



Lisandra Cristine Monteiro Blanco

**Expansão urbana, diminuição de áreas verdes e a influência
na *Land Surface Temperature* (LST) na cidade de Belém, PA:
uma análise por meio de NDBI e NDVI**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



Lisandra Cristine Monteiro Blanco

**Expansão urbana, diminuição de áreas verdes e a influência na
Land Surface Temperature (LST) na cidade de Belém, PA: uma
análise por meio de NDBI e NDVI**

Dissertação de Mestrado

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués

Belém
Dezembro de 2021

Expansão urbana, diminuição de áreas verdes e a influência na *Land Surface Temperature* (LST) na cidade de Belém, PA: uma análise por meio de NDBI e NDVI

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre.

Belém, 20 de dezembro de 2021

Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués

Orientador

Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

Banca Examinadora

Prof^a.Dr(a). Luciana Londero Brandli

Examinador(a) Externo(a)

Faculdade de Engenharia Civil – UPF

Prof^a. Dr(a). Norma Ely Santos Beltrão

Examinador(a) Externo(a)

Centro de Ciências Naturais e Tecnologia – UEPA

Prof^a. Dr(a). Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

Examinador(a) Interno(a)

Faculdade de Engenharia Civil - UFPA

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Lisandra Cristine Monteiro Blanco

TÍTULO: Expansão urbana, diminuição de áreas verdes e a influência na Land Surface Temperature (LST) na cidade de Belém, PA: uma análise por meio de NDBI e NDVI

GRAU: Mestre ANO: 2021

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito da autora.

Lisandra Cristine Monteiro Blanco

Rua Geroncio Thives, 920

Barreiros

88.117-900 São José – SC – Brasil

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B638c Blanco, Lisandra Cristine Monteiro.
Expansão urbana, diminuição de áreas verdes e a influência na
Land Surface Temperature (LST) na cidade de Belém, PA : uma
análise por meio de NDBI e NDVI / Lisandra Cristine Monteiro
Blanco. — 2021.
96 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués
Coorientação: Profª. Dra. Norma Ely Santos Beltrão
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Belém, 2021.

1. Adensamento populacional. 2. Sustentável. 3.
Temperatura de superfície. I. Título.

CDD 620

EXPANSÃO URBANA, DIMINUIÇÃO DE ÁREAS VERDES E A INFLUÊNCIA NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE BELÉM, PA: UMA ANÁLISE POR MEIO DE NDBI E NDVI

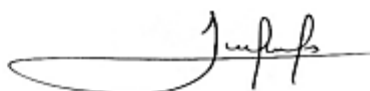
AUTORA:

LISANDRA CRISTINE MONTEIRO BLANCO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 20 / 12 / 2021.

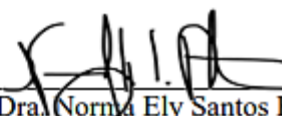
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués
Orientador (UFPA)



Profa. Dra. Luciana Londero Brandli
Membro Externo (UFPA)



Profa. Dra. Norma Ely Santos Beltrão
Membro Externo (UEPA)



Profa. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro
Membro Interno (UFPA)

Visto:



Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGE / ITEC / UFPA

Dedico este trabalho a minha Ana Luiza
A minha amiga e irmã Ana Victória
A Deus

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”.

(Simone de Beauvoir)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, meu Abba e sustento, a quem dou toda honra e glória deste trabalho, pois não é sobre o que o Senhor faz, mas quem Ele é. Inúmeras foram as vezes que Sua misericórdia, mas principalmente Amor me deram alívio, consolo e forças para seguir diante das adversidades. Obrigada, Pai, por tanto Amor e zelo; sem Ti eu não conseguiria! TU NÃO FALHAS!

Agradeço também à Universidade Federal do Pará, a qual foi como um segundo lar durante o período em que nela estive, além de contribuir para minha formação acadêmico-científica e realização de um grande sonho...meu tão almejado Mestrado. É com muito orgulho que carrego o nome de uma das melhores Universidades do norte do país.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués, o qual me orientou de forma incansável, não diminuindo o nível de exigência, quando na verdade, apenas queria extrair o melhor de mim, pois sabia que eu poderia ir muito além do que imaginava. Obrigada pelas conversas, chamadas de atenção e seu apoio para que assim realizássemos este trabalho.

À minha coorientadora Profa. Dra. Norma Ely Beltrão por toda sua contribuição técnico-científica neste trabalho, que por diversas vezes conversava, fazendo tudo parecer mais tranquilo e acreditou em mim do início ao fim. Palavras não serão suficientes para expressar o quanto lhe sou grata. Também agradeço ao meu eterno orientador Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes que me inseriu neste vasto mundo que é a pesquisa científica. Obrigada por todo seu apoio durante todos estes anos.

Minha gratidão aos meus pais, Keile Monteiro e Marco Blanco, que indubitavelmente sempre se sacrificaram para que hoje eu pudesse estar aqui; bem como à minha irmã Alanda Blanco. Sempre me incentivaram, apoiaram e não duvidaram, me reabasteciam de amor e apoio quando a caminhada estava árdua.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado, escutando e tornando a jornada menos exaustiva. Cada um que de algum modo contribuiu com palavras, momentos alegres e amparo em dias difíceis; e mais que isso, com amor para que hoje eu pudesse estar aqui. Muito obrigada! (Ressaltando: Ana Victória, Jéssica, Lorena, Shara, Luanda e Daniel).

Por último, e não menos importante, ao meu Amor em forma de filha, minha amada Ana Luiza. Foste luz e acalento à mamãe mesmo sem saber ou entender, és bênção e minha vida não seria a mesma sem ti. Mais uma vez me ensinas que sacrifícios e prioridades são questões muito além de primazia, porém de Amor. Obrigada, meu amor.

Resumo

As atividades antrópicas necessitam de recursos naturais para que possam ser desempenhadas e a forma que estes recursos são utilizados determina o grau dos impactos ambientais que ocorrem no meio. Nesse contexto, embora a construção civil seja uma das principais atividades responsáveis pelo desenvolvimento de uma economia, muitas vezes torna-se grande geradora de impactos ambientais. Esta pesquisa se justifica por investigar os cenários gerados frente a expansão urbana e a forma que afeta o meio ambiente da cidade de Belém, Pará, além de fazer um levantamento da expansão urbana do município e mudanças de temperatura em uma área de expansão imobiliária nos últimos 31 anos. O presente trabalho teve como objetivos analisar o impacto da expansão da mancha urbana sobre as áreas verdes periféricas no município de Belém-PA, tendo como área de estudo um corredor de crescimento imobiliário; e assim estabelecer um histórico dos últimos 31 anos (1989-2020) por meio de georreferenciamento e geração de mapas temáticos da área estudada, além de verificar a atual conjuntura do uso e ocupação do solo do objeto de estudo por meio de índices de vegetação (NDVI) e índice de áreas construídas (NDBI), bem como analisar e relacionar tais índices à *Land Surface Temperature* (LST) da área estudada. A metodologia utilizada foi de objetivos do tipo exploratório com revisão bibliográfica em livros e artigos científicos e contou com ferramentas de geoprocessamento para a geração de mapas de uso e ocupação do solo (NDVI e NDBI) e temperatura de superfície, além de análise estatística para realizar a correlação entre os parâmetros analisados. Em relação aos resultados e discussão, foram gerados mapas composição RGB e dos índices NDVI e NDBI para verificar os valores atribuídos às classes o crescimento de áreas construídas e diminuição de áreas verdes no decorrer dos anos. No que tange aos mapas de *Land Surface Temperature* (LST), verificou-se que as temperaturas aumentaram no decorrer do tempo e eram menores nos locais com presença de vegetação. Desse modo, o uso de geotecnologias auxilia nessa compreensão, bem como no planejamento urbano-espacial, além de ajudar na gerência de atividades, recursos e proteção ambiental para que ocorra uma melhor compreensão das características e relações geradas no espaço urbanístico belenense, diminuição da sua cobertura vegetal, bem como dos demais fatores que o envolve, importante para entender as mudanças territoriais (novas configurações de áreas residenciais, industriais e/ou comerciais) e suas consequências ambientais

Palavras-chave: Adensamento populacional. Sustentável. Temperatura de superfície.

Abstract

Anthropogenic activities need natural resources so that they can be performed and the way these resources are used determines the degree of environmental impacts that occur in the environment. In this context, although civil construction is one of the main activities responsible for the development of an economy, it often becomes a major generator of environmental impacts. This research is justified by investigating the scenarios generated in the face of urban expansion and the way it affects the environment of the city of Belém, Pará, in addition to making a survey of the urban expansion of the municipality and changes in temperature in an area of real estate expansion in the last few years. 31 years. The present work aimed to analyze the impact of the expansion of the urban sprawl on the peripheral green areas in the city of Belém-PA, having as a study area a real estate growth corridor; and thus establish a history of the last 31 years (1989-2020) through georeferencing and generation of thematic maps of the studied area, in addition to verifying the current situation of land use and occupation of the object of study through vegetation indices (NDVI) and built-up areas index (NDBI), as well as analyzing and relating these indices to the Land Surface Temperature (LST) of the studied area. The methodology used was of exploratory type with bibliographic review in books and scientific articles and had geoprocessing tools to generate maps of land use and occupation (NDVI and NDBI) and surface temperature, in addition to statistical analysis to perform the correlation between the parameters analyzed. Regarding the results and discussion, maps of the RGB composition and of the NDVI and NDBI indices were generated to verify the values attributed to the classes, the growth of built-up areas and the decrease of green areas over the years. Regarding the Land Surface Temperature (LST) maps, it was found that temperatures increased over time and were lower in places with the presence of vegetation. In this way, the use of geotechnologies helps in this understanding, as well as in urban-spatial planning, in addition to helping in the management of activities, resources and environmental protection so that a better understanding of the characteristics and relationships generated in the urban space of Belém occurs, reduction of its vegetation cover, as well as other factors that involve it, important to understand territorial changes (new configurations of residential, industrial and/or commercial areas) and their environmental consequences

Keywords: Population densification. Sustainable. Surface temperature.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTO DO TEMA E PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA	3
1.3 OBJETIVOS DE PESQUISA	5
1.3.1 Objetivo Geral	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	6
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 ASPÉCTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	7
2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUSTENTABILIDADE	8
2.2.1 Cidades Sustentáveis	11
2.2.2 Agenda 2030 e ODS's	13
2.2.3 Planejamento urbano e Plano Diretor.....	14
2.3 ANÁLISE SOCIOESPACIAL.....	16
2.4 ANÁLISE AMBIENTAL	18
2.5 MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO	20
2.6 EXPANSÃO URBANA E CORREDORES IMOBILIÁRIOS	22
2.7 INFRAESTRUTURA VERDE	23
2.7.1 Áreas Verdes.....	25
2.7.2 Áreas Verdes Urbanas	25
2.8 GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL	27
2.8.1 Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Meio Ambiente.....	29
2.9 INDICADORES AMBIENTAIS OBTIDOS POR GEOPROCESSAMENTO....	30
2.9.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) X Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI) X Temperatura de Superfície (LST). 30	
2.10 FENÔMENOS NATURAIS E INFLUÊNCIA NA TEMPERATURA	33
3. MÉTODO DE PESQUISA	35
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	35
3.2 CARACTERIZAÇÃO E DELINEAMENTO DA PESQUISA	36
3.2.1 Etapa 01 – Busca dos Eixos temáticos e Pesquisa Bibliográfica	38
3.2.2 Etapa 02 - Coleta de dados	38
3.2.3 Etapa 03 – Tratamento e Análise de dados	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 MAPAS TEMÁTICOS.....	50
4.1.1 Composição RGB.....	51

4.1.2 NDVI.....	52
4.1.3 NDBI.....	54
4.2 RELAÇÃO ENTRE LST, NDVI e NDBI.....	59
5. CONCLUSÃO.....	64
5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES	64
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
REFERÊNCIAS	67

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	14
FIGURA 2 – EFEITOS GLOBAIS ‘LA NIÑA’ (PERÍODO JUNHO-JULHO- AGOSTO).....	34
FIGURA 3 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA RODOVIA AUGUSTO MONTENEGRO	35
FIGURA 4 – CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	37
FIGURA 5 – DELINEAMENTO DA PESQUISA.	37
FIGURA 6 – COLETA E ANÁLISE DE DADOS	39
FIGURA 7 – FLUXOGRAMA PARA A GERAÇÃO DOS MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE.....	42
FIGURA 8 – MAPAS DE COMPOSIÇÃO RGB REFERENTE AOS ANOS DE 1989, 1999, 2013 E 2020	51
FIGURA 9 – MAPAS DO NDVI REFERENTE AOS ANOS 1989, 1999, 2013 E 2020	52
FIGURA 10 – MAPAS DO NDBI REFERENTE AOS ANOS 1989, 1999, 2013 E 2020	54
FIGURA 11 – MAPAS DE LAND SURFACE TEMPERATURE (LST) REFERENTE AOS ANOS 1989, 1999, 2013 E 2020.....	56
FIGURA 12 – OCORRÊNCIAS E NÍVEIS DE INTENSIDADE DO FENÔMENO LA NIÑA	58

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ANÁLISE DO OBJETIVO E PÚBLICO ALVO DOS MODELOS	12
QUADRO 2 - SIGNIFICADO DOS RESULTADOS DE 'R'.....	48

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO DO TEMA E PROBLEMÁTICA

De maneira geral, todos os seres estão inseridos em um meio, e segundo Tybuscht *et al.* (2016), o meio ambiente é desenvolvido por componentes naturais e artificiais, os quais se interrelacionam e são mutáveis principalmente por ações antrópicas.

No Brasil, de acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938 de 1981), meio ambiente é “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, obriga e rege a vida em todas as suas formas” (BRASIL, 1981). Ainda segundo a legislação, o artigo 225 da Constituição Federal de 1988 concede novas denotações ao meio ambiente, deixando de ser apenas natural e físico, mas artificial, cultural e do trabalho (BRASIL, 1988).

Nesse sentido, é válido ressaltar que embora o conceito de meio ambiente associe-se ao de natureza, não é somente ela, podendo o ambiente ser urbano, sendo esse de características principalmente artificiais, no qual se estabelecem relações de território e poder, bem como práticas socioespaciais (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Diante disso, é sabido que toda e qualquer atividade gera impactos ao ambiente, e a forma que o ser humano se relaciona com seu meio, determinará a intensidade do impacto ocasionado ao mesmo (NETO *et al.*, 2018). Dessa forma, embora a construção civil seja uma das principais atividades responsáveis pelo desenvolvimento de uma economia, demonstra-se como grande geradora de impactos ambientais.

Nesse contexto, o aumento da expansão urbana se refere a um processo construtivo proposto por ações público-privadas, em que a gestão pública, legislação urbana e de mercado desempenham funções determinantes, pois o crescimento da maioria das cidades brasileiras trata de um processo intenso e rápido, ocasionando impactos nas esferas social, econômica e ambiental (LEONELLI; CAMPOS, 2018).

No que tange a esta temática, com o crescimento das cidades, houve a necessidade e maior demanda por áreas construtivas, e áreas antes especulativas tornaram-se grandes corredores imobiliários (LIMA; LOPES; FAÇANHA, 2019). Diante dessa realidade, um dos impactos mais relevantes ocasionados pela construção civil é a retirada de vegetação

de determinadas áreas para que se possa construir, modificando ecossistemas, vizinhança e até mesmo a temperatura do ambiente (LUCON, FILIPE; LONGO, 2019).

Entende-se dessa maneira, que o crescimento das cidades implica em um aumento dos impactos gerados ao meio ambiente o que provoca diversos efeitos negativos tanto a sociedade civil, economia, quanto à gestão pública, demandando uma maior atenção à criação de alternativas que promovam a melhoria da qualidade de vida dos indivíduos (CABRAL; GOTHARDO, 2014).

Nesse seguimento, com a expansão urbana e aparecimento desses corredores imobiliários, surgiram novas formas de uso e ocupação do solo e o consequente decréscimo de áreas verdes, lembrando que estas áreas são de suma importância para os sistemas ambientais urbanos, contribuindo com o conforto térmico, diminuição da poluição sonora, do ar, além de desempenharem funções recreativas e paisagísticas (GUIMARÃES *et al.*, 2020).

Dessa forma, com o crescimento das cidades, os modos de produção industriais atuais têm utilizado os recursos naturais de maneira pouco sustentável, gerando todo e qualquer tipo de poluição, ou seja, degradação da qualidade do meio ambiente, além de perdas na qualidade de vida da própria população (GANEM; JURAS, 2015).

Conhecer e compreender esse ambiente e os problemas gerados nele, significa ampliar a visão de mudança de atitudes necessárias para que se possa atingir a sustentabilidade (DIAS, 2015). Desse modo, com a urbanização, houve a necessidade de maior infraestrutura e oferta de melhor qualidade de vida à população; surgindo a necessidade de ferramentas que consigam identificar as áreas verdes e a perda das mesmas (ALVES, 2015; FONSECA, 2019).

Nesse sentido, tais análises de uso e ocupação do solo podem ser realizadas por meio de sensoriamento remoto por exemplo, pois as imagens orbitais possibilitam avaliações, observações de fenômenos e até melhor planejamento das áreas urbanas e o que futuramente pode ser realizado, a fim de mitigar e diminuir possíveis impactos gerados (PORTIS; SANTOS; NUNES, 2020).

Assim, a abordagem de expansão urbana, áreas verdes e análise socioespacial traz a necessidade da incorporação de um acervo de dimensões, legislação e ferramentas que

busquem compreender o seu processo de ocorrência, fazendo com que haja uma crescente demanda por estudos que demonstrem as relações socioeconômicas, ambientais, políticas, institucionais e que promovam um desenvolvimento sustentável para municípios (ARANA; FROIS, 2016).

Diante desse contexto, a cidade de Belém do Pará é um relevante e propenso cenário para formulação de estudos acerca do crescimento urbano, corredores imobiliários e os impactos gerados ao meio ambiente por ser uma cidade que retrata muito bem as disparidades entre a qualidade ambiental e o desenvolvimento de sua população, além de ser uma das principais cidades da região amazônica (PONTE, 2015).

Com base no que foi exposto, este estudo foi realizado no município de Belém/PA. Foram analisadas bases de dado de Sistemas de Informação Geográfica para a geração de mapas, para que assim pudesse ser caracterizada, a área de estudo do munícipe em questão; além do levantamento da literatura e as legislações vigentes para que fossem analisadas as principais temáticas e eixos abordados no trabalho: expansão urbana, áreas verdes urbanas, construção civil e impactos socioambientais.

1.2 JUSTIFICATIVA

A nível nacional, a Constituição Federal de 1988 em seu artigo 182º, bem como a Lei Federal de nº 10.257/01 que estabelece o Estatuto da Cidade 2001 e Ministério das Cidades de 2003 competem aos municípios gerenciar e administrar programas que visem o desenvolvimento e crescimento sustentável, segundo diretrizes estabelecidas no Plano Diretor de municípios e orientando para questões sociais, econômicas e ambientais.

Nesse sentido, de acordo com a Lei municipal nº 2/99, de 19 de julho de 1999 – Lei Complementar de Controle Urbanístico – a qual dispõe sobre o parcelamento, ocupação e uso do solo urbano do município de Belém, em seu artigo 3º afirma que os agentes imobiliários e a organização e ordenamento urbano deverão ser orientados segundo questões como preservação ambiental, respeito às paisagens da cidade, assentamento de vazios urbanos e aumento de áreas construídas; e em seu inciso V defende como objetivo: “garantia da urbanização das Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS, visando à melhoria da qualidade de vida da população das baixadas e invasões, sobretudo pela elevação das condições de saneamento e qualidade ambiental”.

Os princípios fundamentais para a execução da (nova) política Urbana de Belém, foram instituídos pela Lei nº 8.655, de 30 de julho de 2008 - Plano Diretor do Município de Belém com função social da cidade e da propriedade urbana, a qual comporta o direito à preservação do patrimônio ambiental e cultural do Município e que deve levar em conta o respeito ao direito de vizinhança, a segurança do patrimônio público e privado, a preservação e recuperação do ambiente natural e construído; bem como sustentabilidade, que consiste no desenvolvimento local socialmente justo, ambientalmente equilibrado e economicamente viável.

Além disso, ainda na esfera municipal, há a Lei nº 8909, de março de 2012, a qual dispõe sobre o plano municipal de arborização urbana de Belém e dá outras providências; sendo um instrumento de planejamento municipal para a implantação de política de preservação, manejo e expansão da arborização urbana no Município.

Nesse contexto, fica evidente a relação entre áreas verdes urbanas e saúde da população, bem estar e qualidade de vida, e nesse sentido, Campos e Castro (2017) afirmam que:

“A conservação das áreas verdes urbanas se justifica por sua contribuição para a melhoria da qualidade ambiental em espaços urbanos, por meio das funções sociais, ecológicas, históricas, estéticas e educativas que podem desempenhar. De modo objetivo, a escassez de áreas verdes intensifica a formação de ilhas de calor urbanas, afeta a qualidade do ar e aumenta a intensidade da ocorrência de inundações e enchentes. Podemos considerar que a existência de áreas verdes terá implicações para a saúde da população [...]”

Assim sendo, para que ocorra uma melhor compreensão das características e relações geradas no espaço urbanístico belenense, diminuição da sua cobertura vegetal, bem como dos demais fatores que o envolve, é importante entender as mudanças territoriais (novas configurações de áreas residenciais, industriais e/ou comerciais) e suas consequências socioambientais (BENINI; ROSIN, 2020; SERRÃO; BELATO; DIAS, 2019). Desse modo, o uso de geotecnologias auxilia nessa compreensão, bem como no planejamento urbano-espacial, além de ajudar na gerencia de atividades, recursos e proteção ambiental (MENDES, 2019).

Ainda com base nos estudos supracitados ficou evidente a lacuna presente sobre o tema na literatura, poucos são os estudos que tratam a questão da expansão urbana e análise por meio de geoprocessamento na área pesquisada, os agentes envolvidos e como

lidam com a gestão ambiental na cidade de Belém do Pará, de modo que fica evidenciado a importância e relevância do presente estudo.

Portanto, em termos científicos, esta pesquisa contribuirá para a ampliação do conhecimento sobre áreas verdes urbanas, processos de urbanização, análise espaço temporal e análise de impactos gerados. Em termos sociais, essa pesquisa tem grande relevância por fazer avaliações de questões que afetam a população, principalmente no quesito qualidade de vida e sua relação com áreas verdes. Em termos políticos, a pesquisa é importante porque vai levantar dados de geoprocessamento que poderão auxiliar na elaboração de políticas públicas e privadas que visem uma gestão mais sustentável para a cidade. No contexto ambiental, esta pesquisa se justifica por investigar os cenários gerados frente a expansão urbana e a forma que este fenômeno vem afetando o meio ambiente da cidade de Belém, Pará, além de gerar um levantamento de dados dos municípios de seu território.

Assim, em relação a estas questões que esta pesquisa irá se posicionar, será respondida a seguinte pergunta norteadora: de que maneira a expansão urbana e as construções influenciam na diminuição de áreas verdes no município de Belém/PA, bem como a forma que o meio ambiente é afetado?

1.3 OBJETIVOS DE PESQUISA

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o impacto da expansão da mancha urbana sobre as áreas verdes periféricas no município de Belém-PA, tendo como área de estudo um corredor de crescimento imobiliário.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer um histórico dos últimos 30 anos (1989-2020) por meio de georreferenciamento e geração de mapas temáticos da área de estudo;
- Verificar a atual conjuntura do uso e ocupação do solo da área estudada por meio de índices de vegetação (NDVI) e índice de áreas construídas (NDBI);

- Analisar e relacionar os índices NDVI e NDBI gerados à *Land Surface Temperature* (LST) da área estudada.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo está estruturado em 5 capítulos conforme o exposto a seguir:

- a) Capítulo 1: formado pela introdução, contextualização do tema e problemática, além da justificativa e relevância do tema, bem como seus objetivos geral e específicos;
- b) Capítulo 2: desenvolvimento da revisão de literatura acerca do tema abordado na pesquisa e demais aspectos relacionados;
- c) Capítulo 3: aborda a descrição dos métodos, modelos e caracterizações utilizadas, além do tratamento e análise dos dados para a geração dos mapas de uso e ocupação do solo da área objeto de estudo;
- d) Capítulo 4: apresentação dos resultados obtidos e discussões abordadas a partir dos mapas gerados, por meio dos métodos e etapas utilizadas;
- e) Capítulo 5: serão realizadas as considerações finais do trabalho, bem como dificuldades encontradas acerca da abordagem da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é um setor da economia de importância estratégica, que no decorrer do tempo se transforma de acordo com a tecnologia e tendências. Nesse sentido, é também um segmento responsável por grandes modificações da paisagem, além de utilizar grandes quantidades de recursos naturais, causando significativos impactos ambientais ao meio (VECHI; GALLARDO; TEIXEIRA, 2016).

Nesse enredo, a construção civil é um dos setores de que mais afetam e degradam o meio ambiente, seja por meio da grande geração de resíduos, larga utilização de recursos naturais ou do desmatamento para a construção de novas áreas e consequente alterações de ecossistemas, paisagísticas e/ou urbanas (BARBOSA *et al.*, 2018).

Diante disso, faz-se necessária a incorporação de novas tecnologias e ferramentas que resguardecem ou atenuem a degradação ambiental, e auxiliem em uma construção civil mais sustentável, competitiva e que atenda às necessidades da população por meio de análises socioambientais, preservando a qualidade de vida (CRISTINA *et al.*, 2018).

Desse modo, com a força que a área ambiental vem ganhando em diversos setores nas últimas décadas, inclusive na construção civil, o desenvolvimento sustentável neste setor vem como uma resposta necessária aos impactos ocasionados; seja por meio do controle de resíduos gerados, diminuição de recursos explorados, bem como projetos que consigam conciliar qualidade ambiental e crescimento urbano (OLIVEIRA; FARIAS, 2019).

No tocante a esta temática, são criados indicadores, critérios e métodos para avaliar os impactos ambientais das construções, avaliando o uso dos insumos e recursos naturais, evitando desperdícios e otimizando a energia do processo, além de analisar aspectos sociais e econômicos, no sentido dos ganhos que a construção ou empreendimento trará a população e economia (SANTOS; ROCHA, 2018).

Dessa forma, tal setor é bastante representativo na economia brasileira e funciona como termômetro para saber se o mercado está aquecido ou não, contribuindo com a geração de empregos e desenvolvimento econômico do país, pois movimenta diferentes áreas, além de impulsionar o mercado imobiliário como um todo: residencial e não

residencial (FÉLIX *et al.*, 2016). E nesse sentido, a construção civil também pode trazer muitos impactos positivos a sociedade: obras para fornecimento de serviços público-privados, infraestrutura e habitação (PEDROSA; MIRANDA; RIBEIRO, 2016).

Nesse contexto, busca-se cada vez mais a sustentabilidade, visto que ela procura equilibrar as demandas sociais de recursos naturais, sua exploração e preservação dos mesmos para que se faça uso hoje, mas de maneira a garanti-los às futuras gerações (equidade intergeracional) (CONTO; OLIVEIRA; RUPPENTHAL, 2017).

Assim, nota-se que a sustentabilidade é um conceito complexo que demanda a utilização novas tecnologias às existentes atualmente, bem como novos hábitos para a tomada de decisões, e na construção civil, manifesta-se por meio de métodos que possibilitem a avaliação do desempenho ambiental e da sustentabilidade de construções (MARQUES; DALVI; ALVAREZ, 2018). Atualmente, um dos maiores desafios da construção civil continua sendo aliar seus processos produtivos com práticas mais sustentáveis.

O setor da construção civil nas últimas décadas vem se modificando a fim de tornar-se mais competitivo, inovando em tecnologias para melhor aproveitamento e uso de recursos e matérias: práticas mais sustentáveis na construção (ROQUE; PIERRI, 2019). Nesse segmento, técnicas ditas “verdes” podem também diminuir custos de obras, além claro, de reduzir impactos ambientais, modernizar a infraestrutura das cidades e melhorar a qualidade de vida da população (SILVA *et al.*, 2018).

Portanto, é inevitável não pensar na tríade do desenvolvimento sustentável, visto que aplicar técnicas mais sustentáveis implica também na redução de insumos na construção civil bem como aumento da eficiência energética do processo, além de outras tecnologias que visem um setor de construção cada vez mais socio ambientalmente coerente (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2017).

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUSTENTABILIDADE

Durante a história da humanidade, seu progresso ocorreu na maior parte do tempo de forma gradual, mas desde meados do século XX veio alcançando níveis vertiginosos, o que desencadeou e agravou uma série de problemas de cunho ambiental, social e até mesmo econômico (MARTINE; ALVES, 2015). Nesse âmbito, o desenvolvimento

outrora tido como sinônimo de progresso e crescimento, tornou-se grande causador do uso desenfreado e depredação de recursos naturais (MENDES; TYBUSCH, 2016).

Os recursos naturais são componentes da natureza que possuem alguma utilidade ou serventia ao ser humano: sobrevivência, aumento da qualidade de vida e em alguns segmentos tidos também como matéria prima ou insumos para a execução de atividades (SOARES et al., 2017).

Estes recursos são divididos em dois grandes grupos de acordo com a capacidade de esgotamento: renováveis e não renováveis, sendo o primeiro, os recursos que podem retornar aos níveis iniciais por meio processos naturais após a exploração; já o segundo, não podem ser reabastecidos ou renovados pelo próprio ambiente após serem explorados (BARBOSA, 2016).

Nesse sentido, a grande problemática está nos não renováveis (a exemplo do petróleo e minérios), pois o uso insustentável deles acelera o processo de término, além de trazer consequências ao meio ambiente, sociedade e economia, e por isso, cada vez mais tem se buscado recursos e matrizes energéticas renováveis, pois elas diminuem a dependência e custos de subsídios (OAKES; PASE, 2020).

Diante desses conceitos, desenvolvimento sustentável (DS) é o desenvolvimento que visa a sustentabilidade (práticas pautadas no crescimento econômico e socioambiental) de maneira que satisfaça as necessidades da geração presente sem comprometer as futuras (FEIL; SCHREIBER, 2017). Nesse sentido, o DS refere-se as pessoas e seu bem estar, já a sustentabilidade refere-se aos processos e atividades, ou seja, são as atividades que visam ser sustentáveis (SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014).

Dessa forma, tais conceitos estão inevitavelmente vinculados e para que uma atividade seja considerada sustentável, ela precisa estar em consonância com três aspectos: sociedade, meio ambiente e economia (LÁZARO; GREMAUD, 2017).

O tripé ou tríade da sustentabilidade refere-se não somente ao meio ambiente, mas trata de condutas e práticas que visem a coexistência e interação entre os três pilares sendo: ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável (PAZ; KIPPER, 2016). Nesse sentido, embora práticas de reflorestamento, preservação de fauna

e flora praticadas por empresas sejam válidas diretamente ao meio ambiente, em um sentido mais amplo de desenvolvimento sustentável, elas falham ou deixam lacunas (NOVI *et al.*, 2018).

Alguns autores como Vasconcelos *et al.* (2016) defendem que outros aspectos além da sociedade, economia e meio ambiente devem ser considerados, a exemplo da dimensão institucional, pois ela refere-se aos papéis desempenhados pelos governos e a orientação política na execução das transformações de paradigmas para um DS de fato. Neste contexto, Santos (2016) defende que políticas públicas asseguram direitos sociais e auxiliam na defesa do meio ambiente, bem como na sua conservação e preservação.

De acordo com a ONU e sua Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento por meio do Relatório de Brundtlan (1987) - “Nosso futuro comum” -, o desenvolvimento sustentável diz respeito ao desenvolvimento capaz de prover as demandas da geração atual sem comprometer as necessidades das gerações que virão, ou seja, traz consigo a preocupação com a natureza, sociedade sem deixar de abranger a economia.

Desse modo, para Balera e da Silva (2018) o DS teria como principal finalidade um crescimento que alcançasse a qualidade ambiental, prosperidade e eficiência econômica, além de uma sociedade inclusiva e justa, de maneira que os recursos naturais fossem assegurados às futuras gerações (“princípio da equidade intergeracional”).

Segundo Gomes (2018), este conceito diz respeito a sustentabilidade ambiental, visto que ela se refere às atividades e processos produtivos que visem o equilíbrio entre a demanda e exploração de recursos naturais, de maneira a preservá-los às populações vindouras, pois tais recursos são finitos. Assim sendo, falar de sustentabilidade é entender que atitudes e posturas devem ser repensadas e mudadas no tempo presente, pois a continuidade de qualquer população foi possível pelo que se preservou e desenvolveu anteriormente (REZENDE; NASCIMENTO, 2018).

Para que exista a sustentabilidade ambiental, é necessário o envolvimento da sociedade e seus segmentos como um todo, não esquecendo da instituição Estado, visto que ele será o principal responsável pela implementação e instituição de políticas, leis e fornecimento de subsídios que auxiliem na busca de um ambiente ecologicamente

equilibrado para as atuais e futuras gerações, bem como criará órgãos fiscalizadores para o cumprimento das normas (REIS; SILVA, 2017).

Naturalmente, o contemporâneo reflete no futuro e para que ocorra o DS de uma sociedade, as atividades precisam buscar a sustentabilidade em seus processos, e embora desenvolver a economia e sociedade traga inevitavelmente mudanças e impactos ao meio (sejam positivos ou negativos), a qualidade ambiental deve ser levada em consideração (GALLO, 2017).

Neste sentido, é possível fazer uma análise ambiental em projetos, empreendimentos e atividades em geral afim de identificar impactos ambientais que poderão ocorrer a longo prazo, ou seja, se afetará as próximas gerações, e automaticamente não será considerada uma atividade ou processo sustentável (FERREIRA; IMBROISI, 2018).

Nesse seguimento, segundo Orsiolli e Nobre (2016), a necessidade de um DS nas organizações denotam e expõe as degradações ao meio ambiente e suas consequências, e dessa forma, diversos setores (inclusive a construção civil) começaram a incluir estratégias que evidenciem a sustentabilidade, ou seja, ações que gerassem benefícios sociais e ambientais a atividade econômica. Nesta acepção, é necessário haver uma mudança nas atividades produtivas antrópicas, visto que novos paradigmas refletirão diretamente nas relações socioespaciais, a exemplo das ‘cidades sustentáveis’.

2.2.1 Cidades Sustentáveis

As cidades têm ganhado um papel de grande relevância na agenda global de desenvolvimento sustentável, e deste modo, a ideia de sustentabilidade urbana ganha força por meio de estudos, protocolos internacionais e ações que gerem qualidade de vida aos seus habitantes nas perspectivas social, econômica e ambiental (BENTO *et al.*, 2018).

Segundo Muñoz *et al.* (2017), cidades sustentáveis são aquelas que demonstram o funcionamento do DS, implementação de direitos, políticas públicas e demais providencias em que a sustentabilidade é tida como objetivo principal. Nesse contexto, a sustentabilidade urbana vincula recursos naturais e necessidades da população, de

maneira a diminuir a degradação ambiental, sem deixar de gerar desenvolvimento econômico.

De acordo com Kitchin, Lauriault e McArdle (2015), para que se possa mensurar a sustentabilidade de uma cidade são necessários parâmetros, entretanto, quando se fala de indicadores urbanos, esses podem ser divididos em dois tipos: individuais e compostos. O primeiro refere-se a aqueles que calculam um único fenômeno, além de serem objetivos e independentes. Já o segundo, a sistemas de peso; os quais possibilitam uma visão integrada, combinando mais de uma métrica, variável ou indicador para avaliação de determinado fenômeno.

Desse modo, não tem como se falar de sustentabilidade sem mencionar fatores sociais, econômicos, ambientais e de governança. Assim sendo, avaliar cidades sustentáveis é levar em consideração vários parâmetros, índices e variáveis; de maneira que se consiga de fato indicar e analisar o desempenho econômico, qualidade de vida da população e dos ecossistemas envolvidos (FANTINATTI; FERRÃO; ZUFFO, 2015).

Nesse âmbito, em relação aos modelos e parâmetros mais utilizados atualmente para a formação e avaliação de cidades sustentáveis; em um estudo realizado por Bencke e Perez (2018) por meio de revisão de literatura e definição das categorias de análise, foram detectados 4 principais, e dentre eles, um nacional (quadro 1):

Quadro 1 – Análise do Objetivo e Público Alvo dos Modelos

Categoria de Análise	OBJETIVO e PÚBLICO ALVO
Modelo ISO 37120	Promover a aprendizagem de uma cidade com a outra através da comparação de medidas de desempenho e compartilhamento de melhores práticas. O público alvo são principalmente gestores municipais, visto que para se cadastrar no portal é necessário se declarar funcionário municipal. A ferramenta fica disponível para todos, mesmo sem cadastro no portal.
Programa Cidades Sustentáveis (PCS)	Promover, a partir das prefeituras, sinergias entre os avanços científico-tecnológico, sociocultural e institucional, buscando harmonizar os processos e impactos do desenvolvimento em nível local, tornando-o sustentável. Estimular a participação dos cidadãos para a melhoria da qualidade de vida de cada região, através da troca de informações e experiências em níveis local e global. Público alvo principal é o gestor municipal, o qual fica responsável pela carta compromisso e por definir e cumprir um plano de metas.

Modelo Europeu de Cidades Inteligentes	Comparar características das cidades de médio porte da Europa para identificar forças e fraquezas. Trazer uma abordagem integrativa e ser um instrumento para processos de aprendizagem eficazes em relação às inovações urbanas em campos específicos de desenvolvimento urbano. O público alvo contempla os gestores da cidade, mas também stakeholders interessados nas diferenças apontadas no ranking, em especial para decisões sobre investimento a ser feito.
City Prosperity Index (CPI) da ONU-Habitat	Medir a sustentabilidade das cidades e auxiliar no acompanhamento do cumprimento do objetivo 11 da agenda de desenvolvimento sustentável para 2030. O público alvo são autoridades municipais, mas também partes interessadas locais e nacionais, que possam identificar oportunidades e áreas potenciais de intervenção para que suas cidades se tornem mais prósperas.

Fonte: Adaptado de Bencke e Perez (2018)

Diante dos modelos expostos, o modelo nacional é PCS, o qual é restrito às cidades brasileiras. No caso do modelo europeu, a cidade precisa atender critérios para que então possa participar. Em relação ao ISO 37120 e CPI-ONU, ambos são de alcance mundial. No que tange aos parâmetros utilizados, o PCS e CPI estão relacionados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) proposto pela ONU no ano 2015, os quais serão comentados a seguir (BENCKE; PEREZ, 2018).

2.2.2 Agenda 2030 e ODS's

Em setembro de 2015, ocorreu a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, na qual foi adotada uma agenda mundial, a Agenda 2030 que é um plano de ação global com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que visam a diminuição das desigualdades, ganhos ambientais e uma sociedade mais próspera; os quais reúnem diferentes níveis de governança, organizações, empresas e a sociedade (CNM, 2021).

Segundo a Plataforma Agenda 2030:

A Agenda 2030 consiste em uma Declaração, em um quadro de resultados - os 17 ODS e suas 169 metas -, em uma seção sobre meios de implementação e de parcerias globais, bem como de um roteiro para acompanhamento e revisão. Os ODS são o núcleo da Agenda e deverão ser alcançados até o ano 2030. Os 17 Objetivos são integrados e indivisíveis, e mesclam, de forma equilibrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental. São como uma lista de tarefas a serem cumpridas pelos governos, a sociedade civil, o setor privado e todos cidadãos na jornada coletiva para um 2030 sustentável.

A seguir, apresenta-se a imagem com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável Globais (Figura 1).

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Plataforma Agenda 2030 (2021)

Nesse contexto, os ODS auxiliam as organizações público-privadas na formulação de estratégias e metas, além da condução de suas atividades, utilização de recursos de forma mais eficiente, de forma a orientar e guiar os diversos segmentos da sociedade na criação de políticas e alternativas mais sustentáveis, adequando à realidade de cada localidade, enfrentando seus desafios (SEIXAS *et al.*, 2020).

Dessa maneira, a ideia de sustentabilidade urbana vem se consolidando por meio de importantes estudos e protocolos internacionais de maneira que as cidades possam superar seus desafios de âmbito social, econômico e ambiental de forma que gere qualidade de vida aos cidadãos, bem como contribua para o desenvolvimento das futuras gerações (BURSZTYN; BURSZTYN, 2013).

2.2.3 Planejamento urbano e Plano Diretor

Os processos de urbanização das cidades sempre foram desafiadores desde a formação das primeiras urbes, visto que muitos eram os problemas socioeconômicos e ambientais advindos; não sendo diferente na conformação dos municípios brasileiros e

geração de grande desordem, e dessa forma, houve a necessidade de debates cada vez mais contundentes acerca das questões urbanas à níveis globais (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

Nessa continuidade, em 1996 ocorreu a Conferencia HABITAT II (a primeira em 1976), na qual as Nações Unidas propuseram a *Agenda Habitat* como um plano de ação mundial para promover habitação adequada e assentamentos humanos sustentáveis, onde líderes mundiais se comprometeriam na garantia do direito humano à moradia (ALFONSIN, *et al.*, 2017). Segundo esse mesmo autor, no ano de 2016, ocorreu a HABITAT III, que por meio de uma *Plataforma Global pelo direito à cidade*, diversas entidades e governanças participaram da elaboração de uma *Carta Mundial pelo direito à cidade*; incluindo na nova Agenda o direito à cidade (justa e sustentável) e habitação como um novo direito humano dos habitantes citadinos.

Nesse sentido, o planejamento urbano é uma importante ferramenta para a melhoria da qualidade de vida de uma população, contribuindo para mobilidade e acessibilidade de uma cidade; saneamento, moradia, áreas para serviços e comércio, dentre outros aspectos abrangidos para sua saúde e bem estar (SPERANDIO; FRANCISCO FILHO; MATTOS, 2016).

Desse modo, um bom desenvolvimento urbano configura-se em estratégias e políticas públicas que trazem melhorias a sociedade e aos espaços urbanos; e para que uma cidade seja considerada sustentável, como visto anteriormente, é necessário que seu planejamento e desenvolvimento cumpram alguns critérios e seus projetos visem a sustentabilidade em todas suas perspectivas (ou pelo menos a maioria) (BENCKE; PEREZ, 2018).

No que tange a esta temática, um importante instrumento legal para planejamento urbanístico é o Plano Diretor, de modo que ele auxilia na administração pública, pois não apenas atende a questões paisagísticas, mas perpassa por processos políticos, econômicos e sociais do ordenamento de uma cidade.

Segundo Caetano; Rosaneli (2019), o Plano Diretor Municipal é um mecanismo legal de planejamento urbano que objetiva conduzir a ocupação do solo urbano, levando em consideração os diversos interesses dos agentes envolvidos na formação de uma

cidade, trabalhando o desenvolvimento e expansão urbana sob os aspectos territoriais, econômicos, sociais e ambientais.

De acordo com Faria e Faria (2017), para que se organize um Plano Diretor eficiente, justo e que atenda requisitos de um desenvolvimento urbano sustentável cada vez mais demandado, tal ferramenta tornou-se mais que uma ‘técnica de aceleração do desenvolvimento econômico’ e mercadológica, aliando-a também ao jurídico-político, Estado e sociedade.

Nesse contexto, o Plano Diretor Municipal é uma das principais ferramentas legais e um importante aliado para obtenção do sucesso e alcance dos ODS no ambiente urbano, além de auxiliar na formação de cidades sustentáveis (LOPES *et al.*, 2017).

Diante disso, no caso do município de Belém, seu território passou por intensos processos de verticalização e expansão urbana nas últimas décadas, e deste modo, seu último Plano Diretor (2008) nos revela que um grande número de parâmetros urbanísticos vigentes encontram-se quase inalterados desde 1975 em suas primeiras leis de usos e ocupação do solo; denotando uma relação conflituosa entre o zoneamento proposto legalmente e os empreendimentos construídos no último ciclo imobiliário, além de aumentar a segregação socioespacial da metrópole e problemas ambientais (MOURA; VENTURA NETO, 2019).

2.3 ANÁLISE SOCIOESPACIAL

Primeiramente, não há como se falar da forma que a sociedade se relaciona com o ambiente sem falar do conceito de espaço geográfico, pois ele é o meio resultante das atividades humanas, a forma que ela o utiliza e transforma. Dessa forma, ele é o espaço habitado e modificado, onde acontece todo e qualquer tipo de interação homem-natureza-economia, demonstrando as multidimensões das relações e processos socioespaciais (LEFEBVRE, 1975; JESSOP; BRENNER; JONES, 2017).

Nessa perspectiva, a relação socioespacial refere-se às interações sociais, o espaço físico onde ocorrem e as configurações territoriais geradas nele (FREITAS; STALOGH, 2018). De acordo com Santos (1980), a formação social e espaço são conceitos interdependentes, indissociáveis e que não podem ser considerados isoladamente: há uma

relação entre sociedade, natureza, as necessidades geradas e seus fluxos e fixos. De forma geral, os ‘fixos’ representam formas e sua função, gerando suportes estáveis para a vida de uma sociedade e se perpetuam no espaço (embora possam ser substituídos depois de determinado período); já os ‘fluxos’ circulam entre os fixos, são o próprio movimento em uma rede (fixos), bem como não têm uma forma identificável e atravessam o espaço (BARROS, 2020).

Diante do que foi exposto, analisar esta relação é importante para interpretar uma determinada realidade e fenômenos envolvidos nos processos de formação sociedade-espço (BASTOS; CASARIL, 2016). Nesse contexto, as análises socioespaciais podem ser realizadas de diversas formas, seja por análises documentais, questionários e entrevistas, bem como pelo uso de geotecnologias, contribuindo para debates e geração de dados e pesquisas (BARDEN *et al.*, 2018).

Em relação aos tipos de análise que podem ser abordadas, Carreiras (2018) realizou análise bibliográfica, combinou métodos e ferramentas quali-quantitativas e de cartografia a fim de identificar desigualdades e segregação socioespaciais em bairros de habitação social na região metropolitana de Lisboa, as quais posteriormente foram discutidas e demonstradas nos resultados.

Para Melo *et al.* (2018), analisar a relação socioespacial evidencia o caráter complexo dos fatores envolvidos; e no trabalho realizado, o autor observou e analisou os impactos sociais (por meio de abordagem qualitativa – análises documentais, instrumentos conceituais, relatos de casos e fatos) ocasionados pela construção de uma usina hidrelétrica na região de Paulo Afonso/BA, gerando conflitos, mudanças no espaço e formas que a sociedade se relaciona com o meio.

Desse modo, surgem ferramentas, indicadores e índices que funcionam como instrumentos de mensuração, avaliação, gestão e monitoramento de determinada realidade e que auxiliam nas análises socioespaciais (ANUNCIATO; FRANCO, 2017). A utilização de indicadores sociais por exemplo, demonstra informações qualitativas e/ou quantitativas acerca de um fenômeno social, possibilitando identificar questões relacionadas ao bem estar, desenvolvimento socioeconômico e suas disparidades, e outras dimensões como desigualdades territoriais (PEROSA *et al.*, 2016).

Nesse sentido, as análises socioespaciais, bem como as ambientais (visto que é praticamente inevitável não vincular impactos ambientais e seus reflexos na população, bem como ações antrópicas e os efeitos no meio ambiente) auxiliam as governanças e demais instituições na tomada de decisões, planejamento, criação e adoção de políticas que atenuem e/ou resolvam questões socioambientais (SILVA, 2016).

2.4 ANÁLISE AMBIENTAL

As condições ambientais estão intrinsecamente ligadas a qualidade de vida e bem estar social, e nesse contexto, as análises ambientais são importantes para verificar se as atividades humanas e a maneira que elas ocorrem contribuirá para deterioração ou equilíbrio do meio ambiente (MALIKOVSKY; KIST, 2020).

No que tange a esta temática, verificar a vulnerabilidade ambiental do meio é importante para que se possa analisar acontecimentos adversos à sustentabilidade, associados a questões socioeconômicas e ambientais, além das características físicas (de fragilidade) de determinada área; e nesse sentido, surgem ferramentas como o Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) para identificar fatores que podem gerar degradação ao meio e avaliar o grau de vulnerabilidade da região estudada (ASSIS *et al.*, 2017).

Em decorrência de uma expansão urbana cada vez mais acelerada, grande concentração demográfica e escassez de espaços; muitas vezes as áreas de fragilidade ambiental são assentadas indevidamente, tornando-se áreas de risco, estabelecendo uma nítida relação entre vulnerabilidade social e fragilidade ambiental. Ressaltando que áreas ambientalmente frágeis são áreas que naturalmente possuem maior sensibilidade a mudanças, já áreas de risco são áreas impróprias à ocupação humana por serem suscetíveis a desastres naturais e que ao sofrerem algum tipo de intervenção antrópica ficam ainda mais expostas a problemas ambientais (SANTOS, 2015).

Nesse cenário, o planejamento ambiental de um território é uma boa ferramenta para evitar e entender os problemas ambientais, além de ordenar ações para minimizá-los, e por isso, necessitam ser feitos de maneira que avaliem os diversos componentes envolvidos, de forma a analisá-los mutuamente (CECONI *et al.*, 2018).

Sendo assim, o próprio licenciamento ambiental tornou-se um importante instrumento como forma de acompanhamento e controle dos impactos ambientais ocasionados pelas atividades antrópicas; e de acordo com o CONAMA/ resolução nº 237, toda e qualquer atividade que utilize recursos naturais, seja poluidora ou cause algum tipo de degradação ambiental, é passível de licenciamento.

Entretanto, para Almeida *et al.* (2017), uma das ferramentas previstas nos processos de licenciamento, os Estudos de Impacto Ambiental (EIAs), apresentam deficiências quanto a previsão e avaliação de impactos ambientais seja por questões técnicas, de coordenação ou por apresentarem favorecimento ao empreendimento.

À vista disso, outras formas de estudo e pesquisas de cunho ambiental são importantes, a exemplo dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e ferramentas de geoprocessamento, visto que auxiliam em uma análise ambiental mais eficiente, pois utilizam e geram diversos tipos de dados para que assim se possa fazer análises e gerar diagnósticos ambientais, avaliando processos produtivos e seus impactos; além de realizar delineamento de áreas ambientalmente frágeis e áreas de risco por exemplo. (DONHA; SOUZA; SUSGAMOSTO, 2006).

De acordo com Zaidan (2017), o geoprocessamento, o qual é uma das tecnologias vinculadas ao SIG, pode ser utilizado para o tratamento de informações e dados geográficos na produção de mapas, cartogramas e extração de informações que permitem uma administração moderna de determinado território (urbano ou não), planejamento e monitoramento das atividades realizadas no espaço.

Nesse sentido, muitas são as aplicações dessa importante ferramenta: análises espaciais, auxílio na formulação de estudos ambientais, gestão de áreas agrícolas, análise de áreas de áreas verdes, aplicação em variáveis de temperatura e precipitação; além do mapeamento de uso e ocupação do solo, auxiliando no Planejamento Urbano e demarcação de áreas construtivas, por exemplo (IWATA; FERREIRA; OLIVEIRA, 2020).

Nesse contexto, Trevisan *et al.* (2018) realizaram uma avaliação da vulnerabilidade ambiental no município de São Carlos/SP usando Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) para mapear o uso e cobertura da terra, a topografia, geologia e afins possibilitando a aplicação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA); e assim, identificar as áreas

de menor risco aos impactos da ocupação humana, bem como as áreas de maior risco no meio urbano.

Em outro trabalho feito por Rosado; Penteado (2018), foi possível analisar a eficiência de Ecopontos de coleta de pequenas quantidades de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) na cidade de Limeira/SP por meio de georreferenciamento das áreas de disposição irregular desses resíduos e constataram uma baixa eficácia, pois os pequenos geradores ainda realizavam disposições em locais inadequados, mesmo próximo aos ecopontos, revelando que programas de fiscalização e educação ambiental deveriam ser revistos pelo poder público.

Desse modo, análises socioambientais envolvem diversos fatores e um conjunto de estudos multidisciplinares baseados em instrumentos que possibilitam as diversas instancias da sociedade e do Estado realizarem um planejamento que configure Sistemas de Gestão Integrados (SGI's): novas formas de gestão do uso e ocupação do solo, além de avaliarem o nível de degradação do meio, auxiliando também em questões sociais e econômicas, elencando os investimentos e áreas que necessitam de maior atenção por conta da mudança no uso e ocupação do solo (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012; JUGEND; FIGUEIREDO, 2017; RIBEIRO NETO; TAVARES; HOFFMANN, 2019).

2.5 MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO

A dinâmica da ocupação territorial ao longo dos anos sofre transformações seja por políticas de incentivo, questões de exploração de recursos, atividades agrossilvipastoris e expansão urbana; e nesse sentido, diversos são os impactos ambientais gerados pela sociedade e suas atividades (FREITAS, 2020).

Nesse enredo, atividades como a extração mineral, agropecuária e a urbanização marcada principalmente por falta de planejamento e crescimento populacional acelerado, refletem a diversificação e dinâmica da economia e o quanto elas influenciam na mudança de uso e ocupação do solo; tornando algumas zonas em áreas de atração para empreendimentos comerciais e/ou residenciais (CLEMENTE; OLIVEIRA JR; LOUZADA, 2017; GUIMARÃES; MILANEZ, 2017).

Atualmente, as mudanças de uso e ocupação do solo vem sendo amplamente analisadas com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto (SR), visto que permitem a representação dessas transformações por meio de mapas, bem como o monitoramento e predição do tipo de cobertura do solo baseados em modelos e algoritmos computacionais. Tais modelos compreendem uma grande quantidade de variáveis, processos e aplicações metodológicas para o planejamento do uso do solo frente ao crescimento urbano e desenvolvimento das atividades humanas (CASAROTI; CENTENO, 2020).

Nesse sentido, trata-se da Modelagem Dinâmica Espacial (MDE) que aliada às técnicas de SR e geoprocessamento conseguem expressar as alterações no uso e ocupação do espaço, realizando a simulação numérica de processos com uso de softwares para a compreensão das variáveis envolvidas nessas mudanças, além de replicar possíveis padrões de alterações paisagísticas (PISANI; DEMARCHI; RIEDEL, 2016).

Segundo Kawashima *et al.* (2016), na metodologia de MDE, após a análise das variáveis, a configuração de saída consiste em mapas de transição de uso e ocupação do solo definidos para determinado intervalo de tempo, verificando as células que tem maior tendência a mudanças; além de possibilitar criação de cenários futuros, o que pode auxiliar no monitoramento de áreas ambientalmente frágeis, prevenção de impactos e o poder público na gestão territorial.

Nesse contexto, com o surgimento de novas atividades antrópicas de extração, inevitavelmente o meio ambiente é alterado, o que pôde ser observado no trabalho de Costa, Bezerra e Oliveira (2017), no qual, com auxílio de geoprocessamento constatou-se que o uso e cobertura da terra das regiões abrangidas pela Rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém) sofreu alterações entre os anos 2004, 2010 e 2014; relacionando ao desmatamento, queimadas, agropecuária e expansão urbana.

Em um trabalho realizado por Nogueira *et al.* (2017) foi possível verificar a dinâmica de uso e ocupação territorial de uma área urbana em Rondônia, que com o auxílio de geotecnologias e processamento de imagens, foi dividida em diferentes classes de uso do solo; e como resultados, demonstrou uma expansão urbana durante o período analisado em detrimento das áreas verdes, além de evidenciar um crescimento das regiões periféricas do município.

Dessa forma, avaliar a dinâmica do uso e ocupação do solo é extremamente importante para a gestão e planejamento territorial, pois permite detectar e analisar as transformações no espaço (a níveis municipais e até mesmo mundiais), auxiliando no combate aos usos, ocupações e atividades irregulares na terra e na formulação de políticas ambientais sustentáveis (DUSI; BUENO, 2016). Nas cidades, a expansão e crescimento urbano refletem muito bem estas mudanças nas dinâmicas de uso e ocupação do solo.

2.6 EXPANSÃO URBANA E CORREDORES IMOBILIÁRIOS

A questão da expansão urbana está inteiramente relacionada ao aumento no número de construções civis. E de acordo com a Geografia, este é um fenômeno relacionado a funções e serviços urbanos cada vez mais exigentes e dinâmicos, ocasionando migrações e crescimento das áreas urbanas (LEONELLI; CAMPOS, 2018). Diante desta realidade, não apenas há o aumento de impactos ambientais, mas sociais devido a uma urbanização muitas vezes desordenada, não dando tempo para as cidades se adequarem ao crescimento populacional (BERNARDINI, 2018).

O processo de expansão urbana de uma cidade envolve diversos aspectos, sejam positivos e/ou negativos, pois quando é um processo rápido e sem muitos critérios, traz consigo inevitavelmente a segregação socioespacial, bem como a degradação ambiental de determinadas áreas; a exemplo da redução de áreas verdes em detrimento da construção civil, aumento da poluição quando não tem a devida infraestrutura e saneamento, gerando um aumento nos problemas sócio ambientais ao invés de reduzi-los (VERDE et al., 2020; ROCHA, 2020).

Embora a tendência seja analisar a expansão urbana relacionada ao desmatamento para a construção de novas áreas, é válido ressaltar os impactos positivos também gerados a sociedade, como o aumento da infraestrutura e mais acesso aos serviços; visto que anteriormente eram mais restritos a determinadas áreas centrais de uma cidade, e dessa maneira, configurando novas formas de concentração e dispersão urbanas da distribuição espacial de uso residencial, industrial e comercial (BENINI; ROSIN, 2020; NASCIMENTO JR, 2017; PARFITT, 2017; MARTNER, 2016).

Um forte exemplo de como a expansão urbana desenfreada influencia negativamente no meio ambiente é a questão da drenagem de águas pluviais,

extremamente prejudicada pelo adensamento de áreas verdes, pois influencia diretamente no escoamento superficial da água, dentre outros fatores (BRITO et al., 2020).

Por conseguinte, a expansão urbana desordenada e a falta de infraestrutura pública (uma realidade da maioria das metrópoles e cidades brasileiras) propiciam o aumento da poluição, oferecimento de serviços e comércio precários e consequente aumento dos impactos ambientais, entretanto, quando realizado com planejamento, ocasiona crescimento no setor imobiliário (BENVENUTTI, 2019).

Nesse sentido, com o surgimento de corredores imobiliários, são criadas novas dinâmicas, novos ‘centros urbanos’ e consequente alteração na relação espaço-sociedade-natureza. Desse modo, cada vez mais políticas públicas têm sido reformuladas a fim de (tentar) atender a estas novas demandas (ROSA; SATO, 2016).

Com estes processos de transformação do meio, surgimento de corredores imobiliários e construção de novos empreendimentos na região, há uma maior valorização do espaço público, aumento da qualidade de vida da população, o que repercute diretamente na indústria da construção civil (COSTA; NASCIMENTO, 2016).

Na cidade de Belém do Pará, com o aumento desta migração da população e a deficiência de políticas públicas, ocorreu o adensamento da sua área urbana e expansão de outras; levando ao surgimento de novos corredores imobiliários, e com eles, aumento das desigualdades socioespaciais e impactos ambientais, contrapondo diretamente a tríade da sustentabilidade: social, ambiental e econômico (PEREIRA; VIEIRA, 2016).

Nos últimos anos, com os projetos de melhoramento da mobilidade urbana de Belém e região metropolitana, a área da avenida Augusto Montenegro vem sofrendo com intensos processos de expansão urbana, passando por inúmeras modificações devido a retirada da cobertura vegetal (LAURIDO et al., 2020). Desse modo, para que uma cidade proporcione uma melhor qualidade de vida a sua população, é necessária uma infraestrutura pautada também em valores ambientais, relacionada à infraestrutura verde.

2.7 INFRAESTRUTURA VERDE

A infraestrutura verde refere-se ao urbanismo e os serviços prestados pela natureza e pode ser definida como conjunto de espaços verdes interrelacionados, conservando as

características naturais de um ecossistema, os quais fornecem benefícios a sociedade (COUTTS; HAHN, 2015). Nestes espaços estão inclusos: arborização urbana, parques, florestas, praças, entre outras paisagens naturais públicas ou privadas (AMATO-LOURENÇO *et al.*, 2016).

A influência da infraestrutura verde sobre o conforto urbano, conservação da biodiversidade e aspectos econômicos, faz com que muitas vezes a real valoração de áreas verdes seja encarada de maneira inferior ao que realmente é, esquecendo dos diversos serviços ambientais oferecidos e importância para a formação de cidades sustentáveis (KLEMM *et al.*, 2015).

Assim sendo, para Lima e Schenk (2018), essa infraestrutura reflete processos naturais e processos urbanos, orientando a construção sob uma perspectiva ambiental no planejamento de cidades de forma a estabelecer sistemas capazes de atender demandas sociais e solucionar problemas urbanos como enchentes e poluição.

Nesse sentido, a realidade de um planejamento outrora baseado em uma infraestrutura cinza tão somente para atender os problemas de uma expansão urbana rápida e sem planejamento, hoje entende a importância de elementos naturais no ambiente urbano para a melhoria dos serviços ambientais e a própria qualidade de vida da população (LOTUFO, 2017).

No tocante a este tema, segundo Guedes *et al.* (2017), o desenvolvimento e planejamento urbano devem ser realizados levando em consideração aspectos sociais, histórico culturais, econômicos e ambientais, de forma a abranger todas as regiões, diminuindo a segregação socioespacial; além de proporcionar redes de infraestrutura que organizem o espaço físico e atenuem os impactos negativos gerados ao meio ambiente.

Dessa forma, a infraestrutura verde é uma resposta à demanda de ações voltadas ao desenvolvimento sustentável das cidades através da oferta de espaços com vegetação que reestruturam a paisagem, tornam solos permeáveis, além de envolver aspectos sociais, ambientais e econômicos afim de manter ou restabelecer ecossistemas, assegurando a qualidade de vida da população em meio urbano; estando este conceito difundido ao de áreas verdes (MORSCH; MASCARÓ; PANDOLFO, 2017).

2.7.1 Áreas Verdes

Áreas verdes fazem parte e são um tipo de infraestrutura verde, e por meio do próprio nome, entende-se que são áreas de cobertura vegetal públicas ou privadas, as quais possuem interesses, valores e potenciais econômicos. Além disso, tais áreas mantêm o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida, contribuindo aos ecossistemas, processos ecológicos e conservação do meio (MACIEL; BARBOSA, 2015).

Nesse sentido, estas áreas são importantes pois além da manutenção, equilíbrio e regularização de determinados fatores ambientais, elas exercem função de proteção às condições ecológicas, principalmente quando inseridas em áreas urbanas, visto que estão associadas aos índices de poluição do ar, solo, conforto térmico e refúgio de fauna (RUBIRA, 2016). Além, de desempenharem funções paisagísticas e sociais que melhoram a qualidade de vidas nas cidades (GRISE; BIONDI; ARAKI, 2016).

Desse modo, para uma área ser considerada verde, ela deve ter predominância de vegetação, cumprindo três principais funções: estética, ecológica e lazer. Nesse contexto, estes espaços agregam valor aos sítios urbanos e são requisito básico a qualidade de vida em uma cidade (BENINI; ROSIN, 2019).

A grande questão é que inevitavelmente quando inseridas em meio urbano, estas áreas sofrem com degradações devido ao forte adensamento populacional e os impactos negativos advindos de ações antrópicas como contaminação do solo, corpos hídricos subterrâneos e outros tipos de poluição (FERNANDES; BOTELHO, 2016).

2.7.2 Áreas Verdes Urbanas

Embora de acordo com a Lei nº 12.651/2012 (novo Código Florestal) a denotação de “áreas verdes urbanas” tenha ganhado um novo sentido, visto que devem ser locais indisponíveis para moradia, esta é uma aplicação pouco difundida na literatura científica. No tocante a este trabalho, este termo ainda será utilizado como sinônimo de ‘espaços verdes urbanos’ por ser mais apropriado e de maior aplicação científica.

Nesse contexto, AVU possuem 3 funções principais: estética, ecológica e lazer. São espaços de recreação, integração e demonstram a forma que a sociedade e todos que usufruem de bens e serviços das cidades se relacionam com o meio ambiente; além de

terem relação direta com as condições de saúde e qualidade de vida da população, visto que integram elementos naturais e o homem (ALVES, 2017).

No que tange a esta temática, áreas verdes em meio urbano desempenham diversos serviços ambientais, sociais e ecológicos: diminuição das temperaturas, regulação de microclimas, atuação na redução de ruídos, abrigo para fauna e flora, diminuição do escoamento superficial hídrico, absorção de poluentes atmosféricos, bem como funções estéticas e recreativas (MOTA *et. al*, 2016).

Além disso, no quesito regulação térmica a vegetação reduz temperaturas por conta da evapotranspiração. Em relação ao escoamento superficial, ela diminui o impacto da água no solo, bem como melhora a absorção da mesma. No aspecto qualidade do ar auxilia como filtro de poluentes tanto para material particulado como gases. Na questão redução de ruídos funcionam como barreiras verticais. Além disso, tem influência na valorização imobiliária e saúde da população (SOUSA *et al.*, 2015).

Desse modo, o estabelecimento de espaços verdes urbanos é importante, pois neles há vegetação continuada, praticamente livre de edificações, proporcionando ganhos e bem estar social; e mesmo que possam conter caminhos, vielas, entre outros aparatos quando destinados ao uso público, os tipos de construção permitidas nestes espaços são reduzidas (SILVA; LIMA; SAITO, 2020).

Nesse sentido, o planejamento urbano deve levar em consideração estes espaços, visto que são agentes minimizadores de problemas ambientais, pois com a diminuição de cobertura vegetal, ocorrem mudanças microclimáticas, impactos pluviais (chuvas mais ácidas pela maior presença de GEE na atmosfera) e inundações nas áreas urbanas (solos mais adensados) (SILVA; LIMA; SAITO, 2019).

A gestão de áreas verdes urbanas necessita de instrumentos e políticas públicas que fortaleçam projetos de conservação, além da manutenção e criação de novas áreas. Além de métodos e ferramentas que consigam avaliar a qualidade destas áreas e (possível) diminuição das taxas de serviços ecossistêmicos (CARBONE *et al.*, 2015; CONWAY; VANDER VECHT, 2015).

Dessa forma, áreas verdes urbanas são importantes para a formação de cidades mais sustentáveis, além de mitigarem externalidades ambientais negativas ocasionadas pelo

processo de urbanização das cidades e a expansão imobiliária que decrescem o número destas áreas (MANEA *et al.*, 2016).

Tendo em vista a diminuição de áreas verdes por conta do crescimento urbano, uma forma de mitigar os impactos ocasionados é utilização de telhados verdes, pois além de auxiliarem na diminuição de temperatura; neste tipo de cobertura, as águas pluviais infiltram e podem ser captadas, possibilitando o uso para fins não potáveis (FERNANDES *et al.*, 2017). Para Fernandes e Higuchi (2017), outro exemplo destes espaços são os Parques verdes urbanos (PVU), os quais além dos ganhos já mencionados nesta pesquisa, trazem uma maior sensibilização da população frente a conservação e proteção da natureza.

Com a perda de áreas verdes, automaticamente diminui-se a qualidade ambiental e algumas funções ecológicas são severamente afetadas: diminuição do processo de umidificação e aumento da poluição do ar, aumento de alagamentos, enchentes, maior propensão ao surgimento de ‘ilhas de calor’, animais silvestres aparecendo em áreas urbanas, entre outros problemas que afetam direta e indiretamente população (GOMES; MARTIN, 2017).

Diante desta realidade, o uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) tem ganhado importância para estudos ambientais, pois permitem avaliar determinadas questões por meio de análise espacial utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto (CRUZ; LANZANOVA; BISOGNIN, 2019).

2.8 GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL

A necessidade de uma melhor compreensão do espaço geográfico e os fenômenos nele envolvidos, da relação sociedade-natureza e características físicas do meio traz consigo uma diversidade de áreas e estudos que podem ser abordados com o uso de geotecnologias: geologia e áreas afins, topografia, hidrografia, cobertura vegetal, uso da terra; e tudo isso associando a questões econômicas e aos estudos de impactos socioambientais (FITZ, 2008).

Desse modo, para melhor compreensão desta temática tem-se que:

As geotecnologias constituem o conjunto de tecnologias para coleta, armazenamento, edição, processamento, análise e disponibilização de dados e

informações com referência espacial geográfica. São compostas por soluções em hardware, software, peopleware e dataware. No rol das geotecnologias estão o geoprocessamento, SIG (GIS, SGI) –Sistemas de Informações Geográficas, Cartografia Digital ou Automatizada, Sensoriamento Remoto por Satélites, Sistema de Posicionamento Global (ex. GPS), Aerofotogrametria, Geodésia, Topografia Clássica, entre outros. Dentre as geotecnologias destaca-se o geoprocessamento, principalmente na constituição de Sistemas de Informações Geográficas –SIGs (ZAIDAN, 2017).

Nesse sentido, o geoprocessamento se utiliza de ferramentas matemáticas e computacionais para a representação do espaço geográfico, ou seja, utilização de conhecimentos de informática para trabalhar com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e gerar dados espaciais e geográficos (FONSECA; MENDONÇA, 2015).

De maneira conceitual, um Sistema de Informação Geográfico é formado por elementos concretos e intelectuais (hardwares, softwares) que permitem a gestão, representação e análise do espaço por meio de sensoriamento remoto (SR); o qual é o conjunto de técnicas e ferramentas que viabilizam a aquisição de informações sobre a superfície terrestre por meio da radiação eletromagnética com auxílio de sensores remotos ou distantes, a exemplo de satélites (FONSECA; GUEDES; SANTOS, 2017).

Nesse contexto, os arquivos em *shapefile* são formatos de armazenamento que contém dados geoespaciais compostos por vetores usados pelos SIG's, eles armazenam a posição, formas e atributos de feições geográficas; e dessa forma, tais formatos estão ganhando cada vez mais espaço até na construção civil e novos estudos têm sido realizado como o de Zhu *et al.* (2019), no qual criou-se um algoritmo que permite a integração entre BIM (*Building Information Modeling*) e SIG, que transforma parâmetros de varredura em objetos B-rep (objetos geometricamente sólidos).

Outra forma de informações bastante utilizadas em um SIG são os *dados raster* compostos por linhas e colunas de pixels, chamadas de células. Nessa abordagem, cada pixel representa geograficamente uma região e o valor atribuído ao pixel uma característica da região (WEBER; FREIRE-SILVA; OLIVEIRA, 2020).

À vista disso, a análise espacial por meio de ferramentas de geoprocessamento permite uma gama de possibilidades para a realização de estudos sistemáticos, planejamento urbano e regional, bem como auxilia na avaliação de impactos ambientais, análise da quantidade de vegetação urbana, saúde pública e ordenamento territorial (FONSECA; HERMANO; SILVA, 2016).

De maneira complementar, o Sensoriamento Remoto (SR) permite a observação da superfície terrestre, de modo que analisa espectralmente uma porção da superfície por meio do processamento de imagens de satélite; além de diversas aplicações como a detecção, mapeamento e observação de áreas verdes, produzindo informações que permitem avaliar quantitativa e/ou qualitativamente os parâmetros e fatores envolvidos (BARBOSA *et al.*, 2019). Por isso, tais instrumentos das geotecnologias se fazem cada vez mais necessários em análises ambientais e diversas outras.

2.8.1 Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Meio Ambiente

Uma importante forma de realizar estudos ambientais é com o uso de ferramentas do geoprocessamento e sensoriamento remoto, visto que tais tecnologias permitem fazer análises de vários fatores que envolvem o ambiente: físico, biótico e socioeconômico; e nesse sentido, é possível realizar o acompanhamento e monitoramento remoto de áreas de forma a conservá-las e protegê-las (BOTTEON, 2016).

Um dos parâmetros gerados por técnicas de sensoriamento remoto é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o qual avalia biofísicamente a vegetação, e que vem sendo amplamente utilizado para a construção de perfis das características da vegetação, permitindo comparações sazonais e se houve modificações na mesma (ALMEIDA *et al.*, 2018).

Em um trabalho realizado por Iwata, Ferreira e Oliveira (2020), dados foram georreferenciados e pôde-se identificar áreas suscetíveis ao processo de degradação ambiental em um empreendimento rural no município de Currais/PI, bem como monitorar as áreas destinadas a preservação e fiscalizar atividades antrópicas que possam vir a ocorrer sem o devido licenciamento ambiental.

Na temática urbanização, as transformações no uso e ocupação do solo muitas vezes refletem um crescimento urbano desordenado e como consequência, o aumento de zonas periféricas e centrais de uma cidade; e nesse contexto, o estudo feito por Barboza, Bezerra Neto e Caiana (2020) no município de Fortaleza/CE analisou a Temperatura de Superfície Terrestre (TST), relacionando com a cobertura vegetal por intermédio do seu NDVI, verificando-se a forte relação da diminuição da biomassa e áreas adensadas pela

urbanização desordenada com o aumento das temperaturas de superfície e a formação de ‘ilhas de calor’.

Em outro estudo ambiental realizado por Amaral e Lana (2017), utilizou-se o geoprocessamento para elencar áreas favoráveis à construção de um aterro sanitário, auxiliando no combate aos impactos socioeconômicos e ambientais ocasionados pela disposição incorreta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), e classificando-as em: inaptas, restritas, moderadas e favoráveis de acordo com os critérios avaliados.

Segundo Nunes *et al.* (2015), as técnicas e ferramentas de geoprocessamento e SR são importantes instrumentos que podem auxiliar no monitoramento ambiental e fiscalização de práticas antrópicas ilegais (como desmatamento, queimadas e desvios de recursos hídricos), avaliando a cobertura e uso do solo, o estado ambiental de determinado território, entre outros estudos ambientais; além de ajudar na tomada de decisões, a gestão pública e suas organizações para práticas e usos mais sustentáveis da terra (MENDES, 2020).

Dessa maneira, levando em consideração a expansão e o desenvolvimento urbano acelerado da cidade de Belém nos últimos anos e o surgimento de novos ambientes construídos em detrimento de áreas verdes; cada vez mais se fazem necessários estudos que abordem tais temáticas aliadas ao geoprocessamento e os desdobramentos que tais modificações trazem ao meio ambiente belenense.

2.9 INDICADORES AMBIENTAIS OBTIDOS POR SENSORIAMENTO REMOTO

2.9.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) X Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI) X *Land Surface Temperature* (LST)

Por meio do sensoriamento remoto é possível obter uma infinidade de informações, as quais poderão ser representadas na forma de mapas. Nesse sentido, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é um índice relacionado à vegetação, enquanto que o NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*) é um índice espectral formulado para verificar áreas urbanizadas construídas, sendo aplicado para o mapeamento dessas áreas; assim sendo, esses indicadores associados ao LST (*Land Surface Temperature*) podem auxiliar na avaliação da expansão urbana, redução de áreas verdes e mudanças de

temperatura em zonas rurais ou urbanas; bem como ajudar na identificação de formação de ‘ilhas de calor’ nas cidades (GUHA *et al.*, 2018).

Desse modo, o NDVI trata do índice para avaliar a **saúde da vegetação e porte** da mesma, visto que ele permite a classificação das tipologias e densidades de cobertura vegetal; enquanto que o NDBI é calculado para avaliar **áreas construídas** e auxilia no acompanhamento do processo de crescimento urbano, pois ajuda na classificação de uso e ocupação do solo no meio urbano (OLIVEIRA; CERQUEIRA NETO; SILVA, 2021).

Em se tratando da *Land Surface Temperature* (LST), ela consegue avaliar por meio do tratamento das bandas termais das imagens de satélite a temperatura da área analisada, visto que este parâmetro diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que entra e sai do meio, sendo de grande relevância para a compreensão das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera (GUHA *et al.*, 2018).

Assim, o NDVI e NDBI são índices obtidos pela reflectância das imagens das bandas espectrais dos sensores ópticos espaciais; sendo o primeiro o índice da diferença normalizada para a vegetação; e o segundo, o índice da diferença normalizada para áreas edificadas (SAKUNO *et al.*, 2017). Nesse contexto, a normalização trata de uma relação entre as medidas espectrais de duas bandas (MOREIRA FILHO; TAVARES JR, 2016).

No caso do NDVI, ele permite analisar e classificar o tipo de cobertura vegetal por densidade (presença ou ausência de água foliar). Tal índice é calculado por meio da razão da diferença dos comprimentos de onda refletidos pelos alvos nas bandas do infravermelho próximo e vermelho. Assim, ocorre a absorção da radiação vermelha pelas substâncias fotossintetizantes (absorvem a irradiação solar para realizar a fotossíntese) e reflectância na região do infravermelho próximo por conta da estrutura foliar interna (MOREIRA; AMORIM, 2016).

Em relação ao NDBI, é o índice da diferença normalizada para áreas urbano-edificadas. Ele é obtido por meio dos comprimentos de onda de duas faixas espectrais (o infravermelho médio – *SWI* e o infravermelho próximo – *NIR*) (OLIVEIRA; CERQUEIRA NETO; SILVA, 2021); o qual opera diferenciando áreas de solo exposto das que são construídas, possibilitando uma melhor análise e classificação dos padrões urbanos encontrados, além de auxiliar em diversos estudos, a exemplo de ‘ilhas de calor urbanas’ (SAKUNO *et al.*, 2017).

Assim sendo, *Land Surface Temperature* (LST) é conceituada como a temperatura do sistema superfície terrestre e sua atmosfera, servindo como parâmetro de importância não apenas climática, mas por possibilitar a verificação do fluxo de calor e variações de temperatura (MALIK; SHUKLA; MISHRA, 2019). Por conseguinte, a partir dos sistemas termais dos satélites, TM (*Thematic Mapper*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), pode-se trabalhar e gerar as *Land Surface Temperatures* (LST) correspondentes às imagens e alvos trabalhados na geração do NDVI e NDBI por exemplo; correlacionando temperaturas elevadas ou amenas conforme as características físico-químicas do ambiente, ou seja, um valor de temperatura relacionado as áreas verdes, outro às áreas edificadas ou de acordo com o espaço analisado.

Dessa maneira, o padrão espacial e temporal e as características de NDVI, NDBI e LST e sua relação foram analisados nesta pesquisa para se chegar às análises de expansão urbana e os prováveis impactos sobre a temperatura da rodovia objeto de estudo no decorrer do tempo.

2.9.2 Ilhas de calor urbanas

A ilha de calor urbana (*Urban Heat Island - UHI*) é caracterizada como o excesso de energia térmica sobre as áreas construídas em comparação com zonas rurais (ou não-construídas), derivando da diferença entre a maior temperatura registrada na área urbana e a menor temperatura na zona rural do entorno, classificando o fenômeno em fraca, moderada, forte e muito forte (LUCENA, 2013; TEIXEIRA; AMORIM, 2017).

Nesse contexto, esse fenômeno é ocorre pelo fato de nas zonas urbanas haver uma grande quantidade de áreas construídas, bem como materiais absorventes e retentores de calor, ocasionando aumento significativo da temperatura em determinadas áreas da cidade; além de causarem desconforto térmico e agravar alguns problemas de saúde e qualidade ambiental (PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017).

Segundo Amorim (2019), as altas e diferentes temperaturas entre áreas construídas e áreas não construídas ocasiona a advecção do ar (transmissão de calor pelo deslocamento de massa atmosférica no sentido horizontal), propiciando a movimentação de poluentes e materiais particulados para as áreas mais quentes e adensadas; fazendo com que muitas vezes áreas urbanizadas sejam os principais “alvos” deste fenômeno.

No que tange a este fenômeno de causa antrópica, uma categoria que vem sendo empregada é a ‘ilha de calor de superfície’, que difere e possui o adendo de captar a temperatura de superfície por meio de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento; diferente da UHI, a qual registra a temperatura do ar com o auxílio de instrumentos e aparelhagem técnica de uma estação convencional ou automática para medir as variações de temperatura (PORANGABA; AMORIM, 2019).

2.10 FENÔMENOS NATURAIS E INFLUÊNCIA NA TEMPERATURA

É sabido que muitos são as atividades antrópicas as quais tem influenciado de maneira direta ou indireta na qualidade ambiental, e dessa maneira, um indicador significativamente afetado é a temperatura com mudanças climáticas cada vez mais latentes (ESPÍNDOLA; RIBEIRO, 2020). Entretanto, alguns fenômenos ocorrem de forma natural e espontânea, a exemplo do fenômeno atmosférico *La Niña*; caracterizado pelo esfriamento anormal nas águas do Oceano Pacífico Tropical; além de ocasionar alterações nas temperaturas e precipitações a nível global (INPE, 2021).

De acordo com Moreira *et al.* (2018), o fenômeno meteorológico *La Niña* ocorre devido ao fortalecimento de zonas de alta pressão subtropicais, ocasionando o aumento dos ventos alísios (ressaltando-se que estes ventos são originados pela formação de zonas de alta pressão); e dessa forma, resulta na ascensão das águas profundas e de baixa temperatura para as superfícies do oceano Pacífico junto à América do Sul.

Em relação às zonas próximas da região norte do Brasil (na qual se localiza a área de estudo), durante os meses de Junho-Julho-Agosto ficam comumente mais frias e chuvosas (INPE, 2021); como pode ser observado na figura de “Efeitos Globais” fornecida pelo site eletrônico do referido Instituto:

Figura 2 – Efeitos Globais ‘La Niña’ (período Junho-Julho-Agosto)

3. MÉTODO DE PESQUISA

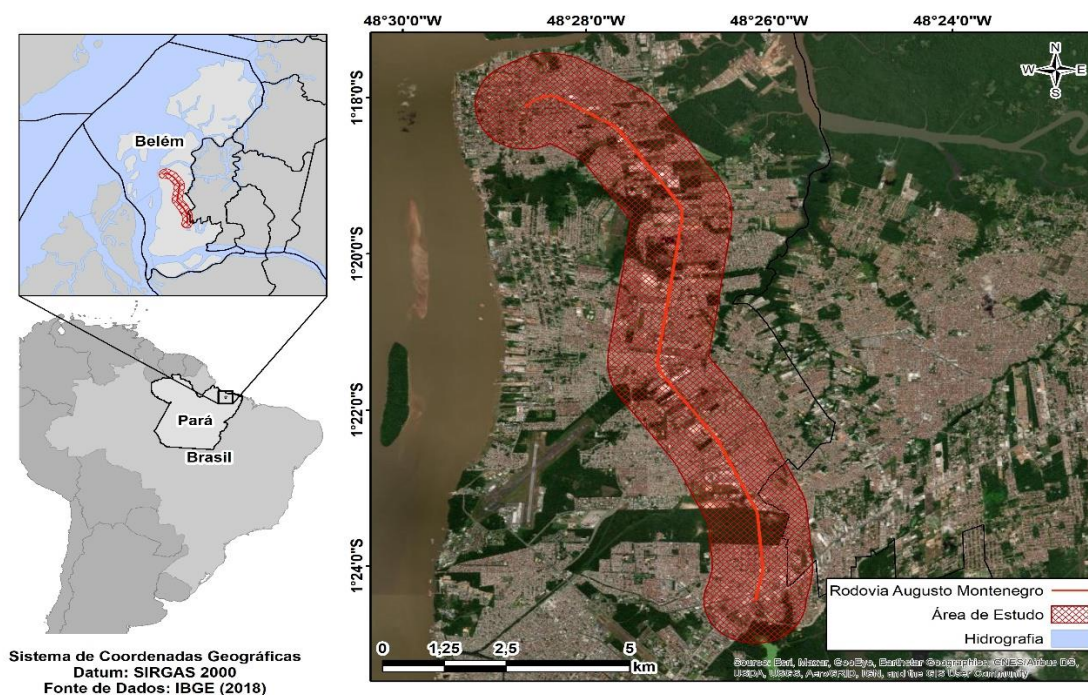
Aqui serão apresentados os métodos e as técnicas usadas para amparar e fundamentar o presente trabalho cientificamente. Nesse sentido, foi realizada revisão de literatura, estudo de caso e as etapas de execução do mesmo.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Belém do Pará está localizado geograficamente a 01° 27' 20" S e 48° 30' 15" W (SEPOF, 2011). Está dividido em oito Distritos Administrativos e 71 bairros, com uma área equivalente a 1.059,458 km² e população estimada em 1.452.275 habitantes (IBGE, 2017), fazendo com que sua densidade demográfica seja igual a 1.315,26 hab./km² (IBGE, 2010).

No município em questão, foi selecionada a Rodovia Augusto Montenegro (figura 3), visto que na última década passou por intensas transformações em relação ao seu uso e ocupação e reordenação sócio espacial, tornou-se um grande corredor imobiliário e reflexo da expansão urbana da cidade com a construção de inúmeros condomínios residenciais e empreendimentos de comércio e serviços. Tal rodovia é uma importante via de acesso ao Distrito de Icoaraci, além de atravessar vários bairros da cidade do seu ponto inicial ao ponto final, com cerca de 25 km de extensão.

Figura 3 – Mapa de localização da rodovia Augusto Montenegro.



Fonte: Autor (2021).

Segundo Valente Filho et al. (2019), com a obra do sistema de transporte público de via expressa - o BRT (*Bus Rapid Transit*) - iniciada em 2012 pela gestão municipal vigente na época e finalizada em 2020, ocorreram intensas modificações paisagísticas na rodovia e seu entorno. O processo de adensamento e urbanização da Augusto Montenegro iniciou-se em 1990, entretanto, nas últimas décadas houve uma aceleração na retirada da cobertura vegetal com a construção de inúmeras e extensas áreas residenciais, comerciais e obras públicas (VALENTE FILHO *et al.*, 2019).

Esta via é geograficamente estratégica para a cidade, pois além de interligar o distrito industrial de Icoaraci às regiões centrais da cidade, ela também dá acesso à rodovia BR-316 e Região Metropolitana de Belém; tornando-se um polo de atração imobiliária, reflexo da acelerada urbanização e forte pressão antrópica ao meio ambiente da cidade (MENDES, 2018).

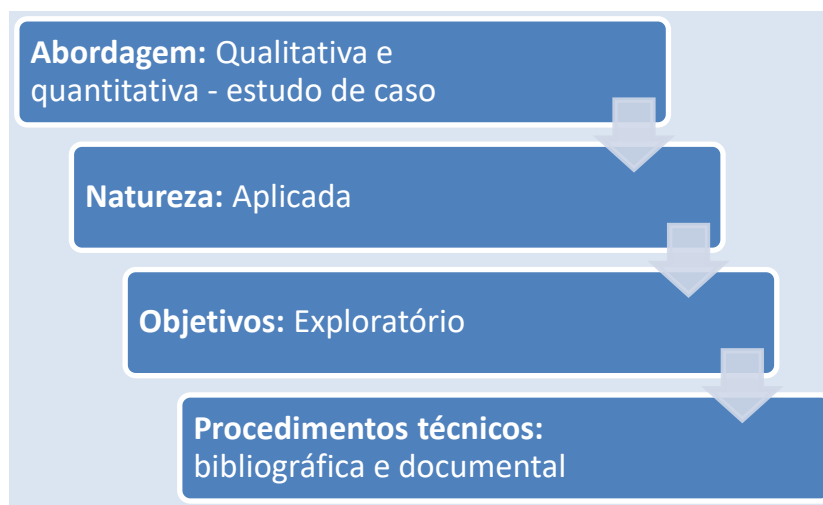
3.2 CARACTERIZAÇÃO E DELINEAMENTO DA PESQUISA

O trabalho em questão é uma pesquisa de abordagem qualitativa e quantitativa (PRONADOV, 2013), operacionalizada por meio de estudo de caso (YIN, 2015). Em relação aos critérios de classificação, esta pesquisa é de natureza aplicada. Quanto aos objetivos, o presente estudo é do tipo exploratório. No que tange aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é bibliográfica e documental a respeito do tema proposto.

De acordo com Gil (2017), o estudo é descritivo pois trabalha a descrição das propriedades de uma população ou fenômeno como é o caso da expansão imobiliária e a diminuição de áreas verdes no município de Belém do Pará. Além de ser exploratória pelo fato de aproximar e conhecer mais a respeito de determinado assunto e encaminhar futuros estudos.

Em relação aos procedimentos técnicos, a pesquisa é bibliográfica e documental com levantamento e análise de dados. Bibliograficamente, foram consultados livros e artigos científicos a respeito de uso e ocupação do solo, expansão urbana, corredores imobiliários e os efeitos causados, áreas verdes, geoprocessamento e demais temáticas relacionadas, além de links eletrônicos especializados. Na questão documental, foram realizadas consultas em documentos e imagens eletrônicas de um Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) (figura 4).

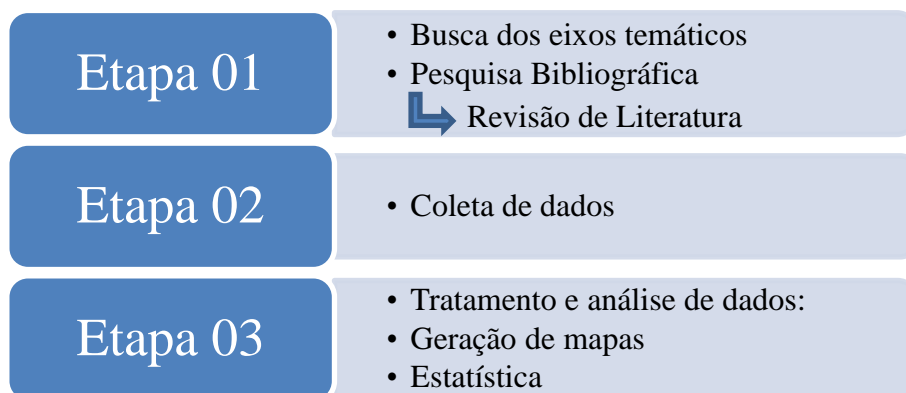
Figura 4 – Caracterização da pesquisa



Fonte: Autor (2021).

Para o presente trabalho, o delineamento ocorreu conforme a figura 5 abaixo, sendo dividido em 03 etapas: (01) busca dos eixos temáticos e pesquisa bibliográfica, a qual constitui-se na identificação e investigação dos principais aspectos vinculados ao tema da pesquisa e posterior Revisão de Literatura; (02) coleta de dados, que foi feita por meio de acessos às bases de dados de SIG's e seleção de imagens de interesse ao estudo, além do download e importação de bases cartográficas (*shapefiles*); (03) tratamento e análise de dados, consistindo-se no uso de softwares de geoprocessamento para a geração dos mapas de uso e ocupação do solo e de temperatura da superfície da área estudada e posterior análise da diminuição de áreas verdes, bem como de dos impactos ocasionados.

Figura 5 – Delineamento da pesquisa



Fonte: Autor (2021).

3.2.1 Etapa 01 – Busca dos Eixos temáticos e Pesquisa Bibliográfica

Nesta etapa, a partir do tema principal do trabalho, foram elencados eixos que deram embasamento às questões norteadoras do trabalho ou estivessem vinculados a ele; e nesse sentido, foi realizada uma breve leitura de artigos em plataformas eletrônicas de periódicos e revistas científicas para selecionar outros tópicos que também auxiliassem na fundamentação teórica da pesquisa.

Conforme Gonçalves (2019), a Revisão de Literatura é uma importante ferramenta em estudos acadêmico-científicos, será a busca de material que dará suporte ao tema do trabalho, além de possibilitar discussões relevantes para a pesquisa; pois desde o levantamento prévio da Literatura e seleção de critérios, ela possibilita a relação das obras ou documentos sobre o assunto por meio da leitura de livros, artigos e outros acervos técnicos e legislativos referentes ao tema e as temáticas levantadas pela pesquisa.

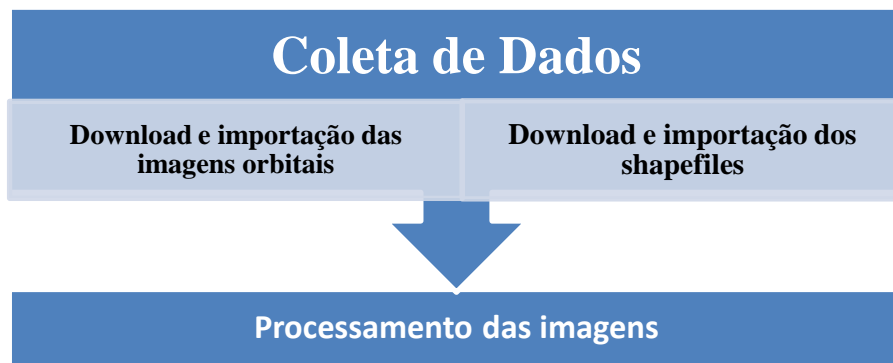
Foi realizada, a busca eletrônica de artigos científicos nacionais e internacionais, bem como consulta em livros e legislações dos aspectos principais e demais temas relacionados ao trabalho, caracterizando a Revisão de Literatura. Dessa maneira, pôde-se identificar também modelos, metodologias e caracterizações existentes que auxiliaram na formulação deste estudo, além de ter sido alcançado por ser do tipo exploratório.

Dessa forma, a Revisão Bibliográfica foi realizada durante todo o andamento do trabalho (de março de 2020 a abril de 2021) dando embasamento científico e consistência às questões norteadoras e discussões geradas no estudo. Foram lidos e preferencialmente selecionados os trabalhos dos últimos 5 anos, os quais tinham relação com o tema para melhor entendimento do objeto de pesquisa.

3.2.2 Etapa 02 - Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada durante o período de 2020-2021 por meio de download e importação de imagens digitais nas bases de Sistemas de Informação Geográfica, além de bases cartográficas (*shapefiles*) de disponibilização gratuita para posterior processamento das imagens (Figura 6):

Figura 6 – Coleta e análise de dados



Fonte: Autor (2021).

Desse modo, foram importadas e utilizados os *shapefiles* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e imagens orbitais adquiridas de satélites *Landsat 5* e *Landsat 8* para a posterior confecção dos mapas, todos disponibilizados gratuitamente. As cenas e imagens dos dois sensores ópticos orbitais estão disponíveis no sítio eletrônico do USGS (*United States Geological Survey*) e na plataforma de processamento geoespacial *Google Earth Engine* (GEE), a qual foi usada neste trabalho.

Tal plataforma (GEE) é baseada em nuvem e apresenta mais de 32 anos de imagens de satélites sem nuvens e dados geoespaciais a níveis globais, além de ser uma ferramenta que permite visualização, manipulação, edição e execução de dados de acordo com a necessidade do usuário (GEE, 2021).

Um dos grandes diferenciais do GEE é o usuário poder desenvolver seu próprio banco de dados, bem como ter acesso a diversos algoritmos já desenvolvidos para este tipo de estudo, além de não precisar realizar download para que possa ser utilizado, visto que foi desenvolvido para operar via internet (GORELICK et al., 2017).

No GEE, as imagens produzidas por um mesmo sensor óptico são agrupadas e denominadas “coleção”. Os recursos de filtragem e classificação rápidos facilitam as pesquisas em milhares de imagens individuais para a seleção de dados que atendam os critérios desejados. Diferente dos sistemas convencionais de “cubo de dados”, o processo de inserção e carregamento dos registros de dados realizado no *Earth Engine* preserva as informações contidas nas imagens, visto que a projeção, resolução e profundidade de *bits* originais são sempre mantidas e evitam a degradação dos dados (GORELIK et al., 2017).

Em relação à resolução espacial dos satélites, para o *Landsat-5* é de 80m no modo Multiespectral (MS) e 30m no sensor *Thematic Mapper* (TM). No que se refere ao *Landsat-8* é de 15m no modo Pancromático (PAN), 30m no modo MS e, em relação ao sistema *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), é de 100m; mas com a banda processada e reamostrada para 30m (INPE, 2021).

Assim sendo, para a construção dos mapas de uso e ocupação do solo, foram selecionadas as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo) do sensor orbital para que os procedimentos fossem realizados. Para efeitos de compreensão, comparação e melhor visualização das mudanças ocorridas ao longo dos últimos 30 anos na área estudada, foram escolhidos os anos 1989-1999-2013-2020 para a seleção das imagens multiespectrais por também apresentarem maior qualidade nas cenas tratadas. Lembrando que na década 1990 foi o período de início da urbanização da Augusto Montenegro com as primeiras construções residenciais (VALENTE FILHO *et al.*, 2019).

Nesse sentido, afim de se evitar imagens com visualização comprometida por conta de questões climatológicas, foram escolhidas imagens dentro do período de maior incidência solar e menor índice pluviométrico (Julho-Agosto-Setembro) (INPE, 2021); visto que a região, na qual área de estudo está inserida, possui longos períodos chuvosos durante o ano e há intensas formações de nuvens.

3.2.3 Etapa 03 – Tratamento e Análise de dados

Em relação ao tratamento de dados, o processamento das imagens será feito por meio de ferramentas de sensoriamento remoto, e para tanto, foi utilizada a plataforma de análise geoespacial *Google Earth Engine* (GEE). O processamento na base de dados do GEE foi realizado por meio da programação de código do *Earth Engine Code Editor* disponível em “<https://code.earthengine.google.com/>” (GORELIK *et al.*, 2017)

Outra importante ferramenta utilizada para auxiliar na construção dos mapas foi o software *QGIS* versão 3.22. Dessa maneira, a partir das bases de dados e as devidas ferramentas de geoprocessamento, foi feito um ‘*shapefile* específico’ para delimitação da área de abrangência do estudo para posterior recorte e identificação nas imagens trabalhadas em relação a rodovia Augusto Montenegro. Além disso, ainda em relação aos

procedimentos metodológicos, foi utilizada **estatística descritiva** por meio do coeficiente de Pearson para correlacionar as variáveis envolvidas no estudo.

Assim sendo, delimitou-se a área a ser analisada (área objeto de estudo) com as imagens do satélite *Landsat-8*; resolução de 15m (no PAN) a 30m (no MS) de dados multiespectrais.

Posteriormente, de acordo com a metodologia de Silveira *et al.* (2020) e Naeem *et al.* (2018), na etapa de processamento de imagens foram realizadas as correções e calibrações radiométricas das mesmas, e dessa maneira, foram executadas as modificações no histograma para se obter o contraste necessário e melhor visualizar os alvos na imagem.

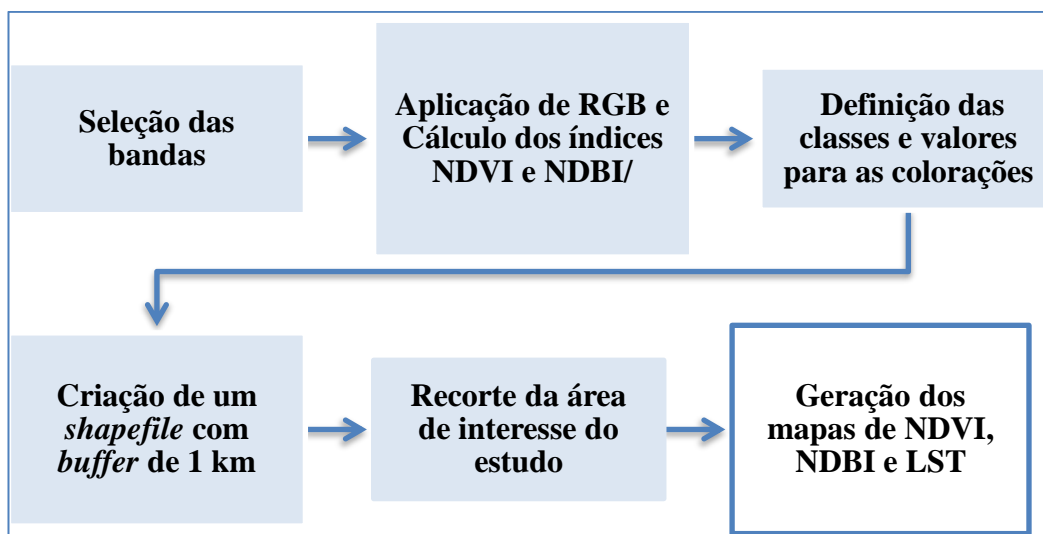
As imagens referentes aos anos de 1989 e 1999 para a formulação dos mapas dos referidos anos, foram coletadas na base de dados do atualmente desativado *Landsat-5*. Já as imagens relacionadas aos anos de 2013 e 2020 foram obtidas na base de dados do sensor óptico *Landsat-8*; ambas as bases são disponibilizadas pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

Em relação às imagens serem de satélites distintos, deve-se ao fato que em 2012 o *Landsat-5* começou a apresentar problemas técnicos em um dos seus giroscópios, fazendo com que em junho de 2013 fosse desativado. Desse modo, após problemas técnicos no *Landsat-7*, em fevereiro de 2013 foi lançado o *Landsat-8*, o qual adquire cerca de 740 cenas por dia no sistema de linha *Worldwide Reference System-2* (WRS-2), além de apresentar imagens com mais detalhes, mais definidas, nítidas e cores mais reais (USGS, 2021).

3.2.3.1 Construção e elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo e mapas de *Land Surface Temperature* (LST)

Para que fossem construídos os mapas de uso e ocupação do solo e da *Land Surface Temperature* (LST) foram realizadas as seguintes sub etapas (figura 7):

Figura 7 – Fluxograma para geração dos mapas de uso e ocupação do solo e de temperatura de superfície



Fonte: Autor (2021).

Para a representação das feições existentes, foram selecionadas as bandas Red-Green-Blue (RGB) - 753 no *Landsat-5* e 764 no *Landsat-8* -, as chamadas ‘bandas de falsas cores’, devido ao fato destas colorações diferenciarem as áreas de vegetação, água e áreas de ocupação antrópica e edificadas, ou seja, as feições existentes nas imagens analisadas de cada ano.

Nesse sentido, para realizar o mapeamento das áreas verdes e das áreas construídas foram calculados os índices NDVI e NDBI, pois com o uso desses índices em diferentes datas, é possível verificar a variação de espaços verdes, bem como identificação de áreas construídas durante um intervalo de tempo (XU *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2020). A partir dos valores obtidos nos cálculos do NDVI e NDBI e suas respectivas faixas de coloração, pôde-se identificar todas as classes de valores presentes para cada um dos índices.

Dessa forma, por meio da seleção das bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo) do *Landsat-5* e *Landsat-8* realizou-se o cálculo do NDVI, ressaltando que o resultado deste índice depende da reflectância das bandas do infravermelho próximo e vermelho; sendo adquirido por meio da seguinte equação padrão (Eq. 1) (FITZ, 2020; BORGES; BATISTA, 2020):

$$NDVI = \frac{(IR-R)}{(IR+R)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*);

IR = valores de pixel da banda infravermelho próximo;

R = valores de pixel da banda do vermelho.

Obs.: O NDVI gera valores entre -1,0 e +1,0. Para cada faixa de valores é atribuída uma cor. Desse modo, valores negativos são geralmente referentes a água (e seus estados: sólido, líquido, gasoso) e valores próximos a zero advém de solo exposto. Além disso, valores $\leq 0,1$ representam solo, subsolo ou rochas sem valor econômico-mineral, bem como áreas adensadas e construídas. Quanto à vegetação, os arbustos e gramíneas são representados por valores entre [0,2 – 0,3] e vegetação arbórea equivale a valores entre [0,6 – 0,8]; ou seja, quanto mais próximo de 1, maior é o potencial da cobertura vegetal (SANTOS *et al.*, 2020).

Entretanto, para fins deste estudo e diminuição de confusões matriciais na área trabalhada (meio urbano) foram utilizados os valores segundo Oliveira, Cerqueira Neto e Silva (2021); Moreira e Amorim (2016) em que os resultados positivos indicam áreas permeáveis expostas ou com presença de vegetação (seja de menor ou maior porte) e valores negativos, vegetação hidricamente estressada ou áreas construídas.

No que tange ao NDBI, este índice é obtido por meio da reflectância das bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio, sendo expresso pela diferença normalizada entre elas; e desse modo, foi calculado conforme a seguinte equação (SAKUNO *et al.*, 2017):

$$NDBI = \frac{(SWIR-NIR)}{(SWIR+NIR)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo:

NDBI = Índice por Diferença Normalizada para Áreas Construídas (*Normalized Difference Building Index*);

SWIR = valores de pixel da banda infravermelho médio;

NIR = valores de pixel da banda do infravermelho próximo.

Obs2.: Os resultados gerados para o NDBI também se encontram em um intervalo de -1,0 a +1,0. Para o caso deste índice, e diferentemente do NDVI, seus valores identificam as áreas com maior adensamento de construções, os valores positivos correspondem às áreas edificadas ou de ocupação adensada/construída; ressaltando que áreas expostas é diferente de superfícies urbanizadas, pois áreas expostas são referentes à solos sem cobertura vegetal ou naturalmente áridos (VALDIVIEZO *et al.*, 2018).

Por conseguinte, para uma melhor organização entre os valores obtidos a partir do NDBI; os positivos referem-se às áreas edificadas com ocupação urbana e negativos às áreas com vegetação, possibilitando assim a formação dos mapas de variação de áreas verdes mais fidedignos de acordo com as características da área analisada (OLIVEIRA; CERQUEIRA NETO; SILVA, 2021).

Posteriormente, foi criado o arquivo *shapefile* para realizar então o recorte da ‘área de interesse da pesquisa’ – *buffer* - ; e nesse sentido, a área de abrangência da rodovia foi delimitada em um raio de 1km após o término da pista e início da calçada em seus dois sentidos, visto que nos últimos anos estas áreas e espaços foram os mais modificados por atuação antrópica.

Desse modo, somente após todos estes passos e as imagens serem georreferenciadas com o auxílio do *QGis* – 3.22, foram então organizados e gerados os mapas representativos dos índices NDVI e NDBI. Nesse sentido, os dados foram analisados com o auxílio da ferramenta *calculadora raster* do software em questão, além do uso de planilhas eletrônicas afim de criar comparativos entre os anos selecionados, gerando interpretações dos valores, além da discussão dos dados.

Em relação aos mapas temáticos RGB, NDVI e NDBI; para demonstrar as modificações do solo da área trabalhada, foram selecionadas as cenas dentro do período

de Julho-Agosto-Setembro com melhor qualidade e sem nuvens para os anos selecionados, cujos detalhes são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 1 – Identificação das Imagens dos anos 1989, 1999, 2013 e 2020

Imagem	Data	Hora
LT05_L2SP_223061_19890810_20200916_02_T1	10/08/1989	12:49
LT05_L2SP_223061_19990721_20200908_02_T1	21/07/1999	13:00
LC08_L2SP_223061_20130727_20200912_02_T1	27/07/2013	13:25
LC08_L2SP_223061_20200714_20200912_02_T1	14/07/2020	13:22

Fonte: SSG, (2021).

Para a realização do mapeamento da *Land Surface Temperature* (LST) e gerar os comparativos entre diminuição de áreas verdes no decorrer dos anos e alterações temperatura, as imagens usadas foram as mesmas em cada ano, alterando apenas banda analisada, no caso, a *Thermal Band* para LST. Desse modo, foi realizada a solicitação ao Instituto Nacional de Meteorologia dos dados de Temperatura diária (°C) – máxima; mínima e média – para a data de cada cena e posterior comparação com os dados de temperatura gerados pela calculadora *Raster* do software, no sentido de validar e gerar as devidas discussões.

Deve-se ressaltar que afim de evitar diferenças, todos os dados solicitados ao INMET foram referentes à Estação Convencional código 82191 – BELÉM, visto que a Estação Automática foi instaurada apenas em 2003.

De modo posterior, para demonstrar a relação entre áreas verdes e temperatura; o mapeamento da LST por sensoriamento remoto (SR) é uma importante ferramenta aliada ao monitoramento e gerenciamento de áreas potencialmente impactadas: quanto mais adensadas ou com menor vegetação, maior a temperatura de superfície (LST). Sendo assim, para avaliar e validar a correlação entre a **temperatura e os índices avaliados** foi utilizado o *Coeficiente de Pearson*, o qual é um teste que mensura estatisticamente a relação entre duas variáveis contínuas (AYRES, 2012).

Para a construção do mapa de *Land Surface Temperature* (LST) do ano de 2020, foram usadas as mesmas imagens do uso e ocupação do solo do ano em questão (2020), visto que, em junho de 2013, o *Landsat 5* foi desativado. Em relação ao cruzamento das imagens para gerar o mapa de LST, foi utilizada a Banda termal (banda 10) do *Landsat*-

8 para a geração dos mapas de temperatura, com resolução espacial de 100m processada para 30m. Nesse sentido, para a execução do mesmo, foi usada como base, a metodologia de Nunes e Menezes Filho (2021).

No que tange ao tratamento do dado *raster*, foi realizado o recorte do shape, ou seja, a área de estudo na imagem infravermelha termal (banda 10). Em seguida, ainda de acordo com a metodologia de Nunes e Menezes Filho (2021), foi feita a calibração da banda termal, ou seja, conversão de níveis de cinza da imagem para radiância e posterior obtenção da temperatura absoluta (Kelvin) de acordo com as equações 3 e 4 fornecidas pelo Serviço Geológico Americano (USGS, 2021):

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo:

L_{λ} : Radiância espectral do sensor em Watts/(m².sr.µm);

M_L : Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04;

Q_{cal} : Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN (Número Digital) = Imag. banda 10;

A_L : Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000.

A partir dos valores de Radiância calculados, são obtidos diferentes níveis de temperatura para a imagem utilizada por meio da seguinte Equação 4:

$$TK = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

TK : Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K);

$K2$: Constante de calibração 2 = 1.321,08 (K);

$K1$: Constante de calibração 1 = 774,89 (K);

L_{λ} : Radiância espectral em Watts/(m².sr.µm).

Sendo assim, para realizar a conversão da temperatura em Kelvin (K) para graus Celsius (°C), foi utilizada a Equação 5 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012):

$$TC = TK - 273,15 \quad (\text{Eq. 5})$$

Sendo:

TC: Temperatura em Celsius;

TK: Temperatura em Kelvin.

Como dito anteriormente, para avaliar e validar a correlação entre as variáveis *Land Surface Temperature* (LST) e tipo de área, foi utilizado o **Coefficiente de Pearson**. No que tange aos testes de correlação, foram feitas as análises NDVI X LST e NDBI X LST para verificar e validar a relação dos parâmetros analisados com a função *Zonal Statistics* do software *QGis* – 3.22.

Tal coeficiente também conhecido como “coeficiente de correlação produto-momento” mensura estatisticamente o grau da relação entre duas variáveis, indicando a intensidade da mesma (FITZ, 2020).

De acordo com Ayres (2012), a *Correlação Linear de Pearson* é a correlação mais utilizada para medir a associação entre duas variáveis, e para tanto, é necessário calcular o valor de *r*, o qual representa o sentido e a força da correlação. Ainda segundo este autor, a correlação é considerada ‘Forte’ quando, pelo diagrama de dispersão, os pontos do gráfico se agrupam em uma linha reta imaginária. Desse modo, a força da correlação entre as variáveis X e Y diminui, sendo considerada ‘Fracá’, à medida que os pontos do gráfico se afastam.

No que diz respeito ao sentido, a Correlação Linear é dita *positiva* ou *negativa*. Nesse contexto, é considerada com *Sentido Positivo* quando o valor das duas variáveis envolvidas aumenta e a reta imaginária tem um sentido *ascendente*. Por outro lado, é considerada *Sentido Negativo* quando o valor de uma variável aumenta e o da outra diminui; logo, a reta imaginária tem sentido *descendente* (AYRES, 2012).

Assim, os resultados obtidos para Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, representado por *r*, estão obrigatoriamente entre o intervalo [-1; +1]: quanto mais os

valores resultantes se aproximarem de -1 ou +1, mais intensa será a Correlação; e quanto mais próximos de 0, significa uma correlação fraca. Portanto, quando o valor for 0 significa ausência de relação entre as duas variáveis (AYRES, 2012):

Quadro 2 – Significado dos resultados de r

- 1.00	Correlação negativa perfeita
- 0.95	Correlação negativa forte
- 0.50	Correlação negativa moderada
- 0.10	Correlação negativa fraca
0.0	Ausência de correlação
+ 0.10	Correlação positiva fraca
+ 0.50	Correlação positiva moderada
+ 0.95	Correlação positiva forte
+ 1.00	Correlação positiva perfeita

Fonte: Ayres, (2012).

Para questões de melhor entendimento, abrangência de valores encontrados e menor confusão para o valor resultante de r , permitindo coerência e poucos conflitos na obtenção das conclusões, utilizou-se as seguintes interpretações com r em módulo segundo Fitz (2020):

- **$0,0 < |r| < 0,3$:** correlação fraca, com pouca relação entre as variáveis;
- **$0,3 < |r| < 0,6$:** correlação fraca, com mediana relação entre as variáveis;
- **$0,6 < |r| < 1,0$:** correlação moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis;

Em relação ao teste de significância (teste *t-Student*), foi realizado ao nível de confiança de 5%, ou seja, o valor adquirido no coeficiente de correlação para aceitar ou rejeitar no teste de hipóteses é de 95%. Este último valor foi tido como o intervalo de confiança.

Foi utilizado o *software R*, o qual é gratuito e bastante conhecido para realizar este tipo de análise estatística e, posteriormente, os dados foram tratados e tabelados com o

auxílio do *Excel versão 2019*; para avaliar e averiguar estatisticamente que quanto menor a presença de vegetação, maior é a Temperatura de Superfície e se a relação é verdadeira.

Sendo assim, a partir dos mapas gerados de composição RGB, NDVI, NDBI e seus perfis termográficos, por meio da aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e estatística descritiva, foram feitos os comparativos durante os últimos 31 anos (entre os anos 1989-1999-2013-2020) e analisados a diminuição de cobertura vegetal e mudança de temperatura de superfície neste corredor imobiliário, além de discutir consequentes impactos ambientais gerados: solos mais adensados, diminuição do conforto térmico; bem como outros que podem ocorrer com a diminuição de áreas verdes como maior exposição a insetos, a ruídos e outros conflitos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MAPAS TEMÁTICOS

4.1.1 Composição RGB

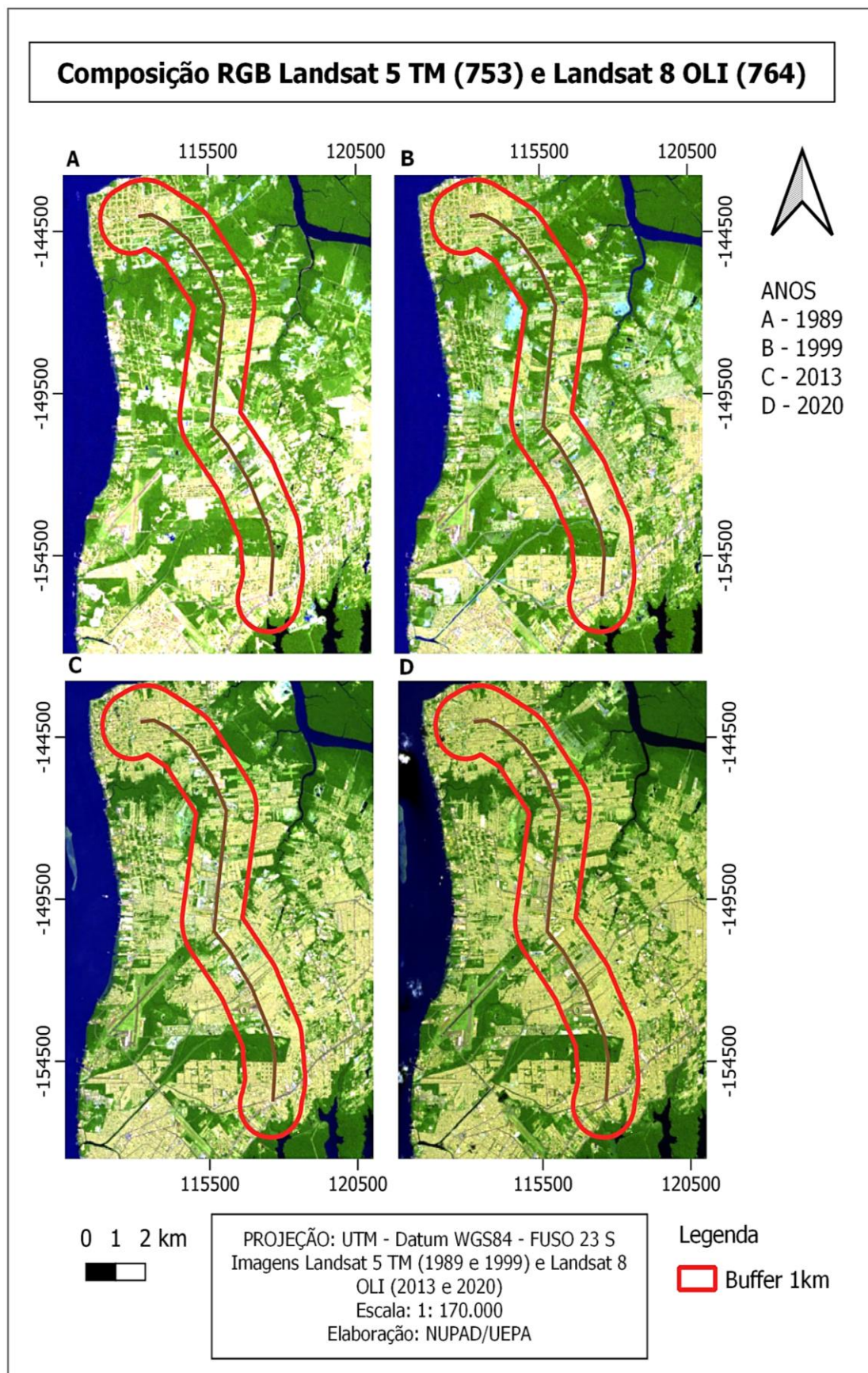
A Figura 8 demonstra a redução de áreas verdes na decorrer dos anos analisados (A – 1989/ B – 1999/ C – 2013/ D – 2020) por meio do constraste entre as colorações de composição RGB verde (representando as áreas verdes) e bege (representando as áreas antropizadas e urbanizadas). Nesse seguimento, é possível observar na sequência dos anos o aumento das áreas antropizadas e diminuição das áreas de vegetação.

De acordo com a primeira imagem (A -1999), é possível notar nas partes superior, central e inferior do buffer áreas já ocupadas e adensadas de acordo com a coloração bege, entretanto, se comparada ao ano de 1989, principalmente nas partes superior e central nota-se um crescimento dessas áreas e diminuição de cobertura vegetal. Nesse contexto, quando comparados os anos 2013 e 2020, as imagens entre si apresentam poucas modificções, mas se observadas cuidadosamente verifica-se ainda redução de áreas verdes em pontos específicos; porém quando comparadas aos anos de 1989 e 1999 esta redução torna-se ainda mais perceptível.

Segundo um estudo de Ventura Neto e Moura (2019), o zoneamento urbano proposto pelo Legislativo Municipal durante fins da década de 1990 e início dos anos 2000 (Lei Complementar de Controle Urbanístico – LCCU/99) influenciou na expansão urbana do município para a Rodovia Augusto Montenegro e seu entorno. Assim, aumentando o potencial construtivo e despertando o interesse especulativo e imobiliário para essas áreas (VENTURA NETO; MOURA, 2019), como pôde ser visualizado na série temporal dos mapas produzidos o aumento das áreas antropizadas.

É válido ressaltar que nas últimas décadas, a rodovia e seu entorno passaram por grandes modificações paisagísticas e estruturais, principalmente após o início da construção do sistema de transporte público BRT (*Bus Rapid Transit*) em 2012, além da construção de novas áreas residenciais e comerciais, bem como obras públicas, o que acelerou a retirada de cobertura vegetal (VALENTE FILHO *et al.*, 2019); corroborando as intensas transformações vizualidas nos mapas.

Figura 8 – Mapas de composição RGB referente aos anos 1989, 1999, 2013 e 2020

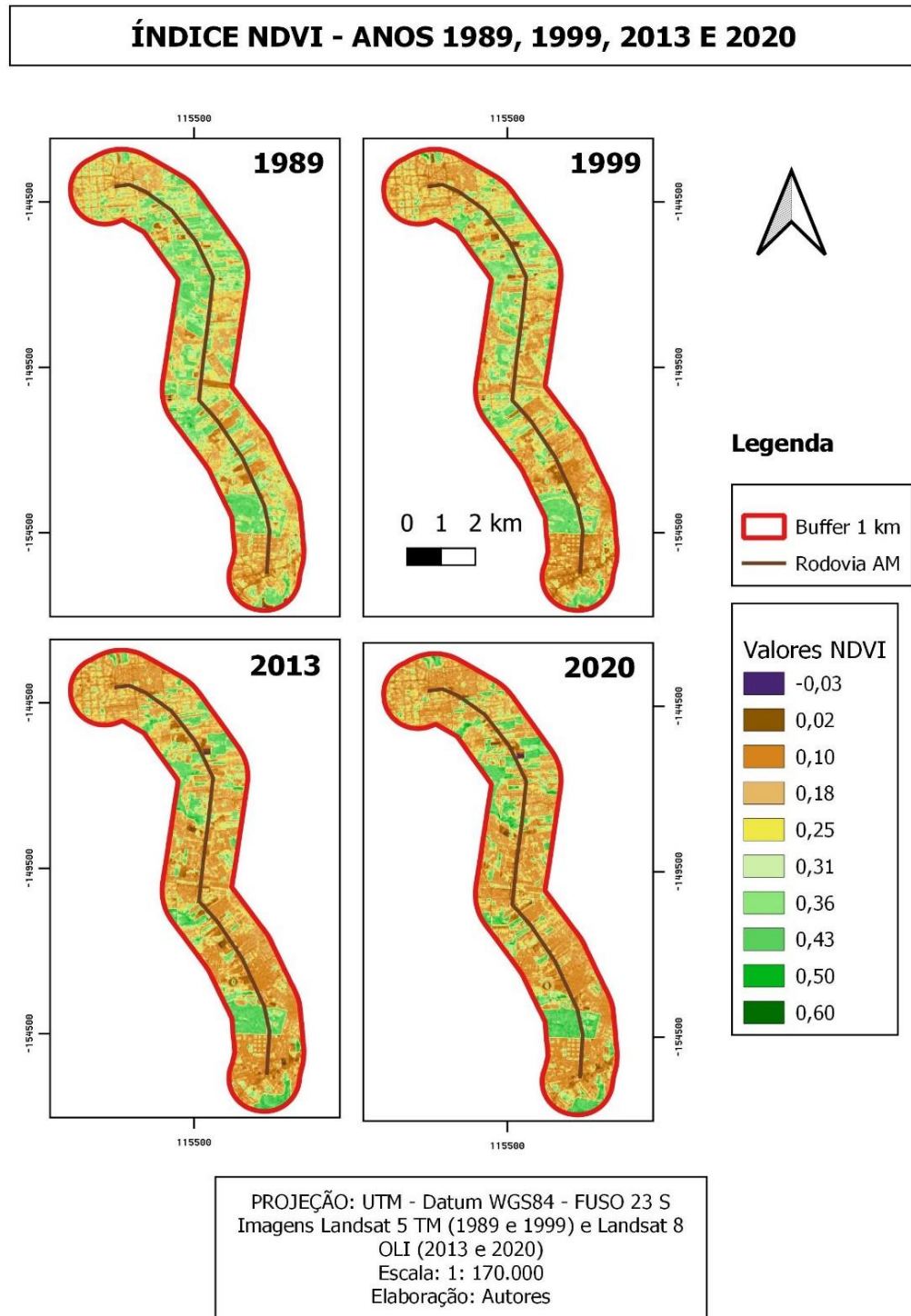


Fonte: Autor, (2021).

4.1.2 NDVI

Em relação aos mapas gerados para o NDVI, tem-se a figura 9 de acordo com cada um dos anos analisados:

Figura 9 – Mapas do NDVI da área de estudo referente aos anos 1989, 1999, 2013 e 2020



Fonte: Autor, (2021).

No que tange ao índice avaliado, pôde-se notar a severa diminuição de áreas verdes na série temporal analisada de acordo com as classes de valores e colorações utilizadas para os mapeamentos. Na classificação usada de acordo com a metodologia, os valores positivos próximos a zero, muito baixos ou baixos são considerados solos expostos, gramíneas e vegetações de pequeno porte/arbustivos.

Entretanto, algumas colorações que são áreas adensadas, principalmente as que estão nas faixas de coloração do marrom claro ao marrom escuro, de acordo com a metodologia utilizada seriam classificadas apenas como solos sem cobertura vegetal, contudo, são áreas edificadas; demonstrando dessa forma um dos principais problemas do NDVI em meio urbano, visto que este índice, sobretudo, separa e avalia os tipos de densidade da vegetação presentes (SAKUNO *et al.*, 2017). Este tipo de erro e confusão é comum ao NDVI em meio urbano.

De acordo com Moraes Junior e Silva (2019), na pesquisa realizada pelos referidos autores, identificou-se a correlação entre urbanização e degradação da vegetação. No entanto, nem sempre essa relação resulta de uma supressão vegetal em larga escala quando utilizado o NDVI; porém reflete diferentes estágios de urbanização, podendo ser também a restauração da vegetação urbana e tornando relevante entender a dinâmica da paisagem citadina não somente pela perspectiva ecológica e ambiental.

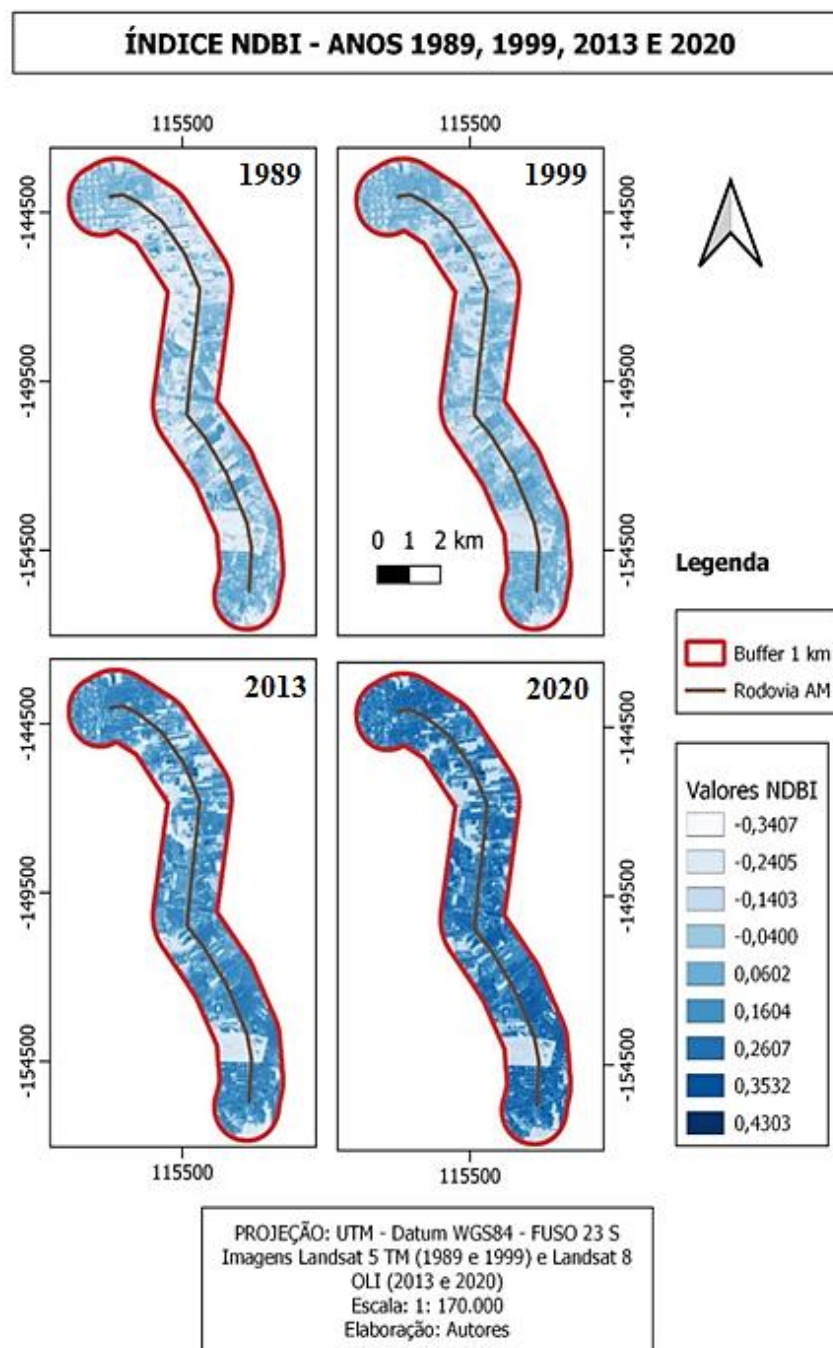
Ainda assim, é notória a redução de cobertura vegetal de acordo com as cenas e histórico de anos analisados no trabalho em questão (1989-1999-2013-2020), visto que as áreas de coloração de tonalidades verdes foram reduzindo e as feições marrons e variantes aumentando. Nesse sentido, mais uma vez denota-se que os anos com maior e menor presença de cobertura vegetal foram 1989 e 2020, respectivamente. O ano de 2020 (pós *boom* imobiliário) apresenta maior quantidade áreas adensadas construídas, indicando um forte crescimento na expansão da mancha urbana para a área interesse de estudo.

Desse modo, para avaliar com uma acurácia melhor a situação das áreas construídas, foi utilizado o NDBI, visto que é um índice específico para edificações.

4.1.3 NDBI

Para o NDBI, foram gerados os seguintes mapas temáticos (figura 10) de acordo com a metodologia utilizada:

Figura 10 – Mapas do NDBI da área de estudo referente aos anos 1989, 1999, 2013 e 2020



Fonte: Autor, (2021).

Aqui nota-se mais uma vez a evolução em relação ao adensamento da área de interesse do estudo, indicando o surgimento de mais áreas construídas (colorações mais escuras e valores positivos) e diminuição de cobertura vegetal (colorações mais claras e valores negativos) visto que as colorações foram escurecendo no decorrer do período analisado (30 anos); demonstrando de acordo com as classes usadas para o NDBI uma quantidade significativa e aumento de pontos com colorações mais escuras e valores positivos; e redução dos pontos mais claros e valores negativos quando comparados os anos extremos analisados (1989 e 2020).

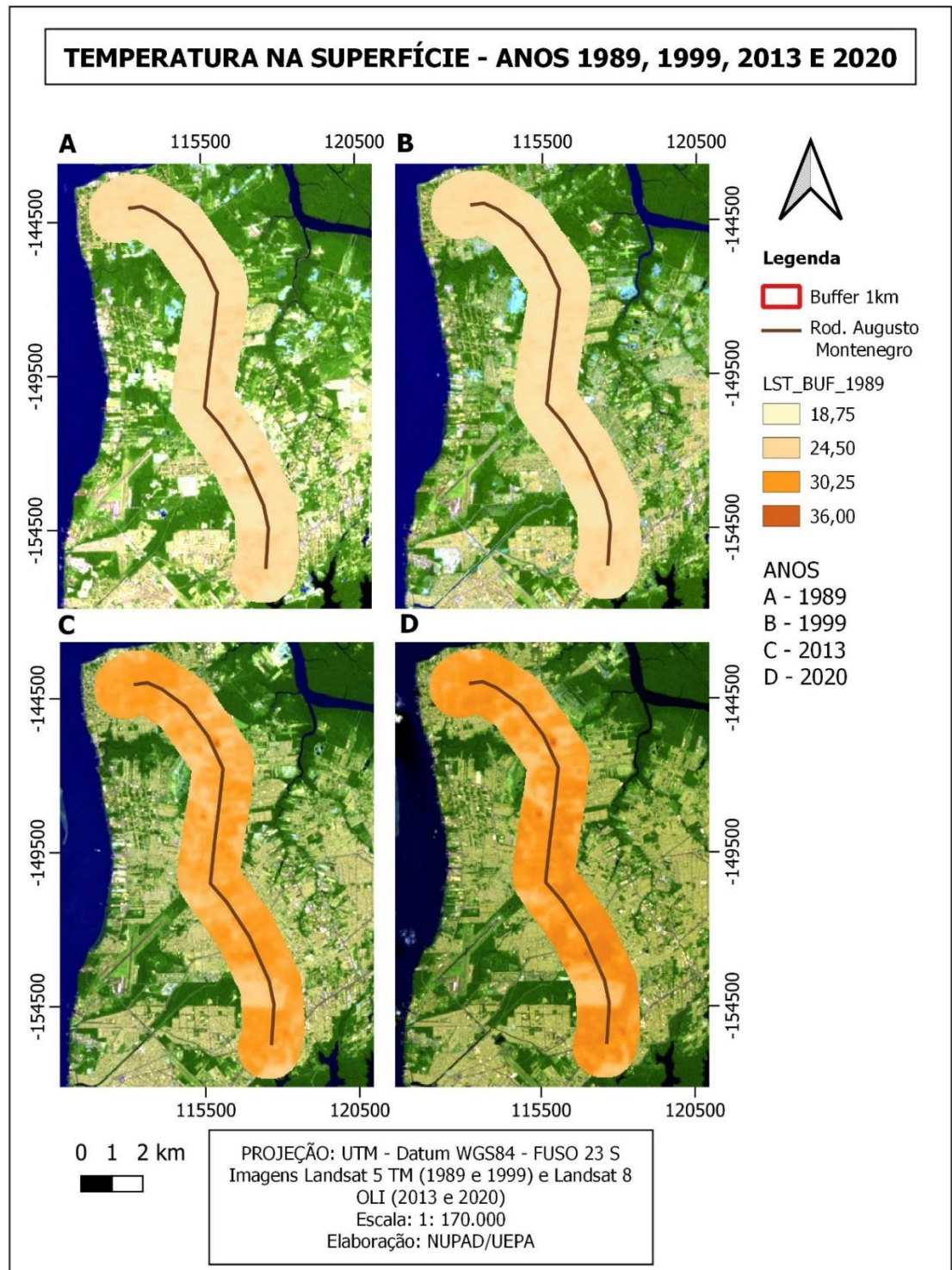
Observa-se ainda que os anos mais escuros foram 2013 e 2020, corroborando mais uma vez a influência, impactos e modificações ocorridas na rodovia principalmente por conta da expansão imobiliária nessa zona da cidade nos últimos anos e pós obra do BRT, intensificando a diminuição de áreas verdes.

No trabalho realizado por Moraes Junior e Silva (2019) também com a temática de expansão urbana de Belém e imagens orbitais, na série temporal analisada (1973-1993-2018) e as classes avaliadas (Corpos d'água, Vegetação e Urbanização), o resultado obtido foi aumento dos valores de espaços urbanizados em detrimento das áreas de cobertura vegetal principalmente nas áreas circunvizinhas à Rodovia Augusto Montenegro; sendo 2018 o ano com menor quantitativo de vegetação.

Com a aceleração da retirada de cobertura vegetal, uma variável bastante afetada é a Temperatura do ambiente, o que pôde ser observado por meio dos mapas de *Land Surface Temperature* (LST) dos anos analisados de 1989, 1999, 2013 e 2020 (Figura 11). As cenas utilizadas foram as mesmas dos mapas de ocupação e variação de áreas verdes do *buffer de 1km*; e desse modo, coletou-se os dados dos sensores ópticos das suas respectivas bandas termais para realizar a aplicação das equações mencionadas nos métodos e ferramentas utilizadas.

4.1.4 Land Surface Temperature (LST)

Figura 11 – Mapas de Land Surface Temperature (LST) referente aos anos 1989, 1999, 2013 e 2020



Fonte: Autor, (2021).

Por meio da função calculadora *Raster* do *QGIS*, pôde-se obter os valores das Land Surface Temperatures (LST) da área estudada. Nesse sentido, para cada ano foram adquiridas as temperaturas (°C) mínimas e máximas, chegando-se aos seguintes resultados:

Tabela 2 - Temperatura de Superfície LST (°C) do *Buffer* nos anos 1989, 1999, 2013 e 2020

	1989	1999	2013	2020
T. Mínima	19,28°C	21,06°C	24,99°C	25,86°C
T. Máxima	26,68°C	25,83°C	34,48°C	35,83°C
T. Média	23,01°C	23,11°C	28,52°C	29,78°C

Fonte: Autor, (2021).

Para o ano de 1989, segundo a calculadora do software, a LST mínima foi de 19,28°C e a máxima 26,68°C. Em relação a 1999, a mínima foi 21,06°C e a máxima 25,83°C. Para 2013 e 2020, os valores máximos e mínimos foram 24,99°C; 34,48°C e 25,86°C; 35,83°C respectivamente. Referente às Temperaturas médias para o período trabalhado, para 1989 e 1999 quase não modificou; entretanto, para 2013 e 2020 teve um aumento de 5°C no ano de 2013 e mais 6°C em 2020. Desse modo, no decorrer dos anos, foi demonstrado um aumento no índice LST à medida que as áreas verdes foram sendo suprimidas; com exceção da temperatura máxima de 1999, a qual é menor que em 1989.

Outro aspecto que também explicaria as LST's terem um aumento significativo seria a troca de sensor óptico do *Landsat 5* para o *Landsat 8* em 2013, ressaltando que as tecnologias das bandas termais de ambos os satélites são distintas e pode ter influenciado nos valores para LST.

Nesse contexto, é válido ressaltar que no ano de 1999 ocorreu o fenômeno meteorológico denominado *La Niña*, e com sua ocorrência, na Região Amazônica, a precipitação tende a ser maior que o normal (MOREIRA *et al.*, 2018). As zonas próximas à região norte do Brasil, durante os meses de Junho-Julho-Agosto (período próximo às imagens coletadas para a geração dos mapas do estudo) ficam comumente mais frias e chuvosas (INPE, 2021); o justificaria a temperatura menor, embora a quantidade de áreas verdes tenha diminuído e a de áreas construídas aumentado.

Ainda segundo o Instituto de Pesquisas Espaciais, no ano de 1999, o fenômeno ocorreu de forma moderada de acordo com a escala adotada pelo Instituto como pode ser observado na figura abaixo:

Figura 12 – Ocorrências e nível de intensidade do fenômeno La Niña



Fonte: INPE, (2021).

No que se refere às ‘Temperaturas diárias’ registradas pelo INMET para o município nas datas das imagens trabalhadas em cada um dos anos, têm-se:

Tabela 3 – Temperaturas (°C) Máximas e Mínimas diárias registradas pela estação convencional 82191 (Belém)

	1989	1999	2013	2020
T. Mínima	21,8°C	22,7°C	21,1°C	23,0°C
T. Máxima	33,0°C	32,1°C	33,2°C	35,6°C
T. Média	27,4°C	27,4°C	27,15°C	29,3°C

Fonte: INMET, (2021).

Nesse sentido, de acordo com os dados de temperatura do INMET, constatou-se mais uma vez que a temperatura máxima registrada para a data do ano de 1989 foi maior que em 1999 (ano do fenômeno meteorológico *La Niña*). Segundo o banco de dados do

Instituto Nacional de Meteorologia (2021) para a estação meteorológica, no ano de 1989 e 1999 as temperaturas máximas registradas para as datas das imagens dos respectivos anos foram 33°C e 32,1°C; o que corrobora que apesar da diminuição de áreas verdes, a temperatura máxima em 1999 registrada foi menor que em 1989.

Além disso, é válido lembrar que as temperaturas registradas pelo Instituto são referentes ao município de Belém como um todo, enquanto que as registradas pelo *software QGIS 3.22* são referentes apenas ao *buffer* de 1km. A partir do ano de 2013, tanto a temperatura mínima, quanto máxima, bem como a temperatura média da área de estudo foram maiores que as registradas para todo o território do município pelo INMET; propiciando a formação de ‘ilhas de calor’. Em um trabalho realizado por Kaplan; Advan e Advan (2018), os autores utilizaram os mesmos indicadores (NDVI, NDBI e LST) para analisar a área de estudo (República da Macedônia – pequeno país do Sudeste Europeu), bem como também realizaram os comparativos utilizando dados meteorológicos da região abordada; corroborando a influência do tipo de cobertura do solo sobre a temperatura do meio e indicando vários pontos de formação de UHI de acordo com a série temporal avaliada na pesquisa.

À vista disso, a temperatura do ar é uma variável dependente enquanto que as classes de uso são consideradas independentes, significando que a temperatura do ar varia de acordo com o uso da terra; e embora a metodologia utilizada tenha sido RGB e não “classes de uso”, foi possível observar as maiores temperaturas nas áreas construídas de acordo com os comparativos dos mapas apresentados nos resultados do trabalho; o que será melhor discutido a seguir.

4.2 Relação entre LST, NDVI e NDBI

Abaixo segue a tabela resumo dos valores das estatísticas de pixel e desvio Padrão referentes aos índices e parâmetros avaliados na pesquisa:

Tabela 4 - Resumo das estatísticas de valores de pixel para LST, NDVI e NDBI

Ano	Índice	Min	Max	Mean	SD (Desv.Pad)
1989	Land Surface Temperature (LST) ° C	19,2859	26,6813	23,01	1,0310
	NDVI	-0,0657	0,5034	0,2667	0,1017
	NDBI	-0,2830	0,3572	-0,0712	0,0991

1999	Land Surface Temperature (LST) ° C	21,0651	25,8335	23,11	0,8954
	NDVI	-0,0169	0,5239	0,2296	0,1054
	NDBI	-0,3407	0,4303	-0,0462	0,1003
2013	Land Surface Temperature (LST) ° C	24,9987	34,4843	28,52	1,2989
	NDVI	-0,0270	0,6025	0,2107	0,1076
	NDBI	-0,3123	0,2392	-0,0153	0,1021
2020	Land Surface Temperature (LST) ° C	25,8640	35,8372	29,78	1,5383
	NDVI	-0,0356	0,5938	0,2099	0,1110
	NDBI	-0,3637	0,1889	-0,0091	0,1085

Fonte: Autores, (2021).

Ao serem analisados os valores médios no decorrer dos anos e de acordo com a escala adotada para o NDVI, observou-se além de áreas de vegetação de pequeno porte (valores próximos a 0,2: arbustos e gramíneas) para a área de estudo; uma diminuição das mesmas, visto que em 1989 o seu valor era de 0,2667 e em 2020 correspondeu a 0,2099.

Em relação ao NDBI, de acordo com o intervalo e a classificação adotada (valores negativos para vegetação e valores positivos para áreas edificadas), embora as médias tenham sido valores negativos, houve um aumento de áreas antropizadas como pôde ser verificado visualmente nos mapas temáticos e por meio dos resultados gerados para este índice nas estatísticas de pixel; pois em 1989, o valor médio encontrado correspondia a -0,07 e em 2020 passou a ser -0,009; ou seja, reduziu a quantidade de áreas verdes encontradas e aumentou a de áreas adensadas/urbanizadas.

É válido salientar que em relação aos valores máximos e mínimos encontrados de pixel para tal índice, embora o valor máximo encontrado em 2020 (0,1889) tenha sido menor que em 1989 (0,3572) não significa que reduziram as áreas construídas, apenas que os valores de reflectância mudaram, como verificou-se e observou-se nos mapas para este índice de acordo com cada período analisado; uma vez que o NDBI considera alguns tipos de solo exposto como classe de valor elevado, contudo, não é área construída; o que é corroborado segundo estudo de Moreira e Amorim (2016), no qual solos expostos, superfícies metálicas e áreas densamente construídas obtiveram os maiores valores positivos do índice.

Além disso, pode-se depreender destes resultados que em 1989, a rodovia objeto de estudo tinha mais solos sem cobertura vegetal, os quais foram diminuindo e se transformando em áreas adensadas construídas no decorrer dos anos analisados à medida que a área de estudo foi sofrendo modificações por conta do crescimento imobiliário para esta zona da cidade.

Embora o valor mínimo encontrado em 1989 tenha sido -0,283 e -0,363 em 2020; apenas indica o valor referente a tipologia de vegetação encontrada em cada ano, não a quantidade de áreas verdes. Nesse contexto, é pertinente salientar o crescimento e amadurecimento de algumas espécies vegetais no decorrer dos anos até atingirem uma comunidade ‘clímax’ ou estável, ou seja, os valores de classes que outrora não eram apurados podem modificar dependendo do contexto temporal e realidade de cada imagem da área de estudo (GAMON *et al.*, 2015; OLIVEIRA; CERQUEIRA NETO; SILVA, 2021); o que pôde ser verificado, pois a partir de 1999 os valores mínimos se mantiveram próximos

Em relação a esta temática, no próprio município há a consolidação de áreas verdes como parques municipais, a exemplo do Parque Ecológico Gunnar Vingren (PEGV) localizado no *buffer* da área de estudo (lado esquerdo inferior das imagens) e criado pela Lei Municipal 7.539/91 (dois anos após a imagem de 1989), o qual é considerado uma Unidade de Conservação Municipal de proteção integral, sendo permitido apenas atividades de ecoturismo e Educação Ambiental. Nesse contexto, a área que correspondia ao que hoje (e mais protegida) é o parque, visualmente modificou sua coloração, indicando maturação da vegetação ali encontrada; entretanto, pôde-se observar também redução na sua área e perímetro quando comparados os anos.

Deve-se ressaltar também que os resultados dos índices (NDVI e NDBI), bem como do parâmetro temperatura variam de acordo com a realidade de cada período temporal analisado.

Diante disso, ao se observar os valores médios para o parâmetro LST, com o avançar do tempo também teve aumento em seus valores, sendo ainda mais significativo esse aumento quando comparados os anos extremos - 1989 e 2020 -, para os quais foram 23,01°C e 29,78°C respectivamente; demonstrando, dessa forma, que quanto menor a quantidade de áreas verdes, maior a temperatura do meio.

Ainda assim, para validar ainda mais esta relação, foram gerados os resultados dos coeficientes de correlação entre **NDVI x LST** e **NDBI x LST** por meio da ferramenta *Zonal Statistics* do software *QGis 3.22*, os quais podem ser observados na tabela a seguir:

Tabela 5 - Correlação entre os *rasters* da área de estudo para NDVI X LST e NDBI X LST

Ano	NDVI X LST	Critério de avaliação	NDBI X LST	Critério de avaliação
1989	-0,698	0,6 < r < 1,0: correlação moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis	0,752	0,6 < r < 1,0: correlação moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis
1999	-0,715	0,6 < r < 1,0: correlação moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis	0,758	0,6 < r < 1,0: correlação moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis
2013	-0,739	0,6 < r < 1,0: correlação moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis	0,782	0,6 < r < 1,0: correlação moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis
2020	-0,762	0,6 < r < 1,0: correlação moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis	0,804	0,6 < r < 1,0: correlação moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis

Fonte: Autor, (2021).

Referente aos testes de correlação NDVI X LST e NDBI X LST, em todos os anos, os valores em módulo estiveram dentro do intervalo [0,6; 1,0]; caracterizando segundo a metodologia e critério utilizado uma correlação ‘moderada a forte, com significativa relação entre as variáveis’.

Nesse contexto, e mais uma vez, os menores valores (em módulo) dos coeficientes encontrados foram para 1989; sendo 0,698 para NDVI x LST e 0,752 para NDBI X LST em contraste a 2020, no qual os valores foram os maiores em módulo. Para o índice NDVI, o valor do coeficiente de correlação calculado foi de 0,762 e 0,804 para o NDBI; demonstrando mais uma vez a intrínseca relação entre diminuição da cobertura vegetal e aumento da temperatura do meio.

O mesmo ocorreu no estudo de Kaplan; Advan e Advan (2018), que para validar a relação NDVI x LST e NDBI x LST utilizou análise estatística por meio de coeficiente de correlação, demonstrando valores de coeficiente, os quais denotam relações de ‘moderadas à forte com significativa relação entre as variáveis’ (dos 4 valores gerados para a série temporal analisada, apenas 1 foi próximo de 0,6 quando colocados em

módulo; resultou em 0,59. Os demais foram acima de 0,6). A correlação negativa entre NDVI e LST indica que áreas verdes podem diminuir o efeito de ilhas de calor urbanas, enquanto que a correlação positiva entre NDBI e LST significa que áreas construídas podem fortalecer o efeito de ilhas de calor urbanas (KAPLAN; ADVAN; ADVAN, 2018).

Desse modo, o crescimento urbano acelerado somado a falta de planejamento e outros fatores que envolvem uso e ocupação do solo ocasionam diversos impactos ao meio e a temperatura é um parâmetro muito relevante, pois suas variações podem alterar drasticamente a qualidade de vida do meio, visto que alguns ecossistemas e seres vivos são extremamente sensíveis a qualquer alteração de temperatura por menor que seja.

Além disso, outros impactos advindos com a alteração do uso e ocupação do solo demonstram, por exemplo, a forte relação entre adensamento urbano e impermeabilização dos solos: quanto maior a impermeabilização, menores são as taxas de infiltração (WELERSON; SILVA, 2019); fazendo com que seja cada vez mais frequente casos de enchentes e inundações em cidades urbanizadas, visto que solos com maior cobertura vegetal apresentam maior capacidade de absorção hídrica (KANG *et al.*, 2018).

Dessa maneira, as mudanças na superfície decorrentes da urbanização e retirada de cobertura vegetal ocasionam diversos impactos ambientais, além de alterações na temperatura do ambiente, tendo influência sob a umidade relativa e regime de precipitações; bem como enchentes e inundações, deslizamentos em áreas de encostas por solifluxão, contaminação de solos e corpos hídricos (PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017).

No que tange a esta temática, em um estudo realizado por Paumgarten, Maués e Rocha (2021), Belém apresenta áreas propensas à inundações, bem como áreas que os autores denominaram “aglomerados subnormais” por conta de forte adensamento urbano e que elas influenciam no aumento da vulnerabilidade, a exemplo de bairros localizados ao redor ou próximos da área objeto deste estudo – rodovia Augusto Montenegro – como Benguí, Outeiro e Icoaraci; e nesse sentido; foram áreas com os maiores índices de vulnerabilidade e suscetibilidade à intempéries ambientais.

5. CONCLUSÕES

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Quanto à questão de pesquisa, a expansão urbana influencia na supressão vegetal à medida que há necessidade de novas áreas para a construção civil, tornando o meio ambiente belenense propício ao aumento de temperaturas e formação de UHI devido ao alto poder de absorção de energia térmica por parte de materiais como o concreto, além da influência na sensação térmica da região abordada no estudo.

Durante a realização do trabalho notou-se um aumento significativo nas pesquisas envolvendo o uso de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para apoiar nas buscas por soluções de melhor manejo e gestão de áreas ambientais, bem como auxiliar no acompanhamento de áreas verdes em meios urbanos; sendo relevante na avaliação de outros parâmetros como a temperatura de superfície, a qual pode funcionar como indicativo de qualidade ambiental nas cidades.

Diante da importância e relevância do tema abordado, os objetivos iniciais propostos pela presente pesquisa foram alcançados visto que buscou-se realizar um estudo sobre a expansão imobiliária no município de Belém do Pará e a influência sobre a diminuição de áreas verdes. Além disso, por meio dos mapas gerados pôde-se estabelecer um histórico dos últimos 31 anos (1989-2020) da área analisada por meio de georreferenciamento; bem como verificar a atual conjuntura do uso e ocupação do solo do corredor imobiliário estudado e analisar possíveis impactos ambientais gerados ao meio a médio e longo prazo.

Embora ambos os índices trabalhados apresentem confusões matriciais referentes aos espectros e valores de pixels, o índice NDBI foi o que melhor demonstrou a expansão urbana e redução de áreas verdes na área objeto de estudo por se tratar de um indicador próprio para meio urbano, visto que esta mesma expansão é subestimada pelo índice NDVI.

Por conseguinte, conclui-se por meio dos mapas e imagens analisadas a forte expansão imobiliária na Rodovia Augusto Montenegro, localizada na cidade de Belém – PA e o consequente efeito sobre a diminuição de áreas verdes e alterações na temperatura

de superfície com o passar dos anos, propiciando a formação de “ilhas de calor” por exemplo.

Para melhorar o controle de áreas verdes no município em questão, é de extrema importância que exista um alinhamento entre ferramentas tecnológicas (como o georreferenciamento), de modo que proporcione um gerenciamento eficiente, bem como aliado aos instrumentos de gestão municipais: Plano Diretor Municipal; Licenciamento Ambiental e ferramentas de avaliação de impactos ambientais; e assim ajude na mitigação dos problemas ocasionados ao meio causados por uma expansão urbana desordenada.

5.2 SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Para novas pesquisas, sugere-se a realização de uma Revisão de Literatura com novas palavras-chave, e dessa maneira realize-se uma varredura mais ampla sobre o tema, possibilitando encontrar maior quantidade de estudos para tornar mais robusto o arcabouço teórico; além de fortalecer a geração de conhecimento a respeito desta temática.

Como o NDBI e o NDVI trazem informações dos pixels da área alvo trabalhada, ambos apresentam confusões matriciais dependendo das características de cada ambiente e sazonalidade, sugere-se para trabalhos futuros a aplicação do *Built-up index* (BU), o qual é utilizado para separar áreas permeáveis de áreas impermeáveis, afim de evitar problemas e mesclas entre solos expostos e áreas construídas.

Propõem-se também a aplicação de novas ferramentas que auxiliem no diagnóstico de perdas de áreas verdes, além de mensurar o potencial de outras zonas para construção civil e diminuir o risco de impactos ambientais significativos para os meios urbanos. Nesse sentido, recomenda-se trabalhos que associem ferramentas e literaturas de avaliação impactos ambientais, pois há metodologias de análises de impactos mais abrangentes, as quais levam em consideração e avaliam questões sociais e bióticas.

Deve-se ressaltar a importância do estudo em questão para a criação e fortificação das bases de dados municipais em relação a quantidade de áreas verdes, temperaturas e zonas de potencial imobiliário visto que este foi um dos problemas encontrados para o desenvolvimento do trabalho; ademais de questões climático-naturais da região que

prejudicaram a captura de imagens de satélites e tardaram a definição da série temporal a ser analisada.

Assim, também seria de suma relevância realizar um levantamento da legislação aplicada ao município em questão para as práticas relacionadas a supressão vegetal, avaliando suas principais consequências ambientais e sociais, convertendo-se também em uma questão importante para ser estudada futuramente. Diante disso, tal estudo poderá também ampliar a pesquisa a outros municípios do país, de maneira a conjecturar um panorama geral do tema abordado; bem como possibilitar a formulação de prognósticos de cenários para o binômio ‘crescimento de áreas construídas - redução de áreas verdes’ ou temas relacionados, e assim auxiliar na tomada de decisões em momentos presentes. Dessa forma, será relevante para que não se chegue aos piores cenários nos municípios e as remediações não sejam mais custosas em termos econômicos ou poucos eficientes.

REFERÊNCIAS

ALFONSIN, B. M. et al. Das ruas de Paris a Quito: o direito à cidade na nova Agenda Urbana – HABITAT III. **Revista de Direito da Cidade**, v. 9, n. 3, p. 1214-1246, 2017.

ALMEIDA, A. N. de. et al. Principais problemas na previsão e avaliação de impactos ambientais nos Estudos de Impacto Ambiental (EIAs): uma aplicação da análise de correlação canônica. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 7, p. 31-42, 2017.

ALMEIDA, D. N. O. et al. Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, p. 58-68, 2018.

ALVES, L. A.; SILVA, A. R. de P.; FILHO, V. R. O século das cidades também pode ser o século da cidade sustentável? **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 9, p. 29–41, 2015.

ALVES, L. A. Ponderações sobre a relevância dos espaços verdes urbanos para as condições de saúde e qualidade de vida. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 5, n. 29, p. 77-94, 2017.

AMARAL, D. G. P.; LANA, C. E. Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto (MG). **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 49, p. 368-382, 2017.

AMATO-LOURENCO, L. F. et al. Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. **Revista Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 113-130, 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100008>.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de Calor urbanas: métodos e técnicas de Análise. **Revista Brasileira de Climatologia (Eletrônica)**, v. 15, Edição Especial XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia, 2019.

ANUNCIATO, K. M.; FRANCO, C. Análise dos principais indicadores de pobreza e desigualdade social de Mato Grosso do Sul. **Revista UNEMAT de Contabilidade**, v. 6, n. 11, p. 1-28, 2017.

ARANA, A. R. A.; FROIS, M. R. Planejamento urbano ambiental: Diretrizes para o zoneamento na bacia do Córrego do Limoeiro em Presidente Prudente-SP. **Revista GEOUSP Espaço e Tempo**, v. 20, n. 3, p. 619-635, 2016.

ASSIS, F. R. V. et al. Índice de Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia do Talhado, Santa Luzia, Paraíba. **Revista Acta Brasiliensis**, v. 1, n. 3, p.8-16, 2017.

AYRES, M. **Elementos de Bioestatística**. 2. ed. Belém, PA: Editora da Universidade Federal do Pará, 2012.

BALERA, W.; SILVA, R. S. da. **Comentários aos objetivos de desenvolvimento sustentável**. 1. ed. São Paulo: Verbatim, p. 18, 2018.

BARBOSA, G. G. Recursos Naturais Renováveis e Produção de Energia. **Revista Política Hoje**, v. 23, p.193-215, 2016.

BARBOSA, U. da S. et al. Reutilização do concreto como contribuição para a sustentabilidade na construção civil. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro – Unipac**, v. 10, n. 4, p. 383-397, 2018.

BARBOSA, C. C. F. et al. **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações**. 1. ed. São José dos Campos, SP: LabISA\INPE, 2019.

BARBOZA, E. N.; BEZERRA NETO, F. das C.; CAIANA, C. R. A. Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza, Ceará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-21, 2020.

BARDEN, J. E. et al. Dinâmica populacional e transformações socioespaciais: uma análise a partir da região do Vale Taquari/RS. **Revista GEOSUL**, v. 33, n. 66, 2018.

BARROS, J. D'A. "Fixos e fluxos: revisitando um par conceitual." **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v.29, n. 2, p. 493-504, 2020.

BASTOS, J. M.; CASARIL, C. C. A formação socioespacial como categoria de análise aos estudos sobre rede urbana: ampliando a discussão teórica. **Revista GEOSUL**, v. 31, n. 62, p. 271-298, 2016.

BELÉM. **Lei nº 7.539, de 19 de novembro de 1991**. Cria o Parque Ecológico do Município de Belém. Disponível em: <<https://www.semas.pa.gov.br/1991/11/19/9834/>>. Acessado em setembro de 2021.

BELÉM. **Lei nº 2/99, de 19 de julho de 1999**. Lei complementar de controle urbanístico - dispõe sobre o parcelamento, ocupação e uso do solo urbano do município de belém e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pa/b/belem/lei-complementar/1999/0/2>>. Acessado em dezembro de 2020.

BELÉM. **Lei nº 8.655, de 30 de julho de 2008**. Plano Diretor do Município de Belém. Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/semaj/app/Sistema/view_lei.php?lei=8014&ano=2000&tipo=1>. Acessado em agosto de 2019.

BELÉM. **Lei nº 8.909, de 7 de março de 2012**. Dispõe sobre o plano municipal de arborização urbana de Belém e dá outras providências. Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/semaj/app/Sistema/view_lei.php?lei=8012&ano=2000&tipo=1>. Acessado em setembro de 2020.

BENINI, S. M.; ROSIN, J. A. R de G. Levantamento do IAVP – Índice de Áreas Verdes Públicas. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 7, n. 49, p. 75-89, 2019.

BENINI, S. M.; ROSIN, J. A. R. de G. **A questão ambiental em debate: pesquisas e práticas**. 3. ed. Tupã, SP: Ed. ANAP, 2020.

BENCKE, L. R.; PEREZ, A. L. F. Análise dos principais modelos de indicadores para cidades sustentáveis e inteligentes. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 6, n. 37, p. 68-85, 2018.

BENTO, S. C. et al. As Novas Diretrizes e a Importância do Planejamento Urbano para o Desenvolvimento de Cidades Sustentáveis. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS**, v. 7, n. 3, p. 469-488, 2018.

BENVENUTTI, A. F. Infraestrutura, habitação e produção imobiliária de mercado na metrópole remodelada. **Rev. Programa Pós-Grad. Arquit. Urban. FAUUSP**, v. 26, n. 48, p. 1-17, 2019.

BERNARDINI, S. P. O planejamento da expansão urbana na interface com a urbanização dispersa: uma análise sobre a região metropolitana de Campinas (1970-2006). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 1, p. 172-185, 2018.

BORGES, J. C. A.; BATISTA, L. F. A. Índice de vegetação e temperatura de superfície terrestre: comparativo entre formação de ilhas de calor nos perímetros urbanos de Londrina e Maringá no PR. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 8, n. 4, p. 256-274, 2020.

BOTTEON, V. W. Aplicabilidade de ferramentas de geotecnologia para estudos e perícias ambientais. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 5, n. 1, p. 7-13, 2016.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Estatuto da Cidade: diretrizes gerais da política urbana**. Brasília, Câmara dos Deputados, 2001, 1ª Edição.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política nacional do meio ambiente**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acessado em maio de 2020.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acessado em maio de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução **CONAMA** nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Novo Código Florestal**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acessado em janeiro de 2021.

BRITO, A. J. de et al. Expansão urbana e drenagem: análise das soluções propostas para manejo de águas pluviais em região produtora de água na bacia do Paranoá, DF. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. esp, p. 588-605, 2020.

BURSZTYN, M. A.; BURSZTYN, M. **Fundamentos de política e gestão ambiental: caminhos para a sustentabilidade**. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Garamond, 2013.

CABRAL, R.; GOTHARDO, J. Princípios da Cultura de Paz e Estratégias de Sensibilização em Relações Públicas no Programa Cidades Sustentáveis. **Razón y Palabra**, v. 20, n. 88, p. 160–175, 2014.

CAETANO, F.; ROSANELI, A. A paisagem no Plano Diretor Municipal: uma reflexão sobre sua referência na legislação urbanística dos municípios paranaenses. **EURE (Santiago)**, v. 45, n. 134, p. 193-212, 2019.

CAMPOS, R. B. F.; CASTRO, J. M. Áreas Verdes: espaços urbanos negligenciados impactando a saúde. **Revista Saúde e Transformação Social**, v. 8, n. 1, p. 106-116, 2017.

CARBONE, A. S. et al. Gestão de áreas verdes no município de São Paulo: ganhos e limites. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 4, p. 201-220, 2015.

CARREIRAS, M. Integração socioespacial dos bairros de habitação social na área metropolitana de Lisboa: evidências de micro segregação. **Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia**, v. 53, n. 107, p. 67-85, 2018.

CARVALHO, W. dos S.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; SANTOS, T. L. dos. Uso e cobertura do solo utilizando a plataforma Google Earth Engine (GEE): estudo de caso em uma unidade de conservação. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 15280-15300, 2021.

CASAROTI, C. J.; CENTENO, J. A. S. Uma abordagem híbrida de processamento de imagens para o monitoramento de mudanças na cobertura do solo em ambiente urbano costeiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 44196-44217, 2020.

CECONI, D. E. et al. Análise de vulnerabilidade visando o planejamento ambiental em bacia de captação para abastecimento público. **Ambiente e Sociedade**, v. 21, ed. esp., p. 1-22, 2018.

CLEMENTE, S. dos S.; OLIVEIRA JR, J. F. de O.; LOUZADA, M. A. P. Focos de calor do bioma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro: uma abordagem de gestão e legislação ambiental. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 2, p. 158-174, 2017.

CNM. Confederação Nacional de Municípios. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: < <https://ods.cnm.org.br/agenda-2030>>. Acessado em março de 2021.

CONTO, V. de; OLIVEIRA, M. L. de; RUPPENTHAL, J. E. Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil. **Revista GEPROS**, v. 12, n. 4, p. 100-127, 2017.

CONWAY, T. M.; VANDER VECHT, J. Growing a diverse urban forest: Species selection decisions by practitioners planting and supplying trees. **Landscape and Urban Planning**, v. 138, p. 1-10, 2015.

COSTA, A. A. da; NASCIMENTO, E. A. do. A produção de espaço urbano e os fatores do processo de expansão do mercado imobiliário em Mossoró-RN. **Revista Ateliê Geográfico**, v. 10, n. 2, p. 21-41, 2016.

COSTA, A. M. S. da; BEZERRA, P. E. S.; OLIVEIRA, R. S. de. Mudanças no uso e ocupação da terra associadas a focos de calor na área de influência da Rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 119-125, 2017.

COUTTS, C.; HAHN, M.G. Infrastructure, Ecosystem Services, and Human Health. *International Journal of Environmental. Research and Public Health*, n.12, v.8, 2015.

CRISTINA, P. et al. Brick solo cement with vegetable fiber addition: an alternative in civil construction. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 9, e779439, 2018. <https://doi.org/10.17648/rsd-v7i9.439>

CRUZ, R.; LANZANOVA, M.; BISOGNIN, R. (2019). Mapeamento do Uso da Terra e Identificação de Conflitos Legais em Áreas de Preservação Permanente Utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 41, n.40, 2019. DOI <https://doi.org/10.5902/2179460X36407>

DIAS, G. F. **Atividades Interdisciplinares de Educação Ambiental**. 2ª ed. São Paulo: Global Editora e Distribuidora Ltda, 2015.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. de P.; SUSGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 175-181, 2006.

DUSI, L.; BUENO, L. da S. O planejamento em áreas protegidas por seu valor ambiental e as ferramentas de gestão. **Revista de Engenharia e Inovação Tecnológica**, v. 5, n. 2, p. 44-61, 2016.

DUTRA, M. Impactos ambientais e licenciamento ambiental dos empreendimentos no município de campo bom / RS. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 5, p. 84-100, 2016.

ESPÍNDOLA, I. B.; RIBEIRO, W. C. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. **Cadernos Metrópole**, v. 22, n. 48, pp. 365-395, 2020.

FANTINATTI, P. A. P.; ZUFFO, A. C.; FERRÃO, A. M. A. **Indicadores de sustentabilidade em engenharia: como desenvolver**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2015.

FARIA, J. R. V. de.; FARIA, J. H. de. A Concepção de Estado e a Administração Pública no Brasil no Âmbito do Plano Diretor de Reforma do Estado. **Administração Pública e Gestão Social**, v. 9, n.3, p. 140-147, 2017.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 15, n. 3, p. 667-681, 2017.

FELIX, F. dos S. et al. Construção civil no Brasil: criando ou destruindo valor? **Revista Gestão e Projetos**, v. 7, n.1, 2016.

FERNANDES, L. S.; BOTELHO, R. G. M. Proposta Metodológica de Priorização de Municípios para Implantação de Programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). **Ambiente e Sociedade**, v. 19, n. 4, p. 85-104, 2016.

FERNANDES, K. M.; HIGUCHI, M. I. G. Parques verdes urbanos: espaços de sensibilização ambiental e bem estar social. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 4, p. 23-36, 2017.

FERNANDES, V. C. et al. Telhados verdes: uma perspectiva contemporânea. **Revista CIATEC-UPF**, v. 9, n. 1, p. 46-57, 2017.

FERREIRA, I. D.; IMBROISI, D. A equidade intergeracional e a taxa de desconto em impactos ambientais de longo prazo. **Revista Nova Economia**, v. 28, n. 3, p. 913-942, 2018.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos. 2008.

FITZ, P. R. Classificação de imagens de satélite e índices espectrais de vegetação: uma análise comparativa. **Revista Geosul**, v. 35, n. 76, p. 171-188, 2020.

FONSECA, S. F.; MENDONÇA, G. L. Uso de geoprocessamento em projetos na educação básica. **Revista de Ensino de Geografia**, v. 6, p. 5-19. 2015.

FONSECA, S. F.; HERMANO, V. M.; SILVA, A. C. Mapeamento do uso da terra nos municípios de Janaúba e Nova Porteirinha (MG) usando dados de sensoriamento remoto. **Revista de Geografia da UEG**, v. 5, p. 103-119, 2016.

FONSECA, S. F.; GUEDES, C. R. M.; SANTOS, D. C. 2017. Análise espacial, informática e geoprocessamento aplicados no ensino médio. **Revista Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 21, p. 167-176, 2017.

FONSECA, R. O. Política pública e Compensação Ambiental no Brasil: o caso da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio do Jari na Amazônia. **Rev. Franco-Brasileira de Geografia**, v. 13, n. 41, 2019.

FREITAS, M.; STALOGH, R. Análise socioespacial de uma favela em Florianópolis (SC): a comunidade Vila do Arvoredo. **Revista de História e Geografia Ágora**, v. 20, n. 2, p. 90-103, 2018.

FREITAS, A. R. de. Degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio das Antas, Sudeste do Paraná: análise quantitativa e qualitativa mediante a utilização da metodologia do IDA. **Revista Geografias**, v. 28, n. 1, p. 22-42, 2020.

GALLO, D. Desenvolvimento sustentável e qualidade de vida: reflexões sobre vulnerabilidade e resiliência urbana. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 13, n. 02, p. 44-56, 2017.

GAMON, J. A.; KOVALCHUCK, O.; WONG, C. Y. S.; HARRIS, A.; GARRIT, S. R. Monitoring seasonal and diurnal changes in photosynthetic pigments with automated PRI and NDVI sensors. **Biogeosciences**, v. 12, n. 1, p. 4149–4159, 2015.

GANEM, R. S.; JURAS, I. da A. G. **Legislação sobre meio ambiente: qualidade ambiental**. Série Legislação, Brasília, GO: Câmara dos deputados, 2015.

GEE. Google Earth Engine – Google Earth Education. **Análise de todo o planeta na nuvem do Google**. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-BR_ALL/earth/education/tools/google-earth-engine/>. Acessado em abril de 2021

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOMES, M. R.; MARTIN, E. S. Degradação das praças públicas e os fatores de risco para a população: exemplos para a cidade de Natal/RN. **Revista GEOgraphia**, v. 19, n. 40, p. 107-122, 2017.

GOMES, K. D. Equidade intergeracional: sustentabilidade ambiental para gerações vindouras. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 1-19, 2018.

GONÇALVES, J. R. Como escrever um artigo de revisão de literatura. **Revista JRG De Estudos Acadêmicos**, v. 2, n. 5, p. 29-55, 2019.

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Enviroment**, v. 202, n. 1, p. 18-27, 2017.

GRISE, M. M.; BIONDI, D.; ARAKI, H. Distribuição Espacial e Cobertura de Vegetação das Tipologias de Áreas Verdes de Curitiba, PR. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 498-510, 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/2179-8087.127715>.

GUEDES, G. H. et al. Redes de infraestrutura urbana e suas relações com os componentes técnicos, sociais e ambientais. **Revista Valore**, v. 2, n. 2, p.329-339, 2017.

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

GUIMARÃES, C. L.; MILANEZ, B. Mineração, impactos locais e os desafios da diversificação: revistando Itabira. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 41, n. 1, p. 215-236, 2017.

GUIMARÃES, C. R. R. et al. Caracterização de áreas verdes urbanas no município de Goianorte/TO. **Periódico Novos Desafios**, v. 1 n. 1, 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica**. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Densidade demográfica de Belém do Pará, 2010.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Divisão territorial, quantidade de habitantes e área de Belém do Pará, 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Base de dados de Temperaturas Mínimas e Máximas do município de Belém do Pará**. Disponível em: < <https://bdmep.inmet.gov.br/#>>. Acessado em setembro de 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Clima e estação chuvosa na região norte/Pará**. Disponível em: < <http://clima1.cptec.inpe.br/estacaochuvosa/pt> >. Acessado em janeiro de 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Fenômeno meteorológico La Niña**. Disponível em: < <http://enos.cptec.inpe.br/> >. Acessado em outubro de 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração de Imagens: Satélites – LANDSAT**. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acessado em abril de 2021.

IWATA, B. de F.; FERREIRA, D. dos S.; OLIVEIRA, A. D'C. B. Utilização de programas abertos de geotecnologia para o emprego no licenciamento ambiental no estado do Piauí. **Sustainability in Debate – Brasília**, v. 11, n. 2, p. 132-142, 2020.

JESSOP, B.; BRENNER, N.; JONES, M. Teorizando as relações socioespaciais. **Revista GEOgraphia**, v. 19, n. 41, p. 107-119, 2017.

JUGEND, D.; FIGUEIREDO, J. Integrando sustentabilidade ambiental e gestão de portfólio de projetos: estudo de caso em uma empresa de energia. **Gestão e Produção**, v. 24, n. 3, p. 526-537, 2017.

KAPLAN, G.; AVDAN, U.; AVDAN, Z. Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat 8 Satellite Data: A Case Study in Skopje, Macedonia. **Proceedings Journal**, v. 2, n. 358, p. 1-5, 2018.

KAWASHIMA, R. S. et al. Modelagem Dinâmica Espacial como ferramenta para simulação de cenários da paisagem na região portuária da Baixada Santista. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 4, p. 703-718, 2016.

KITCHIN, R; LAURIAULT, T. P.; MCARDLE, G. Knowing and governing cities through urban indicators, city benchmarking and real-time dashboards, *Regional Studies*. **Regional Science**, v. 2, n. 1, p. 6-28, 2015.

KLEMM, W.; HEUSINKVELD, B.G.; LENZHOLZER, S.; JACOBS, M.H.; VAN HOVE, B. Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal

comfort during summertime in the Netherlands. **Building and Environment**, v. 83, p. 120-128, 2015.

LAURIDO, C. T. et al. Análise estatístico-espacial da relação entre conforto térmico e sensação térmica em área urbana: um estudo de caso da Avenida Augusto Montenegro, Km 0 a 3, Belém-PA. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 1104-1114, 2020.

LAZARO, L. L. B.; GREMAUD, A. P. Contribuição para o desenvolvimento sustentável dos projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo na América Latina. **Revista Organ. Soc.**, v.24, n. 80, p. 53-72, 2017.

LEFEBVRE, H. **Lógica formal/lógica dialética**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1975.

LEONELLI, G. C. V.; CAMPOS, E. F. R. Leis expansivas para a expansão urbana: Campinas sem limites. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 1, p. 36-48, 2018.

LIMA, M. C. P. B. de; SCHENK, L. B. M. Estudo de infraestrutura verde na bacia hidrográfica do córrego Monjolinho, São Carlos, SP. **Revista LABVERDE**, v. 9, n. 1, p. 50-72, 2018.

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, p. 1-16, 2019.

LOPES, W. G. R. et al. Reflexões sobre o plano diretor como instrumento de gestão em municípios brasileiros. **Revista GEO UERJ**, v. 1, n. 30, p. 145-168, 2017.

LOTUFO, J. O. Habitar nas 'buffer zones': diretrizes eco-sociais para uma arquitetura integrada à infraestrutura verde. **Revista LABVERDE**, v. 8, n. 2, p. 91-127, 2017.

LUCENA, A. J. de. Notas Metodológicas e Conceituais em Clima Urbano e Ilhas de Calor. **Revista Continentes (UFRRJ)**, v. 2, n. 2, p. 28-59, 2013.

LUCON, F.; LONGO, R. Alterações na temperatura da superfície do solo em função de diferentes formas de cobertura superficial do solo. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 523-538, 2019.

MACIEL, T. T.; BARBOSA, B. C. Áreas verdes urbanas: história, conceitos e importância ecológica. **Revista CES/Juiz de Fora**, v. 29, n. 1, p. 30-42, 2015.

MALIK, M. S.; SHUKLA, J. P.; MISHRA, S. Relationship of LST, NDBI and NDVI using Landsat-8 data in Kandaihimmat Watershed, Hoshangabad, India. **Indian Journal of Geo Marine Sciences**, v. 48, n. 01), p. 25-31, 2019.

MANEA, G.; MATEI, E.; VIJULIE, J.; TIRLĂ, L.; CUCULICI, R.; COCOS, O.; TISCOVSCHI, A. Arguments for Integrative Management of Protected Areas in the Cities – Case study in Bucharest City. **Procedia Environmental Sciences**, v. 32, p. 80-96, 2016.

MARQUES, S. B.; BISSOLI-DALVI, M.; ALVAREZ, C. E. de. Políticas públicas em prol da sustentabilidade na construção civil em municípios brasileiros. **Urbe Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 5, p. 186-196, 2018.

MARTINE, G.; ALVES, J. E. D. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade?. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 32, n. 3, p. 433-460, 2015.

MARTNER, C. Expansión dispersa, ciudad difusa y transporte: el caso de Querétaro, México. **Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos Regionales – EURE**, v. 42, n. 125, p. 31-60, 2016.

MELO, J. G. da S. et al. Degradação socioespacial: análise dos impactos provocados pela construção do complexo hidroelétrico de Paulo Afonso. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.2, n.1, p. 94-104, 2018.

MENDES, L. M.; TYBUSCH, J. S. A globalização e o acesso equitativo do uso de recursos naturais na contemporaneidade: um diagnóstico sob o viés do princípio da equidade intergeracional. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v. 2, n. 1, p. 276-298, 2016.

MENDES, L. A. S. Elementos para uma geografia-histórica da avenida Augusto Montenegro em Belém do Pará. **Revista IHGP**, v. 5, n. 02, p. 118-139, 2018.

MENDES, I. A. da. O uso de geotecnologias na organização do espaço. **Cadernos do Leste**, v. 19, n. 19, p. 35-50, 2019.

MILANEZ, B.; LOSEKANN, C. Desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição. Rio de Janeiro: Folio Digital; Letra e Imagem, 2016.

MORAIS JUNIOR, H. de S.; SILVA, S. L. B. da. Mapeamento dasimétrico e interpolação de dados censitários e imagem orbital para análise da dilatação do sítio urbano da cidade de Belém do Pará. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 36, p. 95-109, 2019.

MOREIRA FILHO, J. C. C.; TAVARES JR, J. R. Avaliação da precisão temática de composições de NDBI, NDVI, NDWI. **Rev. Brasileira de Geomática**, v.4, n. 1, p.3-14, 2016.

MOREIRA, J. L.; AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano de Penápolis-SP através da temperatura da superfície e de índices radiométricos. **Geosaberes**, v. 6, n. especial (3), p. 190-202, 2016.

MOREIRA, F. R.; SILVA, R. D. Habitação de Interesse Social rural na região metropolitana de Maringá, PR: avaliação pós-ocupação. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 3, p. 235-253, 2017.

MOREIRA, S. F. et al. A Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a dinâmica climática da região Amazônica. **Multidisciplinary Reviews**, v. 1, n. e2018014, p. 1-7, 2018.

MORSCH, M. R. S.; MASCARO, J. J.; PANDOLFO, A. Sustentabilidade urbana: recuperação dos rios como um dos princípios da infraestrutura verde. **Revista Ambiente construído**, v. 17, n. 4, p. 305-321, 2017. DOI <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400199>.

MOTA, M. T. et. al. Categorização da infraestrutura verde do município de Sorocaba (SP) para criação de um sistema municipal integrando espaços livres e áreas protegidas. **RBCIAMB**, n.41, v. 1, p. 122-140, 2016. DOI: 10.5327/Z2176-947820160121

MOURA, B. M.; VENTURA NETO, R. da S. Parâmetros de ocupação do solo e transformações urbanas em Belém (1979 – 2018). **ACTA Geográfica**, v. 13, n. 33, p. 113-134, 2019.

MUÑOZ, A. M. M.; FREITAS, S. R. Importância dos serviços ecossistêmicos nas cidades: revisão das publicações de 2003 a 2015. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.6, n.2, p.89-104, 2017.

NAEEM, S. et al. Vegetation role in controlling the ecoenvironmental conditions for sustainable urban environments: a comparison of Beijing and Islamabad. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 12, n. 1, p. 1-24, 2018

NASCIMENTO JÚNIOR, L. Urbanização e cidade dispersa: implicações da produção do espaço urbano no Brasil, em Moçambique e na Austrália. **Revista Geosp – Espaço e Tempo**, v. 21, n. 2, p. 550-569, 2017.

NASCIMENTO, C. A. S. et al. A migração do campo para os centros urbanos no Brasil: da desterritorialização no meio rural ao caos nas grandes cidades. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 5, p. 2254-2272, 2018

NETO, A. F. R. et al. Caso Samarco em Mariana/Mg E Ação Civil Pública: Busca Pelo Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 315, 2018.

NOGUEIRA, T. F. et al. Dinâmica de uso e ocupação territorial do perímetro urbano de Vilhena – RO, utilizando geotecnologias. **Agrarian Academy**, v.4, n.7, p. 152-165, 2017.

NOVI, J. C. et al. Análise da gestão do glicerol: riscos e oportunidades sobre sua destinação frente à lacuna normativa e aspectos sustentáveis. **Revista eletrônica de Administração**, v. 24, n. 3, p. 217-243, 2018.

NUNES, E. J. S., SILVA, E. P., SOUZA, E., ROCHA FILHO, J. A., SILVA, D. S. N. Geotecnologias no diagnóstico de conflitos de uso do solo de uma microbacia do município de Alta Floresta/MT. **Ciência Florestal** (UFSM. Impresso) v. 25, p. 689-697, 2015.

NUNES, L. G.; MENEZES FILHO, F. C. M. Avaliação das temperaturas de superfície obtidas por sensoriamento remoto nas estações seca e chuvosa. **Holos Environment**, v. 21, n. 1, p. 143-159, 2021.

OAKES, R. F.; PASE, H. L. As políticas públicas de produção de energia na fronteira da

América Latina: análise do impacto das políticas públicas de produção e distribuição energética nas relações do Brasil com Argentina, Bolívia, Paraguai, Uruguai e Venezuela. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 13932-13941, 2020.

OLIVEIRA, M. M. D. de *et al.* **Cidadania, meio ambiente e sustentabilidade**. 1. ed. Caxias do Sul, RS: EDUCS, 2017.

OLIVEIRA, S. H. de; FARIAS, E. A. de. A gestão dos resíduos da construção civil no Vale do São Francisco: uma proposta de governança pública como ferramenta de desenvolvimento sustentável. **Revista OPARA: ciências contemporâneas aplicadas**, v. 9, n. 2, p. 63-77, 2019.

OLIVEIRA, J. L. M.; CERQUEIRA NETO, S. P. G.; SILVA, J. B. L. da. Avaliação das mudanças no uso e ocupação do solo do Município de Eunápolis-BA através da análise da eficiência dos índices espectrais de NDVI, NDBI e Built-Up. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 87529-87544, 2021.

ONU. Organização das Nações Unidas. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: **Relatório de Brundtland**, 1987.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Habitat III (2016): nova agenda urbana**. Disponível em: <<https://habitat3.org/the-conference/about-habitat-3/>>. Acessado em março de 2021.

ORSIOLLI, T. A. E.; NOBRE, F. S. Empreendedorismo Sustentável e Stakeholders Fornecedores: Criação de Valores para o Desenvolvimento Sustentável. **Rev. adm. contemp.**, v. 20, n. 4, p. 502-523, 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2016150031>.

PARFITT, C. M. Aglomeração urbana do Sul Brasil, expansão urbana: 1990 a 2011. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**, v. 13, n. 20, p. 130-155, 2017.

PASCHOALIN FILHO, J. A. et al. Gerenciamento de resíduos de construção civil em edifícios residenciais no município de São Paulo. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 73-89, 2017.

PAUMGARTTEN, J. V. do V.; MAUÉS, L. M.; ROCHA, C. A. A. Risco de inundação na cidade de Belém (PA): a percepção técnica e social do risco. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 17, n. 1, p. 317-332, 2021.

PAZ, F. J.; KIPPER, L. M. Sustentabilidade nas organizações: vantagens e desafios. **Revista Gepros**, v.11, n.2, p. 85-102, 2016.

PLATAFORMA AGENDA 2030. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/sobre/>>. Acessado em março de 2021.

PEDROSA, R. N.; MIRANDA, L. I. B. de; RIBEIRO, M. M. R. Avaliação pós-ocupação sob o aspecto do saneamento ambiental em área de interesse social urbanizada no município de Campina Grande, Paraíba. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.

21, n. 3, p. 535-546, 2016.

PEREIRA, F. da S.; VIEIRA, I. C. Guimarães. Expansão urbana da Região Metropolitana de Belém sob a ótica de um sistema de índices de sustentabilidade. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 3, p. 731-744, 2016. DOI <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1878>.

PEROSA, G. S. et al. Patologias sociais na metrópole de São Paulo: análise socioespacial de indicadores nas subprefeituras. **Revista de Administração Pública**, v. 50, n. 4, p. 635-658, 2016.

PISANI, R. J.; DEMARCHI, J. C.; RIEDEL, P. S. Simulação de cenário prospectivo de mudanças no uso e cobertura da terra na sub-bacia do rio Capivara, Botucatu - SP, por meio de Modelagem Espacial Dinâmica. **Revista Cerrados – Montes Claros/MG**, v.14, n. 2, p.03-29, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PONTE, J. P. X. Belém do Pará: cidade e água. **Cadernos Metrópole**, v. 17, n. 33, p. 41-60, 2015.

PORANGABA, G. F. O.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Procedimentos metodológicos para análises de ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 13, p. 225-247, 2017.

PORANGABA, G. F. O.; AMORIM, M. C. de T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2041-2050, 2019.

PORTIS, G. T.; SANTOS, A. M.; NUNES, F. G. Análise espaço temporal da alteração do uso do solo sob influência de um polo gerador de viagens em Goiânia, GO, Brasil. **Revista Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 513-525, 2020.

QGIS. **Quantum GIS - Sistema de Informação Geográfica QGIS versão 3.22**. Projeto da Fundação Geoespacial de Código Aberto. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html>. Acesso em: outubro de 2021

REIS, J. E. de A.; SILVA, T. G. da. Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS ecológico e o princípio da equidade intergeracional em prol do meio ambiente e da sociedade. **Revista Pensar Acadêmico**, v. 15, n. 2, p. 211-224, 2017.

REZENDE, E. N.; NASCIMENTO, S. M. C. do. Princípios do Desenvolvimento Sustentável e da Equidade Intergeracional sob a ótica do conceito de "Outro" de Lacan. **Revista Thesis Juris**, v. 7, n. 2, p. 344-364, 2018.

RIBEIRO NETO, J. B. M.; TAVARES, J. da C.; HOFFMANN, S. V. **Sistemas de gestão integrados**: qualidade, meio ambiente, responsabilidade social, segurança e saúde no trabalho. 5. ed. São Paulo, SP: Editora SENAC São Paulo, 2019.

ROCHA, A. A. Risco ambiental na produção do espaço em pequenas e médias cidades:

bases epistemológicas. **Revista Territorium**, v. 1, n. 27, p. 167-173, 2020.

ROQUE, R. A. L.; PIERRI, A. C. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Research Society and Development**, v. 8, n. 2, p. 1-18, 2019.

ROSA, M. C.; SATO, S. E. Análise urbanística e ambiental do corredor metropolitano Guarulhos – São Paulo. **Revista Educação**, v. 11, n. 3, 2016.

ROSADO, L. P.; PENTEADO, C. S. G. Análise da eficiência dos Ecopontos a partir do georreferenciamento de áreas de disposição irregular de resíduos de construção e demolição. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 2, p. 164-185, 2018.

SAKUNO, N. R. R.; KAWAKUBO, F. S.; SPALEVIC, R. L. Mapeamento de Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas Utilizando Imagens Índices Geradas Pelo Sistema Landsat-5 Thematic Mapper. **Revista do Departamento de Geografia**, v. especial, eixo 9, p. 190-198, 2017.

SANTOS, M. Reformulando a sociedade e o espaço. **Revista de Cultura Vozes**, v. 74, n. 4, p. 37-48, 1980.

SANTOS, J. de O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2015.

SANTOS, C. A. P. dos et al. O papel das políticas públicas na conservação dos recursos naturais. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 10, n. 2, p. 18-29, 2016.

SANTOS, M. M.; ROCHA, C. F. de O. Gestão de Resíduos Sólidos na Construção Civil: um estudo de caso de uma construtora de médio porte no Vale do Paraíba – SP. **Revista H-Tec Humanidades e Tecnologia**, v. 2, n.2, p. 47-65, 2018.

SANTOS, C. V. B. et al. Uso do sensoriamento remoto na análise da temperatura de superfície em áreas de floresta tropical sazonalmente seca. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 941-953, 2020.

SARTORI, S.; LATRÔNICO, F.; CAMPOS, L. M. S. Sustentabilidade e desenvolvimento: uma taxonomia no campo da literatura. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n.1, p. 1-22, 2014.

SEIXAS, C. S. et al. Governança ambiental no Brasil: rumo aos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS)?. **Cadernos Gestão Pública e Cidadania**, v. 25, n. 81, p. 1-21, 2020.

SEPOF. Secretaria de Estado de Planejamento Orçamento e Finanças. **Estatística Municipal- Belém**; Belém: SEPOF, p.74, 2011.

SERRÃO, S. L. C.; BELATO, L. S.; DIAS, R. P. A vulnerabilidade natural e ambiental do município de Belém (PA). **Nature and Conservation**, v. 12, n. 1, p. 36-45, 2019.

SILVA, G. V. et al. Política nacional de resíduos sólidos e sua implementação no município de Rio Pomba/MG. **Revista Holos**, v. 32, n. 1, p. 202-214, 2016.

SILVA, P. P. da et al. Desenvolvimento urbano sustentável e qualidade de vida: uma pesquisa bibliométrica das publicações na base Web of Science. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 10, p. 459-477, 2018.

SILVA, R. G. P. da; LIMA, C. L.; SAITO, C. H. Análise Per Capita dos Espaços Verdes Urbanos na Região Metropolitana de São Paulo - Brasil. **Revista do Departamento de Geografia USP**, v. 38, n.1, p. 31-41, 2019.

SILVA, R. G. P. da; LIMA, C. L.; SAITO, C. H. Espaços verdes urbanos: revendo paradigmas. **Revista Geosul**, v. 35, n. 74, p. 86-105, 2020.

SILVEIRA, A. H. de M. et al. Aplicações, preferências e comparações entre métodos de classificação supervisionada: o caso de Natal/RN. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 47, n. 1, p. 120-135, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v47i1.67845>.

SOARES, F. M. et al. Conscientização infantil: abordagem lúdica sobre utilização de recursos naturais. **Revista Ciência em Extensão**, v. 13, n. 3, p. 87-92, 2017.

SOUSA, A. de L.; MEDEIROS, J. de SOUZA; ALBUQUERQUE, D. S.; HIGUCHI, M. I. G. Parque Verde Urbano como Espaço de Desenvolvimento Psicossocial e Sensibilização Socioambiental. **Periódico Psico**, v. 46, n. 3, p. 301-310, 2015.

SOUSA, R. A. M. DE; ROCHA, R. R. DE C. Atuação Municipal na Mitigação De Impactos Ambientais. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 31, p. 293, 2018.

SPERANDIO, A. M. G.; FRANCISCO FILHO, L. L.; MATOS, T. P. Política de promoção da saúde e planejamento urbano: articulações para o desenvolvimento da cidade saudável. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, v. 21, n. 6, 2016.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de Calor: representações espaciais de cidades de pequeno porte por meio de modelagem. **Revista Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 239-256, 2017.

TREVISAN, D. P. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de São Carlos -SP. **Revista Ra' e Ga – o espaço geográfico em análise**, v.44, n. 1, p. 272-288, 2018.

TUKEY, J. **Exploratory Data Analysis**. Massachussets: Addison-Wesley, 1977.

TYBUSCHT, T. M. M.; BRUM, A. L.; SCHADECK, M.; RODRIGUES, L. A. Meio Ambiente e desenvolvimento sustentável: limites e perspectivas para uma sociedade sustentável. **Rev. Espacios**, v. 37, n. 19, 2016.

USGS (United States Geological Survey). **Using the USGS Landsat Level-1 Data Product**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgslandsat-level-1-data-product>. Acesso em: abril de 2021.

USGS (United States Geological Survey). **Landsat Missions**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt->

science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con>. Acesso em: agosto de 2021

VALE, J. R. B. et al. Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. **Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 13, p. 26-44, 2018.

VALENTE FILHO, A. J. M. et al. Análise de impactos atmosféricos gerados durante a obra BRT (Bus Rapid Transit) na avenida Augusto Montenegro, Belém-PA. **Espaço e Geografia**, v. 22, n. 2, p. 609-645, 2019.

VASCONCELOS, A. I. T. et al. As dimensões da sustentabilidade dos Sistemas Agroflorestais – SAFs: um estudo no Projeto de Reflorestamento Consorciado e Adensado – RECA, Ponta do Abunã – RO. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 36, n. 1, p. 73-93, 2016.

VECHIA, N. R. G.; GALLARDO, A. L. C. F.; TEIXEIRA, C. E. Aspectos ambientais do setor da construção civil: roteiro para a adoção de sistema de gestão ambiental pelas pequenas e médias empresas de prestação de serviços. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 1, p. 17-30, 2016. DOI: 10.20985/1980-5160.2016.v11n1.733

VENTURA NETO, R. da S.; MOURA, B. M. Jardins de granito: impactos da verticalização sobre as áreas permeáveis da primeira légua patrimonial de Belém, Pará. **Revista Projetar**, v. 4, n. 3, p. 38-53, 2019.

VERDE, M. R. V. et al. Expansão urbana e redução de áreas verdes em Salvador/BA: o caso do Parque São Bartolomeu. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. 1-23, 2020.

WEBER, E. J.; FREIRE-SILVA, J.; OLIVEIRA, J. S. S. Considerações e procedimentos para o processamento do balanço de energia no software GRASS GIS 7.4.0: um estudo no município de Floresta (Pernambuco – Brasil). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 1, p. 51-65, 2020.

WELERSON, C. C.; SILVA, B. C. Análise do impacto do crescimento urbano em uma micro bacia hidrográfica no município de Itajubá/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 03, p. 1114-1131, 2019.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre, RS: Bookman Editora LTDA. 2015.

XU, J.; ZHAO, Y.; XIAO, M.; ZHONG, K.; RUAN, H. Relationship of air temperature to NDVI and NDBI in Guangzhou City using spatial autoregressive model. **Remote Sensing for Land & Resources**, v. 1, n. 2, p. 186-194, 2018.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento: conceitos e definições. **Revista de Geografia – PPGeo/UFJF**, v. 7, n. 2, p. 195-201, 2017.

ZHU, J. et al. Integration of BIM and GIS: Geometry from IFC to shapefile using open-source technology. **Automation in Construction**, v. 102, p. 105-119, 2019.