al.* (2024), o FABDEM apresenta resultados superiores em comparação com outros MDEs gratuitos. No presente estudo, o TWI foi elaborado inicialmente com base na proposta de Mattivi *et al.* (2019), utilizando o *software* SAGAGIS v. 7.8.2. Todavia, posteriormente, a ferramenta "*Fill Sinks*", indicada pelos autores supracitados, foi substituída pela ferramenta "*Breach Depressions*", proposta por Lindsay (2015). Esta substituição foi realizada porque a primeira ferramenta ocasionava grande homogeneização do relevo ao suavizar as áreas de baixada. A segunda ferramenta apresentou um resultado melhor de pré-processamento, mostrando-se mais adequada para o contexto topográfico em estudo (Figura 52).

Foram definidas três classes de acordo com os graus de susceptibilidade de áreas de inundações/alagamentos: média susceptibilidade, alta susceptibilidade e muito alta susceptibilidade. As áreas com alta e muito alta susceptibilidade na área de estudo correspondem também àquelas dentro do perímetro urbano de Teresina, que apresentam frequentemente eventos extremos de alagamentos e inundações

localizados em porções das regiões norte, leste, sudeste e sul[7]. Nesse sentido, é importante destacar que, no caso de o poder público não voltar o olhar para a porção além do atual perímetro urbano em direção ao rodoanel, futuramente quando essa área estiver ocupada e incorporada ao perímetro urbano da cidade, Teresina continuará vivenciando drásticos problemas ambientais relacionados às inundações e aos alagamentos, provocados não somente pelos rios Parnaíba e Poti, mas, também, pelos seus afluentes.

[7] Reportagem do G1 sobre alagamentos em diversos pontos de Teresina em abril de 2024: https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2024/04/04/video-chuva-teresina-ruas-inundadas-hut-alagado.ghtml. Reportagem do SBT News em abril de 2019 relatando os desastres provocados pelos alagamentos na capital piauiense: https://www.youtube.com/watch?v=WzLISWjJt9s.

Figura 52 - Índice Topográfico de Umidade (TWI) aplicado à área de estudo



Fonte: Elaboração do autor (2024)

A área representada na Figura 53, a seguir, corresponde ao complexo habitacional Residencial Torquato Neto, localizado no extremo sul da zona urbana de Teresina, onde frequentemente são registrados episódios extremos de enxurradas e alagamentos. Considerando que essa é uma área de ocupação recente, com menos de 20 anos de consolidação, e previamente planejada para a instalação de conjuntos habitacionais populares, torna-se evidente a ineficiência do planejamento urbano, especialmente no que diz respeito à morfologia da área e ao escoamento superficial das águas pluviais.

Figura 53 - Ruas alagadas no Residencial Torquato Neto, Região de Teresina – março de 2021

Fonte: PortalR10 https://encurtador.com.br/YkhPs

A Figura 54, por sua vez, representa a porção central de Teresina, especificamente a Avenida Frei Serafim, uma das principais da cidade. Mesmo nesta área, que possui uma ocupação mais antiga, os problemas decorrentes dos alagamentos se assemelham aos das áreas de ocupação mais recente. Isso evidencia que, ao longo do tempo, Teresina não tem demonstrado uma preocupação

adequada com o planejamento urbano, tanto nas áreas recém-ocupadas quanto naquelas de ocupação mais antiga.

Figura 54 - Alagamento na região central de Teresina – outubro/2016

Fonte: Portal GP1 https://encurtador.com.br/lococ.

Rodrigues e Lima (2019) afirmam que as inundações em Teresina estão associadas a fenômenos naturais, como as fortes chuvas. No entanto, é fundamental considerar também os fatores sociais, políticos e econômicos que amplificam os danos e riscos relacionados às inundações. Esses autores destacam que o aumento da ocupação urbana em áreas próximas aos rios tem intensificado a vulnerabilidade socioambiental, especialmente na região norte e em outras áreas periféricas da capital piauiense.

6.3 Fragilidade ambiental a inundações e alagamentos

A compreensão do relevo e de sua dinâmica está intrinsecamente ligada à inter-relação entre água, solo, subsolo, clima e cobertura vegetal. Essa conjuntura é fundamental para o planejamento físico-territorial, tal como salientam Ross e Fiertz (2017). A análise dessa inter-relação é essencial para a identificação de possíveis

fragilidades ambientais, o que pode auxiliar sobremaneira o planejamento ambiental das cidades, inclusive nos planos diretores urbanos. Silva relata que

> Há uma correlação direta e contínua do relevo com o substrato geológico e o clima que são hierarquicamente superiores. No entanto, é geomorfologicamente que se representam as interações interfácicas entre o substrato geológico e as condições meteorológicas, climáticas, hídricas e biológicas. Nas interações entre litologia e clima, apresentam-se efeitos químicos, físicos e biológicos que refletem na formação da superfície terrestre por meio de constituição de distintas tipologias de solos, vegetação e formas de drenagem e acúmulo hídrico (Silva, 2018, p. 314-315).

A esse respeito, Cunha e Guerra (2003) discorrem sobre as intervenções humanas nas planícies, o desmatamento de encostas e topos de morros, a canalização e o aterramento de canais de drenagem em prol da urbanização e em decorrência de ocupações inadequadas. Esses autores orientam que os estudos ambientais sobre os processos que ocorrem nas bacias hidrográficas podem auxiliar no planejamento urbano, desde que esses estudos sejam inseridos nos planos diretores.

Dessa maneira, é imprescindível que os planejadores considerem não apenas o desenvolvimento econômico, mas, também, os aspectos sociais e ambientais. É essencial levar em conta as fragilidades ambientais para promover um planejamento comprometido com a realidade ambiental de cada localidade, na busca por alcançar um ordenamento territorial satisfatório.

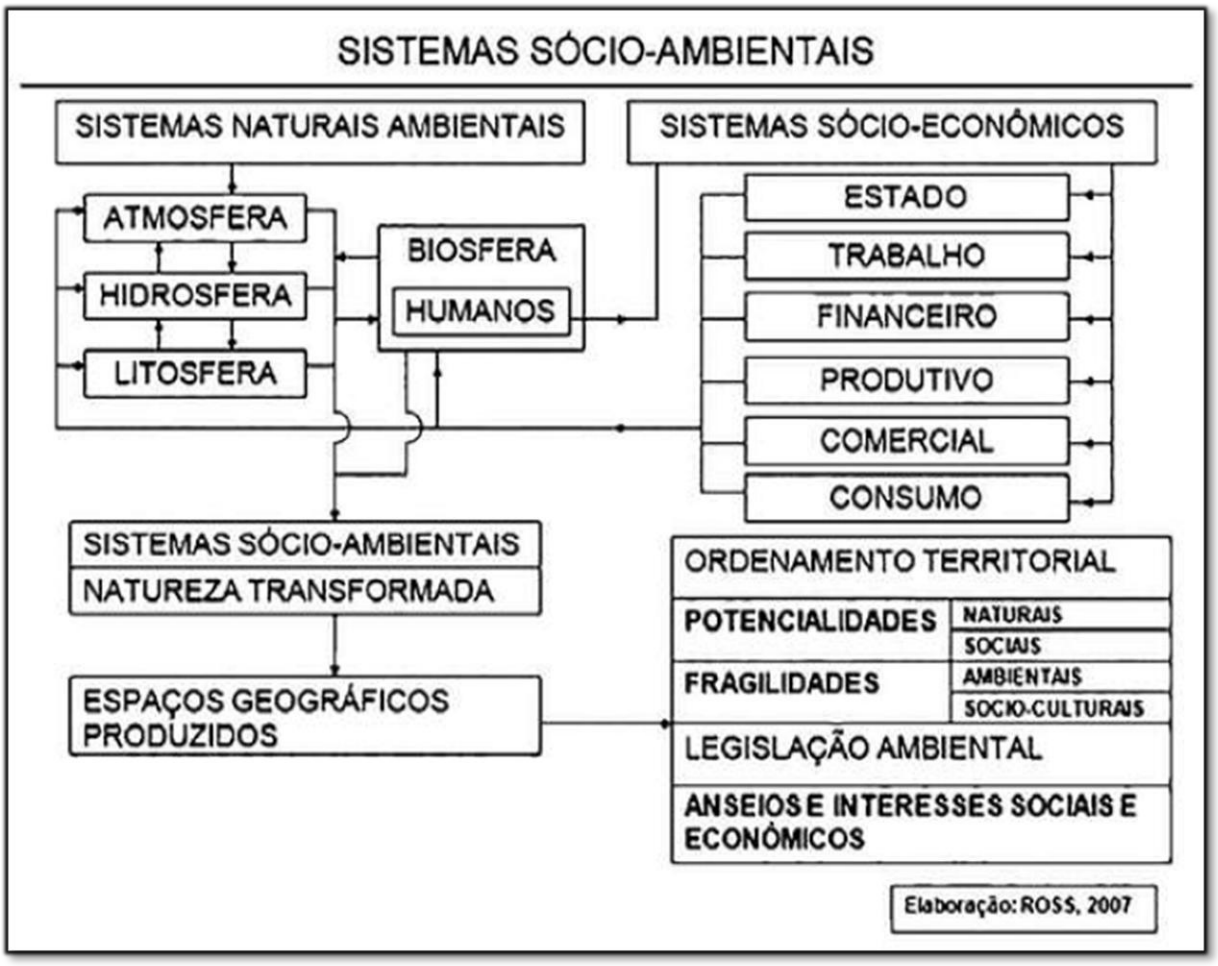
Os arranjos espaciais formados pela relação entre sociedade e natureza estão em constante transformação e possuem uma forte inter-relação, estando o ser humano sujeito às intempéries da natureza, mesmo com todo o aparato tecnológico que o conecta globalmente. Essa relação foi denominada por Ross (2007 *apud* Ross; Fiertz, 2017) de sistemas socioambientais (Figura 55).

Compreender a relação sociedade-natureza, especialmente no contexto urbano, é essencial para a formulação de planejamentos que levem em consideração tanto as potencialidades quanto as fragilidades do espaço. Esse entendimento é crucial para promover o desenvolvimento sustentável, garantindo que a população esteja protegida de desastres e riscos ambientais.

A identificação de fragilidades ambientais permite que os gestores e planejadores tomem decisões informadas, considerando as particularidades

ambientais de cada porção do território. Dessa forma, é possível evitar danos ao ambiente natural e garantir uma melhor qualidade de vida para a população (Ross; Fiertz, 2017; Gouveia; Ross, 2019).

Figura 55 - Estrutura funcional da relação sociedade-natureza, segundo Ross (2007)



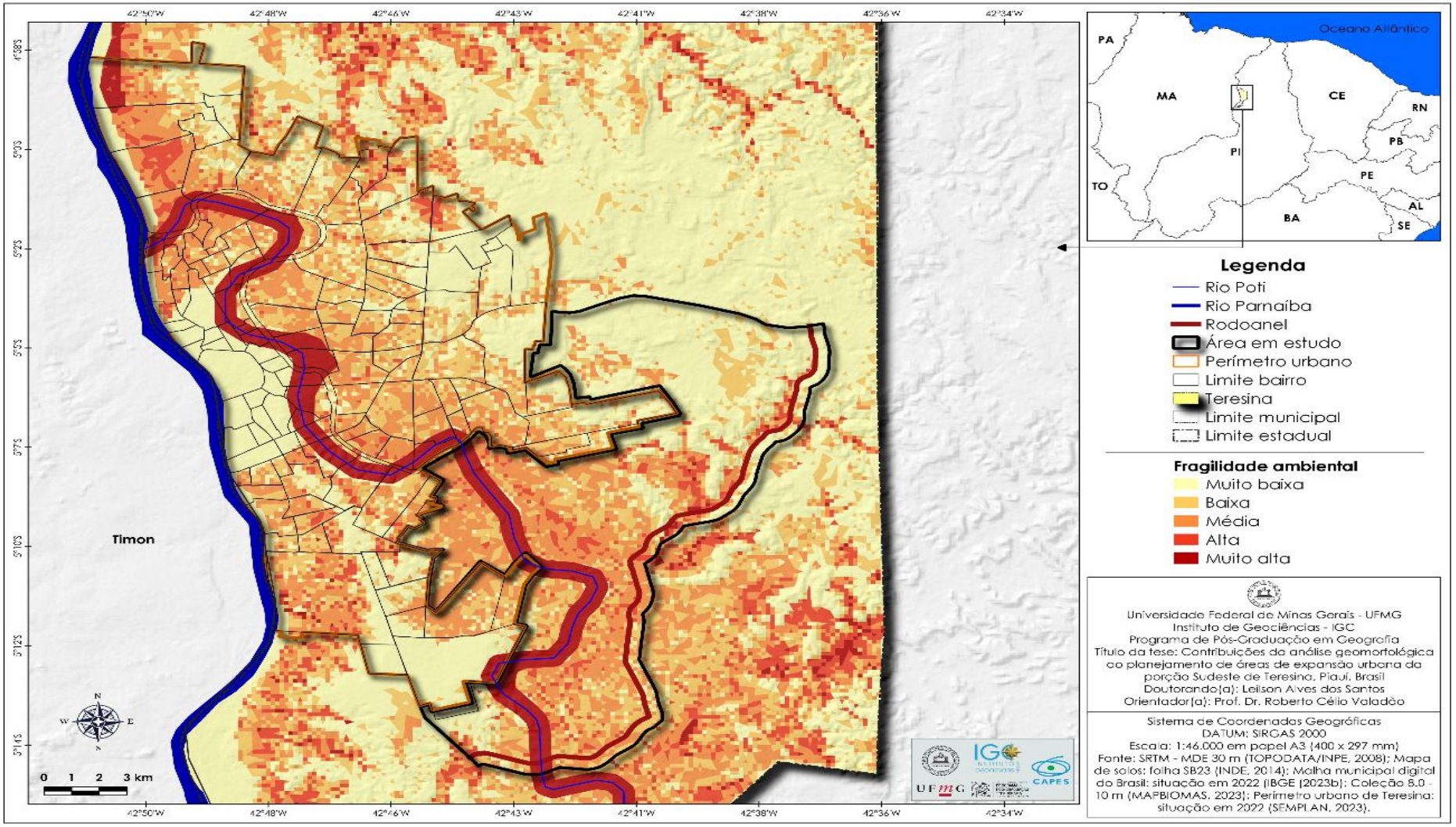
Fonte: Ross e Fiertz (2017).

Nesse sentido, a elaboração de um mapa de fragilidades ambientais em relação a inundações e alagamentos para a área analisada neste estudo constitui um passo fundamental para o desenvolvimento de planos adequados, que orientem a ocupação futura de forma segura e sustentável.

6.3.1 Análise da fragilidade ambiental na área de estudo

O mapa de fragilidade ambiental de Teresina resultante do tratamento espacial desses pesos e classes, segundo a Equação 1, é apresentado a seguir (Figura 56). A fragilidade ambiental nele espacializada se refere à ocorrência de inundações e alagamentos, com destaque para a área de estudo.

Figura 56 - Mapa de fragilidade ambiental a inundações e alagamentos / Teresina (PI)



Fonte: Elaboração do autor (2024

Cabe ressaltar que as áreas drenadas pelos canais principais dos rios Poti e Parnaíba não foram incorporadas ao TWI e, por essa razão, na intersecção das variáveis utilizadas para elaboração desse mapa de fragilidade ambiental essas áreas aparecem como baixa fragilidade, com exceção da área de planície do leito do rio Poti, que Ross e Fiertz (2017) as classificam com declividade de 0 a 3%, como fragilidade muito alta para inundações.

O relevo predominantemente plano a suave ondulado, aliado à densa rede de drenagem de Teresina, somado à ineficiência do planejamento urbano, especialmente no que tange ao escoamento das águas pluviais e à manutenção dos canais fluviais, favorece a ocorrência periódica de alagamentos em praticamente todas as regiões da cidade. Tal cenário tem sido amplamente observado durante os diversos eventos de chuva e corroborado pelo mapa de fragilidade ambiental a inundações e alagamentos.

Historicamente, a região norte da cidade é uma das áreas mais impactadas pelas inundações do rio Poti e pelo transbordamento de suas lagoas marginais. Este problema foi um dos fatores que motivaram a mudança da antiga Vila do Poti, povoado que deu origem a Teresina, situada próximo à confluência dos rios Poti e Parnaíba, para as áreas de maior altitude localizadas às margens do rio Parnaíba. Essas áreas, inicialmente, estariam livres das inundações e foram primeiramente ocupadas pela elite da época. No entanto, à medida que a cidade passou a registrar adensamento populacional, as áreas mais baixas voltaram a ser ocupadas, especialmente por habitações precárias, fazendo com que os problemas ambientais relacionados às inundações ressurgissem, impactando a sociedade teresinense.

Na região leste da cidade, originalmente planejada para abrigar a população de maior poder aquisitivo e supostamente livre de inundações, tem ocorrido, nos últimos anos, situações que anteriormente afetavam apenas as áreas periféricas, como os alagamentos causados principalmente pelos afluentes do rio Poti. Esse fato se deve, sobretudo, ao ineficiente sistema de drenagem urbana. Esses eventos de alagamento têm se tornado recorrentes em importantes vias da região leste, como as Avenidas Nossa Senhora de Fátima, Presidente John Kennedy, João XIII, Homero Castelo Branco, dentre outras.

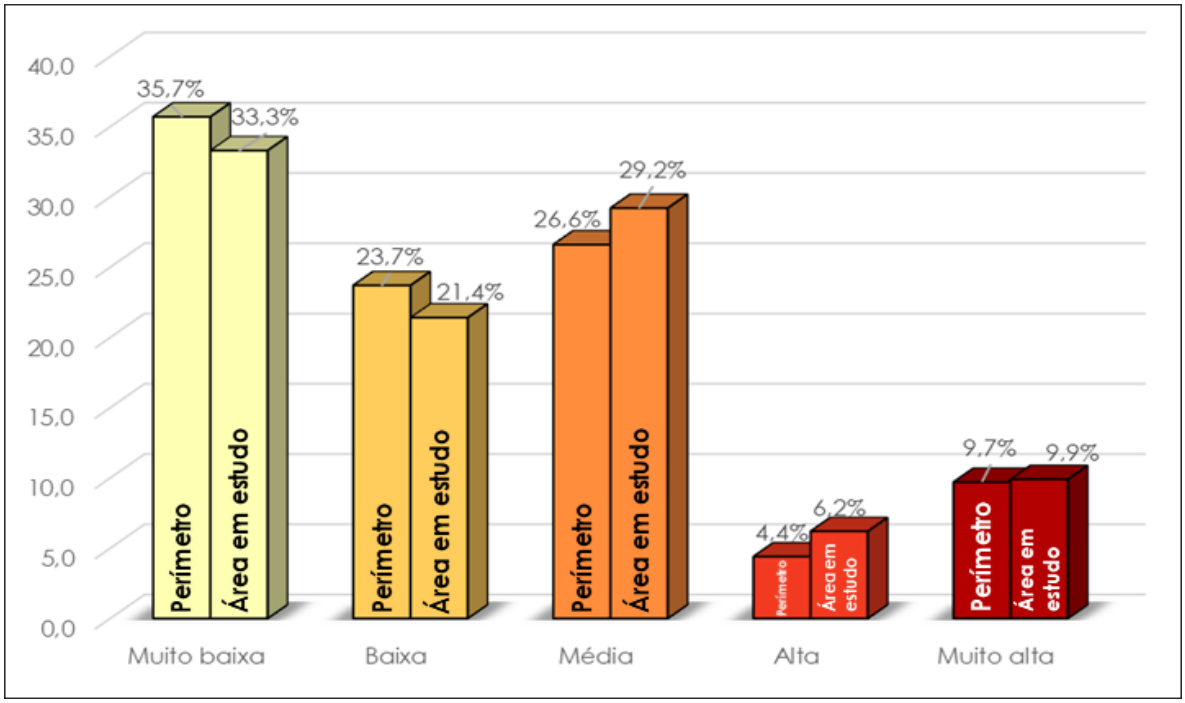
Na área de estudo considerada para futura ocupação, impulsionada pela construção do rodoanel de Teresina, observa-se que grande parte do território está

sujeita a alagamentos e inundações, especialmente na sua porção sul, onde predominam áreas de planícies e as associações de neossolos. Esse cenário suscita a necessidade de um planejamento preventivo por parte do poder público, a fim de evitar a repetição dos problemas relacionados às inundações e alagamentos que atualmente afligem a população de Teresina.

A porção norte da área de estudo, onde predominam as superfícies de mesas com tendência ao arredondamento e cotas altimétricas entre 93 e 173 metros, apresenta baixa fragilidade ambiental em relação a episódios de inundações e alagamentos. No entanto, é relevante ressaltar que o Índice Topográfico de Umidade (TWI) indicou, também, núcleos com alta probabilidade de inundação nessa porção. Além disso, a declividade, que varia entre 3% e 20%, pode resultar em outros impactos, como deslizamentos.

Ao comparar as áreas do perímetro urbano de Teresina com a área de estudo em termos de fragilidade ambiental a inundações e alagamentos, observa-se que os percentuais são bastante próximos. Isso reforça a ideia de que, caso o poder público não elabore planos pautados em estudos geomorfológicos, Teresina continuará a enfrentar graves problemas ambientais (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Relação da fragilidade ambiental a inundações e alagamentos entre o perímetro urbano de Teresina e área de estudo



Fonte: Elaboração do autor (2024).

A área de estudo possui aproximadamente 30% de seu território classificado como de fragilidade média, bem como cerca de 10% como de fragilidade muito alta. Esses dados são fundamentais para que gestores e planejadores orientem suas ações de maneira adequada às características ambientais da região, visando a atenuar futuros problemas ambientais decorrentes da ocupação.

Ressaltamos que este trabalho não teve como objetivo a proposição de um zoneamento ambiental para a área analisada, uma vez que isso exigiria a elaboração de mapas e documentos técnicos relacionados às formas de relevo e demais processos associados. Tal atividade deveria ser conduzida por um geógrafo, especialista em Geomorfologia, com apoio de uma equipe multidisciplinar. O mapa de fragilidade a inundações e alagamentos, elaborado a partir da intercessão de diversas variáveis (geologia, relevo, solos, declividade, TWI), constitui base fundamental de alerta ao poder público para direcionamento de suas ações de forma adequada, considerando as características físico-ambientais, com ênfase na geomorfologia.

6.3.2 Síntese das características geoambientais

A elaboração e análise de transectos do relevo aos quais se reúnam outras variáveis ambientais constitui um recurso de síntese das características geoambientais de uma dada área. Esse recurso foi empregado na área de estudo, o que permite a análise aprofundada e sistematizada das distintas porções de seu território no que tange aos seus aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, dentre outros.

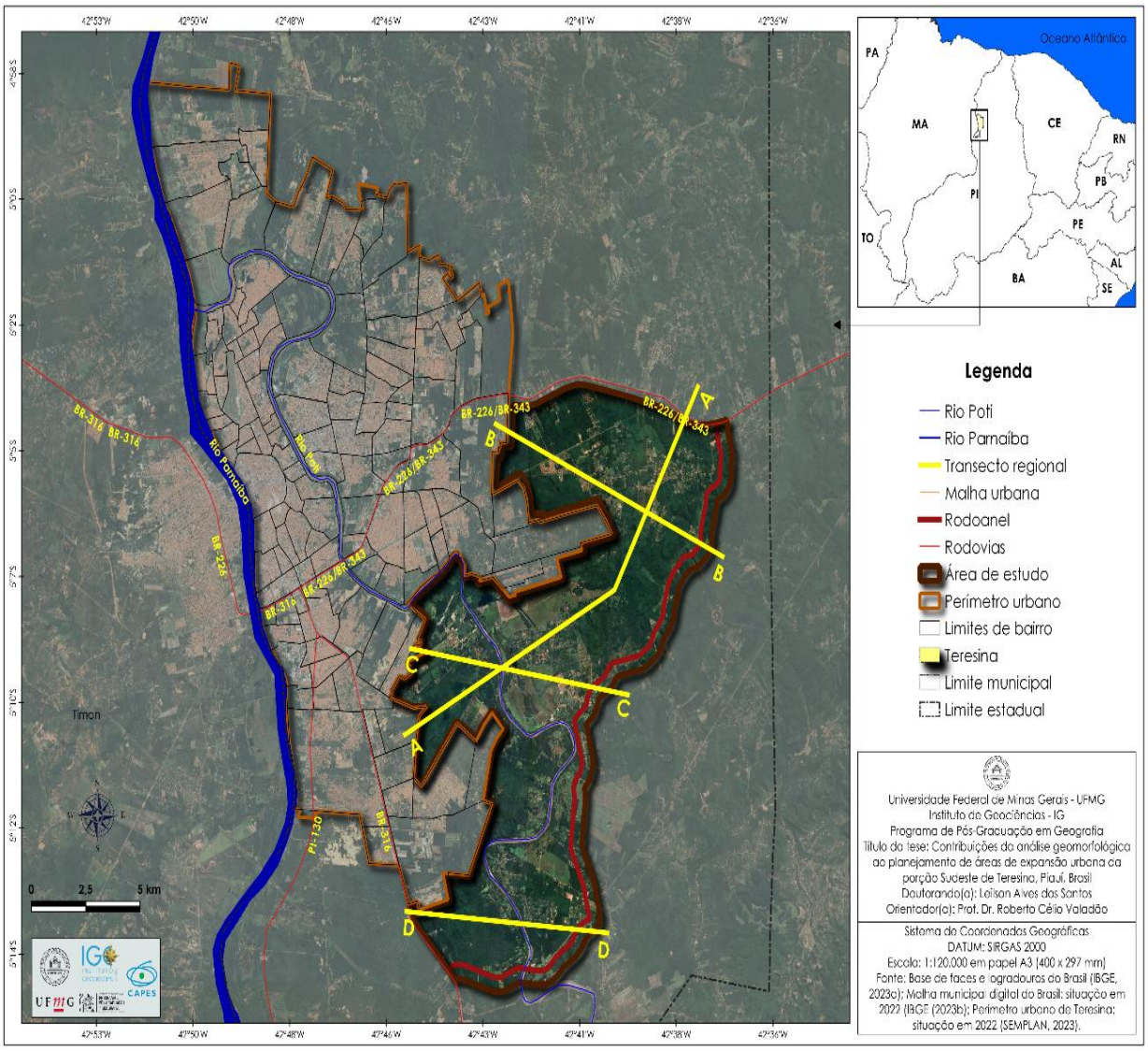
A análise integrada viabilizada por meio de transectos proporciona uma base robusta e fundamentada para a tomada de decisões relacionadas ao uso e à ocupação planejada do espaço, como a avaliação da adequação das áreas ao processo de ocupação e a delimitação de zonas vulneráveis a deslizamentos, erosão, inundações e outros riscos ambientais. Consequentemente, esses transectos contribuem significativamente para o planejamento de infraestrutura, como sistemas de drenagem, de transporte e de saneamento básico. Ao identificar as particularidades do relevo e das bacias hidrográficas, esses transectos fornecem informações importantes para instalação de sistemas eficientes de escoamento de

águas pluviais, prevenindo alagamentos e inundações – problemas recorrentes nas cidades brasileiras, especialmente em Teresina.

Foram traçados quatro transectos regionais, com vistas a contemplar as particularidades ambientais da área de estudo, com destaque para as variáveis relevo, uso e cobertura, solos, declividade e fragilidade (Figura 57).

Ressaltamos que o Índice Topográfico de Umidade (TWI) apresenta crucial importância à análise geomorfológica aplicada ao planejamento da expansão urbana na área em estudo. Porém, sua representação comprometeria a qualidade de síntese dos perfis em função da escala de detalhe do TWI quando comparada à escala regional adotada.

Figura 57 - Localização dos transectos regionais na área de estudo

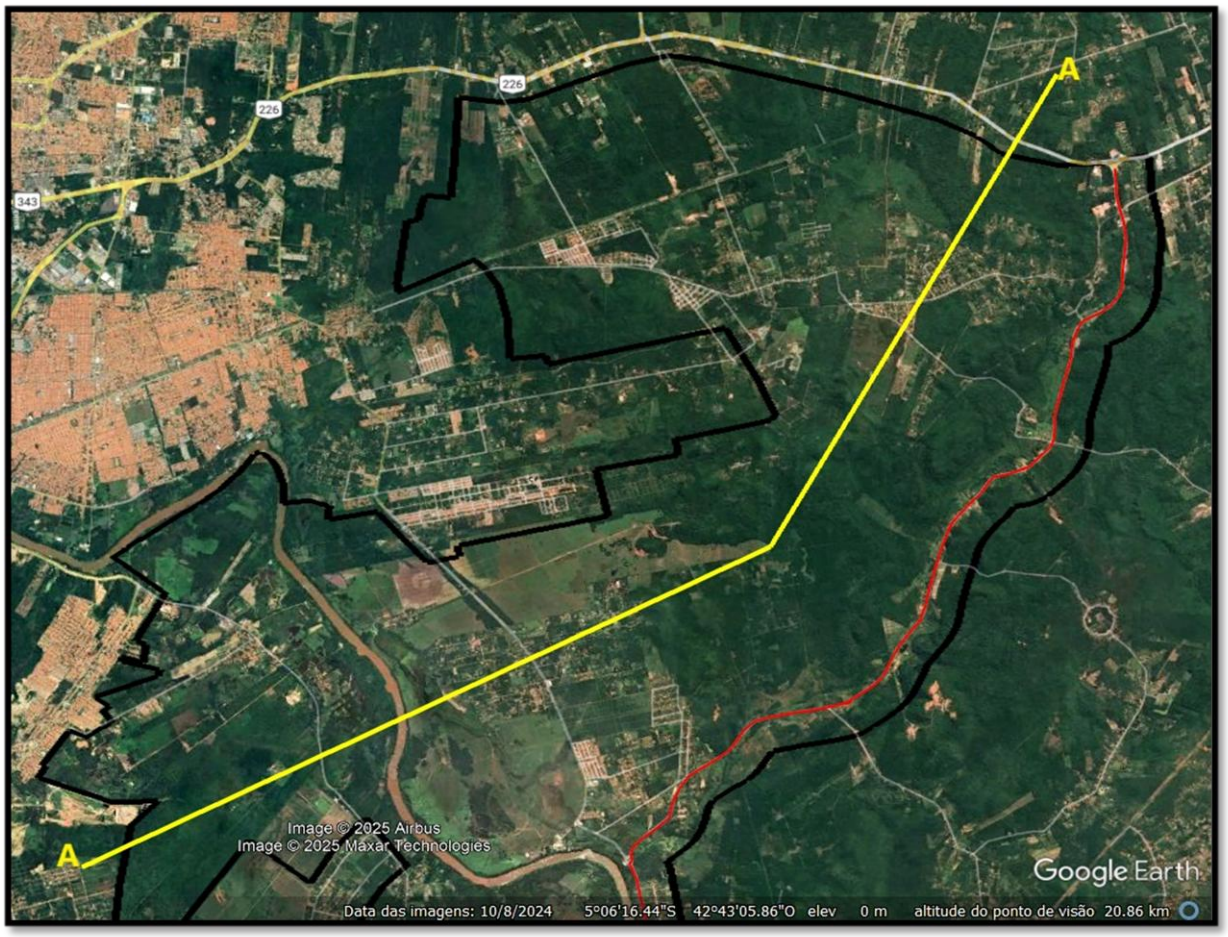


Fonte: Elaboração do autor (2024).

6.3.3 Transecto A – A’

O transecto A – A’, traçado segundo a orientação NNE-SSW e NE-SW, abrange as principais categorias ambientais da área de estudo. A região abrangida por esse transecto, por sua proximidade com a BR-343 e o início do eixo norte do rodoanel, é aquela que já apresenta indícios de intensificação da ocupação (5.14).

Figura 58 - Transecto regional A-A'



Fonte: Adaptado pelo autor (2024) a partir de Google Earth (2024).

Na porção mais ao norte desse transecto, a superfície é mais homogênea (Figura 59), caracterizada pela predominância das mesas com topos achatados limitados por escarpas, além dos morros com tendência ao arredondamento limitado por relevo escalonado. Consequentemente, a declividade varia significativamente, alternando entre áreas planas (0 a 3%) e montanhosas (45 a 75%). Essa característica chama a atenção, pois, com o avanço da ocupação desordenada e

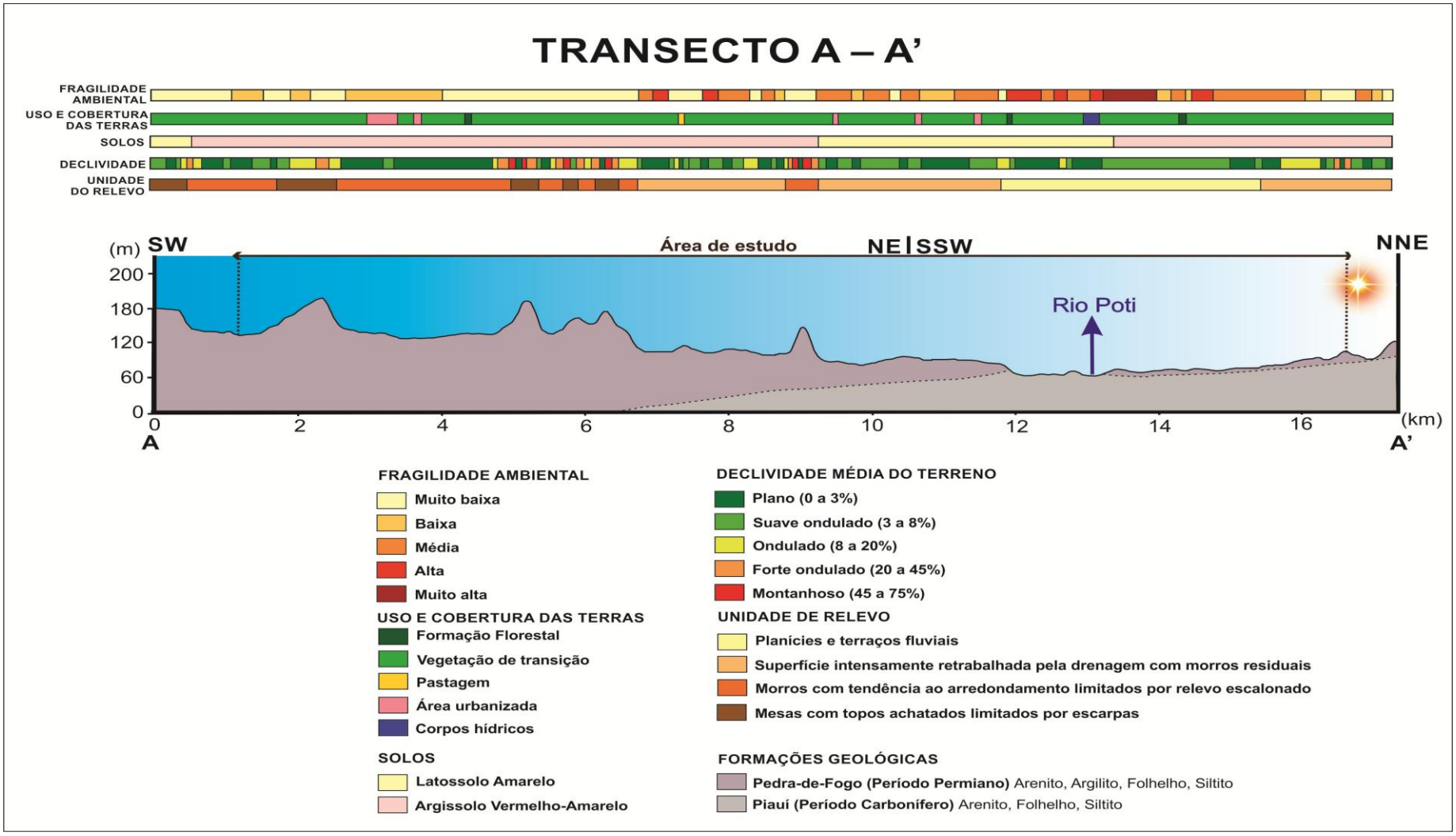
sem os devidos cuidados, a área poderá se tornar potencialmente suscetível a deslizamentos, especialmente em períodos de maior precipitação.

Em termos de fragilidade ambiental para inundações e alagamentos, essa porção do terreno apresenta oscilações entre níveis muito baixos a baixos, devido ao relevo. No entanto, o Índice de Umidade Topográfica (TWI) indicou pontos específicos com alta probabilidade de ocorrência de eventos dessa natureza.

À medida que se avança em direção a sudoeste, a paisagem expressa mudanças significativas. As planícies e os terraços fluviais, juntamente com as superfícies intensamente retrabalhadas pela drenagem com morros residuais, passam a dominar o relevo. Nessa área, a declividade varia entre plano (0 a 3%) e suave ondulado (3 a 8%). A fragilidade ambiental torna-se mais evidente, com maior propensão a inundações e alagamentos, o que ressalta a necessidade de uma atenção especial ao planejamento urbano, incluindo a elaboração de planos de drenagem, do traçado de vias e a definição de áreas destinadas à conservação e preservação.

O transecto A revela uma variação significativa nas características físicas da área, sendo a que representa melhor o conjunto como um todo. A intensificação da ocupação, sem o devido planejamento, poderá gerar riscos significativos, tornando essencial a adoção de medidas preventivas, como o controle do uso do solo e a implementação de infraestrutura adequada, para garantir a segurança e a sustentabilidade da ocupação urbana na área (Ross; Fiertz, 2017; Silva, 2018).

Figura 59 - Transecto regional A-A'



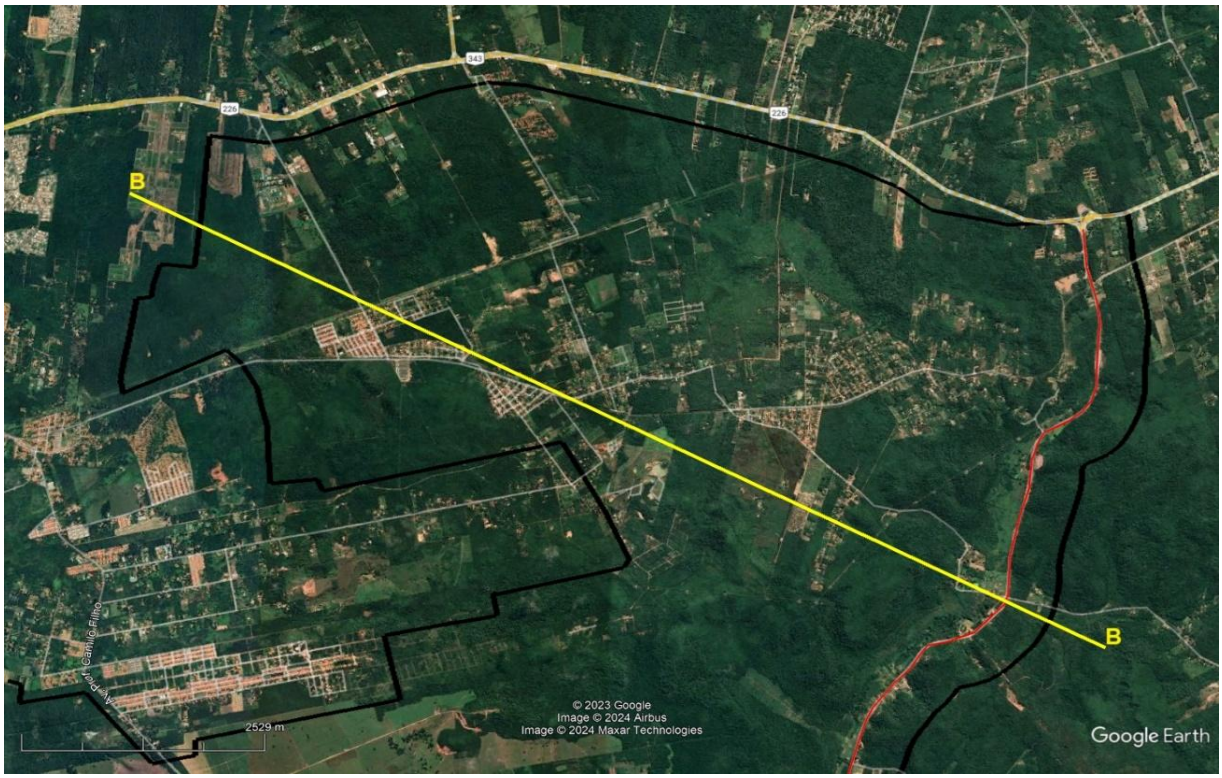
Fonte: Elaboração do autor (2024)

6.3.4 Transecto B – B’

O transecto B tem orientação NW-SE e abrange a porção norte da área de estudo. A vegetação predominante é a de transição, com destaque para o babaçu (*Attalea speciosa*) e a carnaúba (*Copernicia prunifera*), e o relevo da área é caracterizado por cotas mais elevadas, onde predominam os morros, com tendência ao arredondamento limitado por relevo escalonado, e as superfícies intensamente retrabalhadas pela drenagem com morros residuais. Em menor proporção, aparecem as mesas com topos achatados limitados por escarpas, especialmente nas proximidades do rodoanel. Consequentemente, essa área apresenta as maiores declividades.

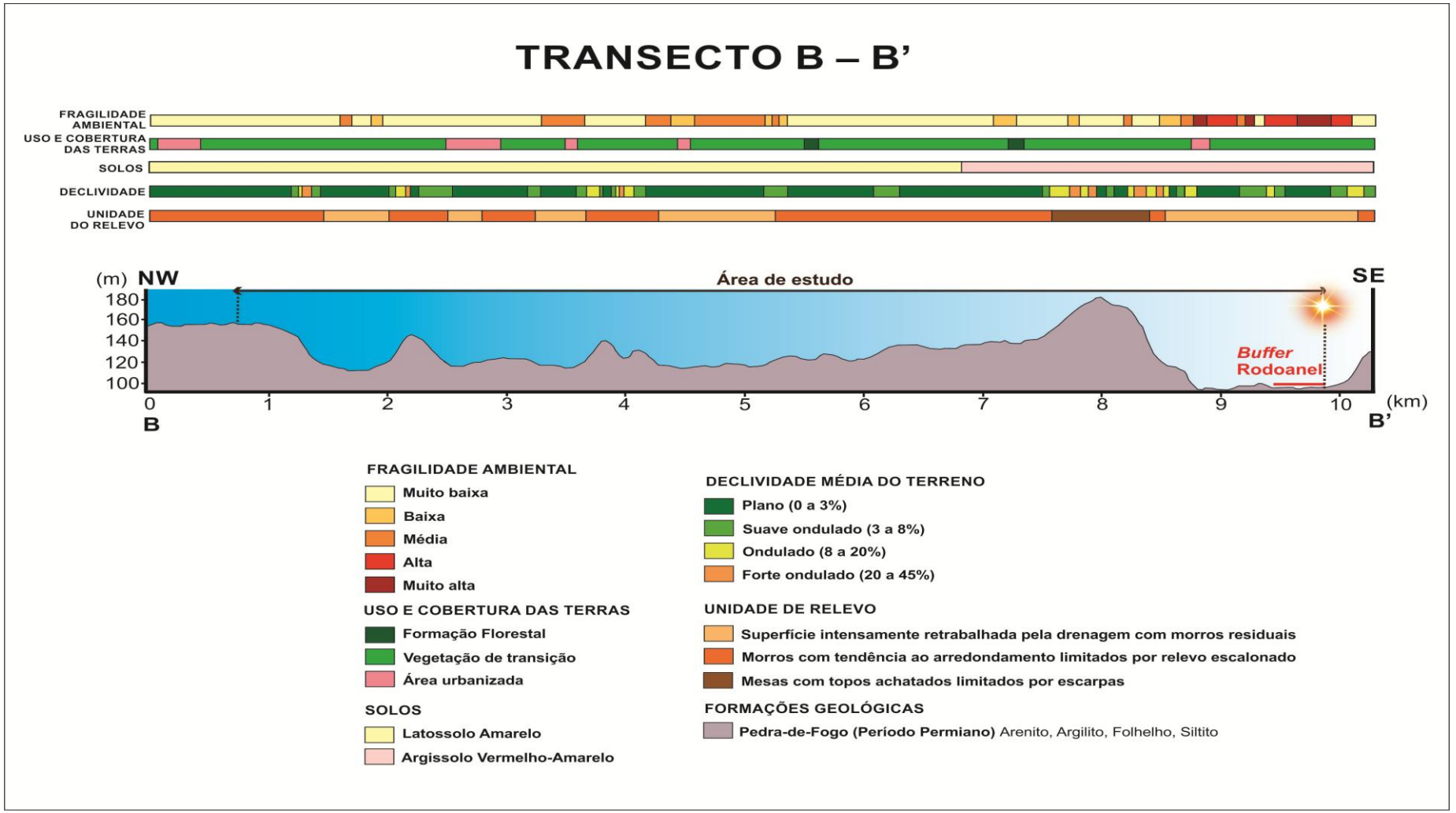
Em termos de fragilidade ambiental, o nível mais crítico encontra-se nas áreas adjacentes ao rodoanel, onde predomina o relevo caracterizado pelas superfícies intensamente retrabalhadas pela drenagem. Vale destacar que, nesse trecho, também já se verificam áreas urbanizadas (Figuras 60 e 61).

Figura 60 - Transecto B, com destaque para a ocorrência de loteamentos e outras modalidades de ocupação urbana



Fonte: Adaptado pelo autor (2024) a partir de Google Earth (2024).

Figura 61 - Transecto regional B - B'



Fonte: Elaboração do autor (2024)

6.3.5 Transecto C – C’

O transecto C, traçado segundo orientação WNW-ESE, representa as variáveis ambientais que caracterizam a porção central da área de estudo, com destaque para o rio Poti, onde se observa a presença de formações florestais próximas às suas margens. Com um relevo predominante de planícies, terraços fluviais e áreas relativamente planas, essa área apresenta o maior percentual de fragilidade ambiental para as inundações e alagamentos.

Destaque-se, ainda, a presença do distrito Usina Santana, localizado na zona rural de Teresina. De acordo com Silveira e Soares (2016, s.p.), o fluxo de atividades desenvolvidas nesse distrito, mesmo que esteja ele situado na zona rural de Teresina, seguem as “(...) práticas da urbe, revelando a complexidade da integração entre o rural e o urbano”. Os autores enfatizam que o processo de ocupação do distrito Usina Santana foi lento e desigual. Embora classificado pela Prefeitura de Teresina como núcleo urbano, o local carece de infraestrutura e cuidados adequados, um reflexo das contradições do desenvolvimento urbano (Figuras 62 e 63).

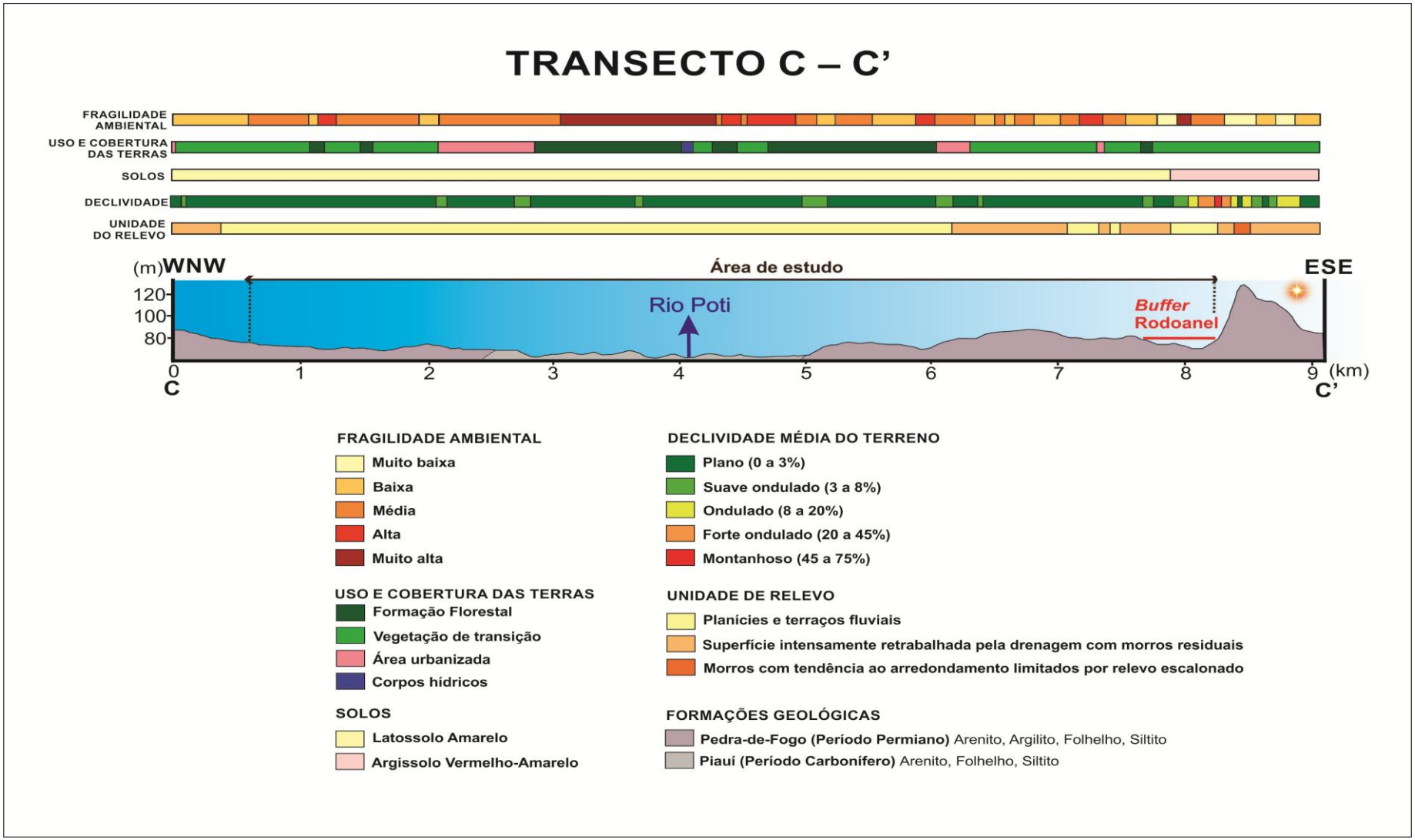
Figura 62 - Transecto C, com destaque para o distrito Usina Santana

Fonte: Adaptado pelo autor (2024) a partir de Google Earth (2024).

Percebe-se que o distrito Usina Santana está praticamente integrado ao perímetro urbano de Teresina. Além da proximidade com bairros situados no limite da zona urbana, observa-se a presença de diversos loteamentos, o que reforça a atuação dos agentes produtores do espaço, como os proprietários fundiários e os agentes imobiliários. É comum encontrar anúncios de venda de lotes destinados à construção de residências nessa área.

Esses fatores corroboram a hipótese levantada neste estudo de que, em breve, essa região será plenamente integrada ao perímetro urbano de Teresina, impulsionada pela atração exercida pelo rodoanel. Diante disso, torna-se essencial que o poder público intervenha com ações eficientes para garantir uma ocupação sustentável, minimizando, ao máximo, os riscos ambientais aos quais a área está exposta. Dessa forma, será possível assegurar a qualidade ambiental tanto para os moradores atuais quanto para os futuros residentes que se instalarão nos próximos anos.

Figura 63 - Transecto regional C – C'



Fonte: Elaboração do autor (2024).

6.3.6 Transecto D – D’

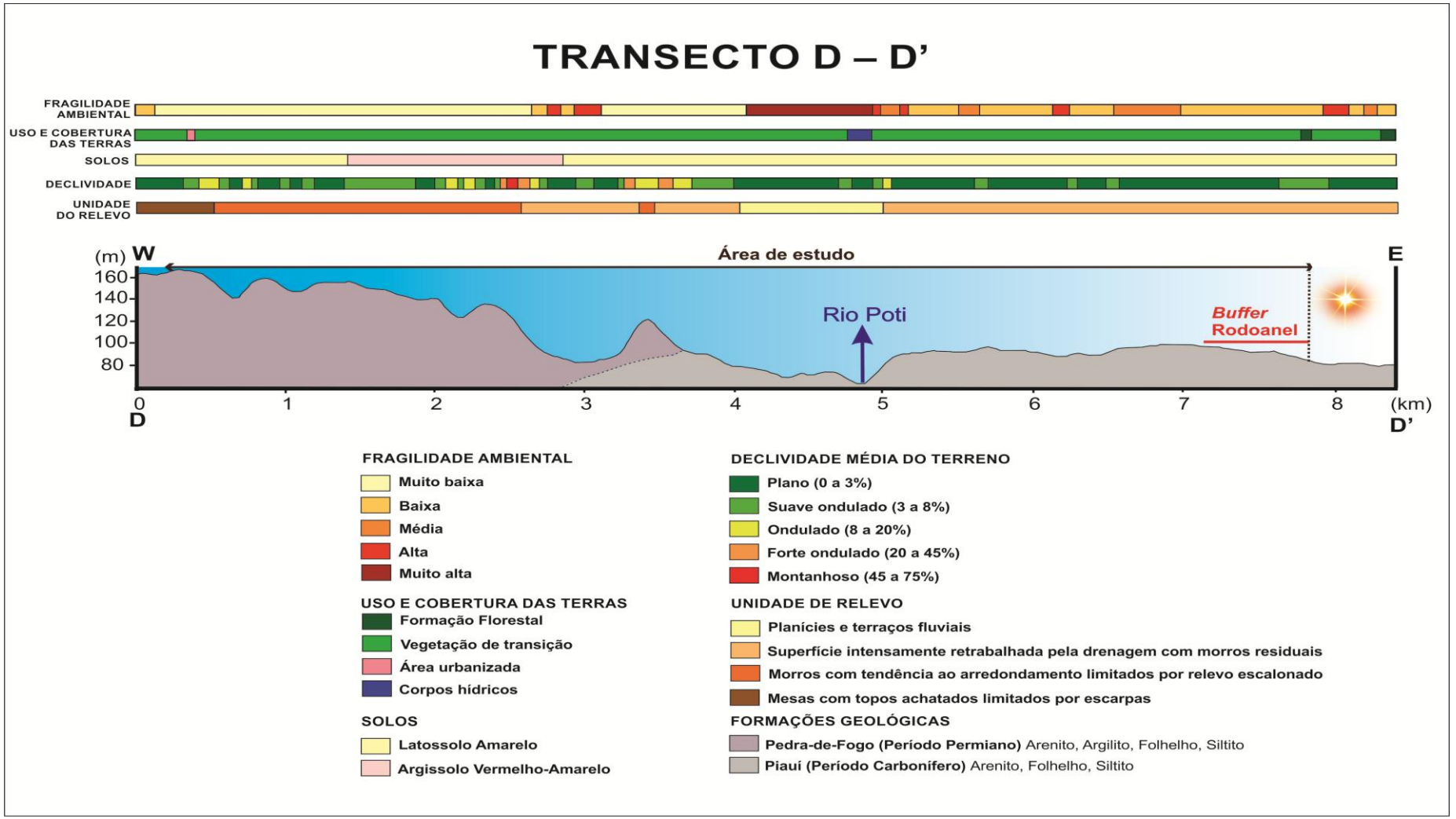
O transecto D foi traçado na porção sul da área de estudo, segundo a orientação W-E. A partir do vale do rio Poti, percebe-se uma maior homogeneidade dos elementos físicos, com a presença de vegetação de transição, destacando-se o babaçu (*Attalea speciosa*) e a carnaúba (*Copernicia prunifera*). O relevo é caraterizado por superfícies intensamente retrabalhadas pela drenagem, com morros residuais e a planície, e apresenta declividade relativamente plana, além da presença de áreas úmidas. A fragilidade ambiental ao longo desse transecto varia de média a muito alta, especialmente na planície do rio Poti. Nota-se, também, a presença de ocupações e loteamentos, o que reflete a ação dos produtores do espaço (Figuras 64 e 65).

De leste para oeste, ou seja, do vale do Poti até o limite com o perímetro urbano de Teresina, a paisagem torna-se mais diversificada. O relevo abrange desde planícies e terraços fluviais até superfícies intensamente retrabalhadas pela drenagem, com morros arredondados, limitados por relevo escalonado, e mesas com topos achatados. A declividade varia entre plana (0 a 3%) e montanhosa (45 a 75%). Nessa porção, o grau de fragilidade ambiental é predominantemente muito baixo, com algumas exceções em que se identificam trechos de médio e alto grau de fragilidade.

Figura 64 - Transecto D – D'

Fonte: Adaptado pelo autor (2024) a partir de Google Earth (2024).

Figura 65 - Transecto regional D – D'



Fonte: Elaboração do autor (2024)

7 CONCLUSÕES

A análise geomorfológica é fundamental para um planejamento urbano eficiente, especialmente no contexto das cidades brasileiras, a exemplo de Teresina, objeto deste estudo. Tanto a área central de Teresina quanto a sua periferia enfrentam problemas recorrentes de inundações e alagamentos. Compreender as características geomorfológicas da região é essencial para mitigar os impactos negativos das chuvas intensas, como inundações, alagamentos e deslizamentos, bem como para promover um desenvolvimento urbano sustentável, considerando as dinâmicas naturais do território e evitando a expansão urbana descontrolada.

Nesse sentido, os planos diretores municipais devem ser elaborados com uma abordagem integrada, que vá além das questões socioeconômicas, contemplando também as ambientais. Isso garante que as ocupações futuras sejam realizadas de maneira responsável e consciente, fortalecendo a resiliência da cidade frente a eventos climáticos extremos.

Os estudos geomorfológicos são ferramentas indispensáveis para o planejamento urbano, pois orientam a organização do espaço, especialmente em áreas suscetíveis a riscos ambientais. Esses estudos possibilitam a identificação de áreas mais adequadas para a implantação de infraestrutura, como sistemas viários e de drenagem, além de áreas verdes, e direcionam a destinação de áreas de proteção ambiental, como encostas íngremes. Essa abordagem é crucial para a elaboração de planos diretores que considerem as características físico-naturais do território.

Este estudo demonstrou que a integração do conhecimento geomorfológico aos processos de planejamento urbano de Teresina pode resultar em uma gestão mais eficiente e em um uso mais adequado do solo, minimizando riscos associados aos desastres naturais e promovendo a qualidade de vida da população teresinense.

No entanto, a ausência de estudos aprofundados das características físico-ambientais de Teresina tem comprometido o bem estar urbano, com danos recorrentes, especialmente os provocados pelas inundações, alagamentos e erosão, os quais já resultaram em perdas humanas e materiais. Esses problemas são agravados pela ineficiência do planejamento urbano e pelas deficiências dos planos diretores implementados ao longo dos anos na cidade. Embora o Plano Diretor de

Ordenamento Territorial de Teresina (PDOT), em vigência, apresente a proposta de uma cidade sustentável, suas ações concentram-se principalmente na ocupação dos vazios intraurbanos da área central, desconsiderando o avanço das ocupações nas áreas periféricas da cidade, especialmente na área delimitada por este estudo.

Nesse contexto, a análise dos processos geomorfológicos e da dinâmica de ocupação urbana na porção leste-sudeste de Teresina, para além dos limites do perímetro urbano, revela a complexidade e os desafios que o município enfrentará no processo de urbanização dessa nova área.

A densa rede de drenagem, composta pelo rio Poti e seus afluentes, constitui um elemento crucial a ser considerado no que se refere aos problemas relacionados à erosão e ao abastecimento hídrico. Assim se faz urgente a implementação de ações de conservação das margens e preservação das nascentes de cursos d'água que têm origem dentro do limite do munícipio de Teresina e até mesmo a formulação de parcerias com municípios vizinhos, no caso, Altos e Demerval Lobão, que delimitam-se com a área de estudo.

As análises realizadas neste estudo indicam, ainda, que a área projetada para ser ocupada nos próximos anos, em decorrência da expansão da urbanização horizontal de Teresina e impulsionada pela atração exercida pelo rodoanel, apresenta níveis significativos de fragilidade ambiental, com cerca de 30% do território sendo classificado como fragilidade média e 10% como de fragilidade muito alta, concentrados da porção central à sul da área analisada, conforme observado na Figura 56. Esta fragilidade ambiental está relacionada às planícies de inundação, aos solos e à composição geológica, com presença de rochas do tipo argilito, folhelho e siltito, que são rochas pouco permeáveis, o que contribui para um maior escoamento superficial, facilitando a ocorrência de alagamentos e deslizamentos. O modelo TWI aplicado na área de estudo se mostrou eficiente, indicando áreas com maior potencialidade de acúmulo de umidade com índices semelhantes àqueles identificados no sítio urbano de Teresina, o qual sofre com os fenômenos sazonais de alagamentos.

Além disso, novos problemas podem surgir, como a maior frequência de deslizamentos – eventos que, atualmente, ocorrem de forma isolada na cidade. Este dado evidencia a urgência de um planejamento urbano que integre as

características ambientais locais, a fim de assegurar uma ocupação adequada na área.

O avanço contínuo da ocupação no entorno do distrito Usina Santana, pressionado pela expansão urbana e impulsionado pela atração do rodoanel, evidencia a urgência em se incorporar essa região ao perímetro urbano, a fim de que esta área receba os investimentos adequados para obras de infraestrutura. Esse processo expõe, também, a pressão crescente da urbanização em Teresina sobre os recursos naturais e reforça a necessidade de intervenções públicas que promovam o desenvolvimento sustentável.

A partir disso, podemos nos questionar: Qual a influência dos agentes produtores do espaço no processo do avanço das ocupações urbanas além do atual perímetro urbano de Teresina? Como a especulação imobiliária sobre chácaras e sítios da região promove o avanço das ocupações urbanas sobre a área rural? O Estado, enquanto regulador das ações no território, tem obtido sucesso na mitigação da influência da iniciativa privada na supervalorização dessas áreas em Teresina ou está agindo como agente produtor?

Estas indagações podem ter diversas respostas, porém, desde a década de 1970, o capital imobiliário tem agido intensamente em Teresina, devido à disponibilidade de glebas de terras nos limites do perímetro urbano da cidade. Os produtores imobiliários fizeram investimentos na produção de loteamentos privados e condomínios horizontais.

No entanto, foi a partir do final da década de 1990 e início da década de 2000 que se pôde verificar uma verdadeira explosão de loteamentos situados na periferia da cidade, especialmente nas regiões leste e sudeste de Teresina. Tais empreendimentos foram implantados em área de expansão e, posteriormente, incorporados ao perímetro urbano pela legislação, além de favorecimento de intervenções urbanas promovidas pela Estado (Lima, 2023). Este processo continua com força total em Teresina, com diversos loteamentos e empreendimentos avançando sobre a zona rural, assim dando continuidade ao ciclo do mercado imobiliário e, consequente, ao caos urbano.

Em Teresina, como em muitas outras cidades brasileiras, o Estado se vê conivente ou até mesmo participante do processo de expansão urbana, a partir da flexibilização da legislação, aprovação de projetos imobiliários em áreas de proteção

e/ou a falta de fiscalização eficaz. Isto fica evidente no PDOT, que não contempla porções do território com potencial para expansão urbana (como o caso da área delimitada neste estudo), para que ações de infraestrutura sejam implementadas, mesmo estando em evidência que esta área será ocupada e futuramente incorporada ao perímetro urbano. Em vez de mitigar a supervalorização das áreas e proteger o espaço rural, o Estado age como um dos agentes produtores do espaço, favorecendo a lógica de mercado da iniciativa privada.

É fundamental que gestores e planejadores urbanos de Teresina adotem uma abordagem integrada, considerando tanto os fatores fitogeográficos quanto os socioeconômicos para mitigar os riscos ambientais e promover uma ocupação que respeite as características naturais da região. A implementação de políticas públicas eficazes será essencial para garantir a qualidade de vida dos moradores atuais e futuros dessas áreas de expansão urbana em Teresina, equilibrando o desenvolvimento urbano com a preservação ambiental de forma integral em todo o território do município de Teresina, conforme prega o PDOT.

Portanto, é de suma importância que a análise geomorfológica seja integrada ao Plano Diretor de Ordenamento Territorial de Teresina, visando assegurar estudos das características morfológicas, hidrográficas e do relevo, de modo que assim contribua para a elaboração de planos de ação que possam, de fato, minimizar impactos causados por eventos ambientais decorrentes da ocupação de áreas com fragilidade socioambiental.

REFERÊNCIAS

ABREU, I. G. **O crescimento da zona Leste de Teresina***:* um caso de segregação? 1983. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1983.

ABREU, I. G.; LIMA, I. M. M. Fé**.** Igreja do Amparo: O Marco Zero de Teresina. **Revista Cadernos de Teresina**, p.15 20, 2000. Disponível em: https://iracildefelima.webnode.page/sobre-teresina/

ADELI, Z.; KHORSHIDDOUST, A. Application of geomorphology in urban planning: Case study in landfill site selection**. Elsevier**. The 2nd International Geography Symposium. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb Volume Pluviométrico de Teresina, Piauí (1980-2022).** Brasil. Brasília: ANA, 2023. Disponível: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download.

ALBUQUERQUE, P. C.; ALBUQUERQUE, M. P. A ocupação da zona rural com fins urbanos, o ordenamento territorial pelo município e a cidade sustentável. **Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade**. Brasília, v. 3, n. 1. p. 36 – 57, 2017.

ALMEIDA, M. **Políticas públicas da habitação e do transporte**: o caso da Região Metropolitana de Porto Alegre, RS. Porto Alegre. 1989. 167f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

AQUINO, A. E. B. **Contribuição à cartografia geotécnica no município de Teresina-PI:** cartas de suscetibilidade à ocorrência de solos problemáticos e prática de fundação com uso de geoprocessamento. 2020. 198f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

BALISA, D. L. S. **Projetos específicos de expansão urbana**: perspectivas e desafios à sua implementação na região metropolitana de Belo Horizonte. 2015. 185f. Dissertação (Mestrado em Ambiente construído e patrimônio sustentável). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

BARBOSA, L. G. **Análise da variação da vegetação na paisagem baseada nos princípios da geoecologia e na cartografia de paisagens**: estudo de caso em Altos, Nazárea e Teresina (Estado do Piauí, Brasil). 2020. 182f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, 2020.

BATHRELLOS, G. D. An overview in urban geology and urban geomorphology. **Bulletin of the Geological Society of Greece**,2007. Proceedings of the11º International Congress, Athens, May, 2007.

BIELSKI, C. *et al*. Novel Approach for Ranking DEMs: Copernicus DEM Improves One Arc Second Open Global Topography. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 62, 2024.

BOTELHO, A. **O urbano em fragmentos:** a produção do espaço e da moradia pelas práticas do setor imobiliário. São Paulo: Annablume: Fapespe, 2007.

BRASIL. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. **Agenda 21 brasileira**: ações prioritárias.2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

CAROZZI, A. *et al.* **Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluroeocarbonífera da bacia do Maranhão**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1975.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo.** Contexto: São Paulo, 1991.

CHAVES, S. V. V. **Vulnerabilidade às inundações em Teresina, Piauí**. 2015. 191f. (Tese de Doutorado em Geografia).Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

CHAVES, S. V. V.; TAVARES, A. C.; ANDRRADE, C. S. P. Vulnerabilidade às inundações em Teresina, Piauí e ações mitigadoras do poder público. **Sociedade e Território**. Natal, v. 29, n 2, 2017.

CÔRREA, R. L. **O espaço Urbano.** 4ª ed. São Paulo: Ática, 2005.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo: Ática, 1989.

CREMON, E. H. *et al.* Avaliação da altimetria do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 3, p. 536–546, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n3-60846

CRUZ, E. A.; CÓRDOBA, V. C.; SOUSA, D. C. Análise estratigráfica da sequência siluriana da Bacia do Parnaíba, Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 33-49, 2019.

CUNHA, S. B; GUERRA. A. J. T. Degradação Ambiental. *In:* CUNHA. S. B; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente.** 11 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012, p. 23-47.

CURY, M. D. *et al.* Mapeamento de áreas susceptíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 83, 2021.

DAL'ASTA, A. P.; RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA , L. E. de S. Análise de áreas de risco geomorfológico em Santa Maria - RS: o caso do morro Cechela. Simpósio Brasileiro De Geografia Física Aplicada, 11., 2005, São Paulo. **Anais eletrônicos [...]** São Paulo: USP. 2005. Disponível em: http://www.ufsm.br/lageolam/arquivos/paula.pdf. Acesso em: 27 abr. 2012.

DANTAS, C. G. **Experiências e aprendizado:** Rio Aricanduva: prevenção, resposta e mitigação. In: SULAIMAN, S. N; JACOBI, P. R. Melhor prevenir: Olhares e saberes para a redução de risco de desastre São Paulo: IEE-USP, 2018, p. 20-38.

DAOUDI, M.; NIANG, A. J. Effects of geomorphological characteristics on urban expansion of Jeddah city-Western Saudi Arabia: a GIS and Remote Sensing Data-Based Study (1965–2020), **Journal of Taibah University for Science**, v. 15, n. 1, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/16583655.2022.2026616

DOUGLAS, I. **Humid landforms.** Cambridge: MIT Press, 1977.

DOUGLAS, I. **The urban environment.** London: Edward Arnold, 1988.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009.

FAÇANHA, A. C. **A evolução urbana de Teresina**: agentes, processos e formas espaciais da cidade. 1998. 161f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.

FAÇANHA, A. C. A evolução urbana de Teresina: passado, presente e... **CEPRO**, Teresina, v.22, n.1, p.59-69, jan./jun. 2003.

FAÇANHA, A. C. **Desmistificando a geografia:** espaço, tempo e imagens. Teresina: EDUFPI, 2004.

FERNANDES, J.S.A. Desastres socioambientais: Impactos na política de saúde do Brasil. **O Social em Questão.** Ano XXIII - nº 48 - Set a Dez/2020.

FONSECA, V. L.; FONSECA, G. S. **A Paisagem de agonia do Rio Vieira em Montes Claros- MG**. 2012. Montes Claros: UNIMONTES, 2009.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Alterações ambientais na região metropolitana de Porto Alegre – RS: um estudo geográfico com ênfase na geomorfologia urbana. *In:* NUNES, J. O. R.; ROCHA, P. C. (Orgs.). **Geomorfologia:** aplicação e metodologias. São Paulo: Expressão Popular, 2008, p. 20-51.

GARCIA, P. M. B.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; CASAGRANDE, P. B. Geomorphological index as support to urban planning. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, dec. 2019. DOI: https://doi.org/10.4215/rm2020.e19003.

GARCÍA-SORIANO, D.; QUESADA-ROMÁN, A.; Zamorano-Orozco, J. J. Geomorphological hazards susceptibility in high-density urban areas: A case study of Mexico City. Elsevier: **Journal of South American Earth Sciences**, 2020.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C.B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia**, v. 21, n0 2, jul/dez. 2004.

GÓES, A. M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da bacia do Parnaíba**. 1995. 171f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GOUDIE, A. **Encyclopedia of Geomorphology**. New York: Routledge, 2004.

GOUVEIA, I.C.M.C.; ROSS, J.L.S. Fragilidade ambiental: uma proposta de aplicação de geomorphons para a variável relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, 2019.

GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas. *In:* GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental.** 7 ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2015.

HARVEY, D. **A justiça social e a cidade**. São Paulo: Hucitec, 1980.

HASUI, Y. *et al*. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012.

HAWKER, L. *et al*. A 30 m global map of elevation with forests and buildings Removed. ***Environ. Res. Lett****.* v. 17, e-024016, 2022.

HOOKE, J. M. **Geomorphology in Environmental Planning**. Plymourth: Jonh Willey and Sons Ltd., 1988.

INDE - INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPECIAIS. **Mapa de solos**: folha SB.23 (Teresina). 2014. Disponível em: http://www.visualizador.inde.gov.br/. Acesso em: 10 abr. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população do Brasil**. 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html?utm_source=portal&utm_medium=popclock. Acesso em: 20 ago. 2022

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base de faces e logradouros do Brasil.** 2021. https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/28971-base-de-faces-de-logradouros-do-brasil.html?=&t=downloads. Acesso em: 10 abr. 2023a.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha municipal digital do Brasil**: situação em 2021. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/. Acesso em: 10 abr. 2023b.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha municipal digital do Brasil**: situação em 2022. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/. Acesso em: 10 abr. 2023c.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

JORGE, M. C. O. Geomorfologia urbana: conceitos, metodologias e teorias. *In:* GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana** (Org.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 117-145.

LANDIM NETO, F. O.; FARIAS, J. F.; PAULA, E. M. S.; VIEIRA, T. F.; QUEROZ, A. P. Considerações iniciais sobre o planejamento urbano de bacias hidrográficas. *In:* BARBOSA, L. N. *et al.* (Orgs.). **Planejamento urbano de bacias hidrográficas.** Mossoró, RN, 2018.

LEAL JUNIOR, J. H. L. **Expansão Urbana, planos urbanísticos e segregação urbana:** o caso de Teresina-PI. 2014. 143f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

LIMA, A. J. **Gestão urbana e políticas de habitação social**: análise de uma experiência de urbanização de favelas. São Paulo: Annablume, 2010.

LIMA, A. J. **Minha casa minha vida:** impactos sobre as condições de vida de beneficiários em Teresina-Piauí e Timon-Maranhão. Teresina: Gráfica do Povo, 2023.

LIMA, A. J. Planos diretores e os dilemas da governança urbana no Brasil. **Textos e Contextos**, v. 2, n. 11, 2012.

LIMA, E. A. M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba**: integração Geológico-Metalogenética. Etapa III. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM, 1978.

LIMA, I. M. M. F. Teresina: urbanização e meio ambiente. **Scientia et Spes**, v. 1, n. 2, p. 181-206, 2002.

LIMA, I. M. M. F. O relevo de Teresina, PI: compartimentação e dinâmica atual. IX Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. **Anais [...],** Goiânia, 2011.

LIMA, S. M. S. A.; LOPES, W. G. R.; FAÇANHA, A. C. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 11, e20190037, 2019.

LIMA, S. M. S. A.; LOPES, W. G. R.; FAÇANHA, A. C. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 11, e20190037. 2019.

LINDSAY, J.B. Efficient hybrid breaching-filling sink removal methods for flow path enforcement in digital elevation models. **Hydrological Processes**, v. 30, p. 846–857, 2016.

MATTIVI, P.; FRANCI, F.; LAMBERTINI, A.; BITELLI, G. TWI computation: a comparison of diferente open source GISs. **Open Geospatial Data, Software and Standards**, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s40965-019-0066-y

MELO FILHO, J. M. M. **Dinâmicas urbanas regionais e arranjos institucionais**: uma análise a partir da RIDE – Grande Teresina (PI/MA). 2023. 178f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

MELO FILHO, J. M.M.; ESPINDOLA, G. M.; FAÇANHA, A. C. Impactos ambientais decorrentes da instalação do rodoanel na zona periurbana de Teresina-PI. **R. gest. sust. ambient**., Florianópolis, v. 10, n. 2, p. 45-64, jun. 2021.

MELO, F. de B.; DE ANDRADE JUNIOR, A. S.; PESSOA, B. L. O. Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI. Embrapa Meio-Norte-Documentos – **INFOTECA-E**, 2014.

MENDES, M. G. M. (Coord.). Diagnósticos setoriais: meio ambiente. *In:* TERESINA. Prefeitura Municipal de Teresina. **Teresina Agenda 2015:** a cidade que queremos. Diagnóstico e cenários: meio ambiente. Teresina,2000.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Base georreferenciada**: rodovias. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bitmodosmapas. Acesso em: 11 abr. 2023.

MIRON, L. I. G. **Gerenciamento dos requisitos dos clientes de empreendimentos habitacionais de interesse social**: proposta para o programa integrado entrada da cidade em Porto Alegre, RS. 2008. 351 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MIYAZAKI, L. C. P. Geomorfologia urbana: impactos no ambiente urbano decorrente da forma de apropriação, ocupação do relevo. **Geografia em Questão**, v. 04, n. 01, 2011.

MIYAZAKI, L. C. P. Elaboração da carta de compartimentação geomorfológica para estudo do relevo na área urbana de Ituiutaba (MG). **Espaço em Revista**, v. 19, n. 2 jul./dez. 2017.

MOHAPATRA, S. N.; PANI, P.; SHARMA, M. Rapid urban expansion and its implications on geomorphology: a remote sensing and gis based study. **Hindawi Geography Journal,** 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1155/2014/361459

MORAES, A. M. de. **Capacidade de uso da terra no município de Teresina**: elementos para uma política de conservação dos recursos naturais. 2004. 127f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal do Piauí, 2004.

MOREIRA, A. A. N. A cidade de Teresina. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, n. 230, ano 31, p. 3-185, 1972.

MOREIRA, V. B.; PEREZ FILHO, A.; DI MAURO, C. A. A influência do relevo e das coberturas superficiais no uso e ocupação das terras urbanas: alagamentos sazonais em topos de cimeira na cidade de Uberlândia/MG, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 41, 2021.

NUNES, H. K. B. **Paisagens antropogênicas em Teresina/Piauí**: dinâmica e processos superficiais associados. 2022. 276f. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2022.

O'BRIEN, B. C. *et al*. Standards for reporting qualitative research a synthesis of recommendations. **Academic Medicine**, v. 89, n. 9. Sep. 2014.

PARETA, K.; PRASAD, S. Geomorphic effects on urban expansion: a case study of small town in Central Índia. **Anais...** Annual International Conference and Exhibitiion on Geospatial Information Technology and Applications. India Geopatial Forum, 2012.

PINTO, V. C. **Direito urbanístico**: plano diretor e direito da propriedade. 4ed. rev. atual. e ampl. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2019.

POLIDORO, M; BARROS, M. V. F. Considerações sobre a expansão urbana dos municípios paranaenses localizados em trecho da Rodovia BR-369. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional** (G & DR). v. 8, n. 3, p. 322-341, set-dez/2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA. **Legislação Urbana de Teresina**. Teresina: Prefeitura Municipal de Teresina, 1988.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 7.0 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**. Disponível em: https://bit.ly/3Kjzej3. Acesso em: 21 jul. 2023.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 7.0 e 8.0 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**. S.d. Disponível em: https://bit.ly/3Kjzej3. Acesso em: 03 abr. 2024.

REIS FILHO, A. A. **Análise integrada por geoprocessamento da expansão urbana de Teresina com base no Estatuto da Cidade:** estudo de potencialidades, restrições e conflitos de interesse. 2012. 185f. Doutorado (Tese em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

REIS, E. B; VIANA, B. A. S. As novas perspectivas da expansão de moradia em Teresina e o ensino sobre cidade. *In:* VIANA, B. A. S; PORTELA, M. O. B; VALADÃO, R. C. (Orgs.) **Ensino da cidade de Teresina:** desigualdade socioespacial e os tipos de moradias. Sobral-CE: Sertão Cult, 2024.

RODRIGUES NETO, E. X; LIMA, A. J. Inundações em Teresina-Piauí: uma questão sócio-histórica. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180177

RODRIGUES, R. S. **Planejamento urbano em Teresina: análise das projeções de expansão urbana**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Piauí. 2013.

RODRIGUES, R. S.; VELOSO FILHO, F. A. Projeções da expansão urbana propostas pelos planos urbanos de Teresina-PI. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 13, n. 1, p. 53-77, jan./jun. 2015.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia:** ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 2012.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6, p. 17-30, 1992.

ROSS, J. L. S; FIERTZ, M. S. M. Geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental territorial: potencialidades e fragilidades. *In:* MAGNONI JÚNIOR, L. *et al*. (Orgs). **Redução de risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017.

ROVERE, E. L. L. **Metodologia de avaliação de impacto ambiental**. Documento final, “Instrumentos de Planejamento e Gestão Ambiental para à Amazônia, Pantanal e Cerrado – Demandas e Propostas”. Brasília: IBAMA, 1992.

SALVADOR, D.S.C.O. A geografia e método dialético. **Sociedade e Território**, v. 24, n. 1, p. 97 - 114, jan./jun. 2012.

SANTORO, P. F; COBRA, P. L; BONDUKI, N. Cidades que crescem horizontalmente: o ordenamento territorial justo da mudança de uso rural para urbano. **Cad. Metrop**., v. 12, n. 24, pp. 417-440, jul/dez 2010.

SANTOS, L. A.; LIMA, I. M. M. F. Parque ambiental Lagoas do Norte: saneamento e conservação do ambiente entre os bairros Matadouro e São Joaquim, Teresina, Piauí, Brasil. **Caminhos de Geografia**,v. 16, n. 54 Jun/2015 p. 224–238.

SANTOS, L. A; NÓBREGA, R. A. A. Modelagem geográfica explícita na predição de cenários de supressão de vegetação induzidas por rodovias. *In:* SANTOS, F. (Org.:). **Geografia no século XXI**. V. 8. Belo Horizonte: Poisson, 2022.

SANTOS, M. **A natureza do espaço:** técnica e tempo, razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 1999.

SANTOS, M. **Espaço e método.** São Paulo: Nobel, 1997.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos. **Rodoanel Mário Covas**: avanços e benefícios para a Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, 2016.

SCHOBBENHAUS FILHO, C.; CAMPOS, D. A. A evolução da plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. *In:* SCHOBBENHAUS FILHO, C. *et al.* **Geologia do Brasil**: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:250.000. Brasília: DNPM, 1984.

SILVA, A. S. Solos urbanos. *In:* GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

SILVA, E. V. Geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental: sua importância na elaboração dos planos diretores municipais. **Revista de Geografia**, v. 35, n. 4, 2018.

SILVA, E. N. *et al.* Avaliação de Impactos Ambientais do Corte Florestal com Harvester. **Enciclopédia biosfera**, v. 8, n. 14, p. 1062-1076, 2012.

SILVA, G. P.; VELOSO FILHO, F. A. A expansão horizontal de Teresina e as tendências recentes de adensamento urbano. *In:* FAÇANHA, A. C; SILVA, C. C; DIAS, O. L. C. (Orgs). **Teresina e as cidades na região**. Goiânia: C&A Alfa Comunicação, 2020.

SILVA, L. S.; TRAVASSOS, L. Problemas ambientais urbanos: desafios para a elaboração de políticas públicas integradas. **Cadernos Metrópole**. 19, 27-47, 2008.

SILVA, J. X. da. Geomorfologia e Geoprocessamento. *In:* GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos. 10ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

SILVEIRA, T. C.; SOARES, F. S. A espacialidade e historicidade do 'Jardim' A Usina Santana como eixo de mudanças espaciais no bairro Santana, Teresina-PI. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, 2016. Disponível em: http://www.eumed.net/rev/cccss/2016/04/jardim.html.Acesso em: 25 de ago. 2024.

SOUSA, S. R. C. T; VIANA, B. A. S. Verticalização urbana de Teresina-PI: considerações a respeito da produção do espaço a partir da construção vertical. **InterEspaço**, v. 5, n. 16, p. 1-24, jan./abr. 2019.

SOUSA, T.M. *et al*. Ocupações de encostas e impactos socioambientais urbanos nas vilas Bandeirantes I, II e III, localizadas nos bairros Porto do Centro, Satélite e Samapi, em Teresina (PI). **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v. 10, n.1, p. 204-209, 2014.

SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento urbano de baixo impacto**. 2005. Disponível em: http://rhama.net/download/artigos/artigo103.pdf. Acesso em: 20 jul. 2024.

TERESINA. **Plano de Desenvolvimento Sustentável** – Teresina Agenda 2015. Lei nº 3.558, de 20 de outubro de 2006.

TERESINA. **Plano Diretor de Ordenamento Territorial – PDOT**. Lei complementar nº 5.481, de 20 de dezembro de 2019.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento (SEMPLAN). **Perímetro urbano**: 2022. Disponível em: https://semplan.pmt.pi.gov.br/mapas-interativos/. Acesso em: 21 de abr. de 2023.

THUO, D. M. A. Impacts Of Urbanization On Land Use Planning, Livelihood And Environment In The Nairobi Rural-Urban Fringe, Kenya. **International Journal of Scientific & Technology Research**. v 2, issue 7, july 2013.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, jan. 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002. Acesso em: 25 agosto. 2024.

VAN BERKUM, S. How Urban Growth in the Global South Affects Agricultural Dynamics and Food Systems Outcomes in Rural Areas: A Review and Research Agenda. **Sustainability**, 2023, 15, 2591. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su15032591

VAN NES, A. The Impact of the Ring Roads on the Location Pattern of Shops in Town and City Centres. A Space Syntax Approach. **Sustainability.** 2021, 13, 3927. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su13073927

VASCONCELLOS FILHO, Paulo C. B.; AFFONSO, Carlos Antônio Alves. Teresina: uma capital em expansão. **Teresina em Revista**, ano 1, n. 1, p. 38-41, ago. 1990.

VAZ, P. T. *et al*. A Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 253-263, maio/nov. 2007.

VIANA, B. A. S. **Caracterização estratigráfica, química e mineralógica do massará e conflitos socioambientais associados a sua exploração em Teresina, PI, Brasil**. 2013. 189f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

VILLAÇA, F. São Paulo: segregação urbana e desigualdade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, 2011.

WENQIU, M. *et al.* How do population decline, urban sprawl and industrial transformation impact land use change in rural residential areas? A comparative regional analysis at the peri-urban interface. **Journal of Cleaner Production**, Volume 205, 2018, Pages 76-85. Disponível em : https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.323