



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

ROGÉRIO LÚCIO BALBINO

**MONITORAMENTO FLORESTAL REMOTO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO
POR MEIO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
(NDVI) COM BASE NO ESTUDO DE CASO DO PARQUE ESTADUAL MATA DO
ZUMBI-PE**

Recife, 2022

ROGÉRIO LÚCIO BALBINO

**MONITORAMENTO FLORESTAL REMOTO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO
POR MEIO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
(NDVI) COM BASE NO ESTUDO DE CASO DO PARQUE ESTADUAL MATA DO
ZUMBI-PE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof^a. Dr^a. Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa
Orientadora

Prof^a Dr^a. Renata Maria Caminha Mendes de Oliveira Carvalho
Coorientadora

Recife, 2022

B172m Balbino, Rogério Lúcio.
 Monitoramento florestal remoto em unidades de conservação por meio do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com base no estudo de caso do Parque Estadual Mata do Zumbi - PE. / Rogério Lúcio Balbino. – Recife, PE: O autor, 2022. 94 f.: color. ; il. ; 30 cm.

Orientadora: Profª. Drª. Ioná M. Beltrão Rameh Barbosa.
 Coorientadora: Profª. Drª Renata Maria C. M. de O. Carvalho.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2022.

Inclui referências.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Meio Ambiente. 3. Satélite - Monitoramento. 4. Gestão Pública. I. Barbosa, Ioná M. Beltrão Rameh. (Orientadora). II. Carvalho, Renata Maria C. M. de O. (Coorientadora). III. Título.

621.3678 CDD (22 Ed.)

ROGÉRIO LÚCIO BALBINO

**MONITORAMENTO FLORESTAL REMOTO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO
POR MEIO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
(NDVI) COM BASE NO ESTUDO DE CASO DO PARQUE ESTADUAL MATA DO
ZUMBI-PE**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: _06___ / _06___ / __2022__

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa
Orientadora - IFPE/MPGA

Prof^a Dr^a. Renata Maria Caminha Mendes de Oliveira Carvalho
Coorientadora - IFPE/MPGA

Prof^a. Dr^a. Vânia Soares de Carvalho
Examinadora Interna - IFPE/MPGA

Prof^a. Dr^a. Christianne Torres de Paiva
Examinadora Externa - IFPE/Campus Vitória de Santo Antão

APRESENTAÇÃO

O autor desta dissertação de Mestrado Profissional em Gestão Ambiental é servidor público efetivo, nomeado para o cargo de fiscal de controle, sendo vinculado à Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal do Cabo de Santo Agostinho, e vem exercendo as atividades de fiscalização no território cabense desde o ano de 2011.

O autor também é jornalista formado pela UNINASSAU desde o ano de 2009, licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) desde o ano de 2015 e também possui pós-graduação lato sensu no curso de Gestão Ambiental pela Universidade Estácio de Sá desde 2019.

No decorrer do tempo, as experiências profissional e acadêmica influenciaram o autor a repensar o conceito de desenvolvimento urbanístico e ambiental no município do Cabo de Santo Agostinho. Diante desses fatos, idealizou-se um estudo que pode auxiliar o processo de vistoria e fiscalização de áreas verdes inseridas no Cabo de Santo Agostinho por meio de índice de vegetação, pois há um considerável avanço de áreas desmatadas e de ocupações irregulares e clandestinas no município.

Dedico este trabalho a todos os envolvidos com a proteção ambiental: políticos, gestores públicos, iniciativa privada, sociedade civil e pesquisadores.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde, força, tranquilidade e ânimo para superar as dificuldades da vida cotidiana.

À minha mãe Cleide Maria da Silva Balbino, pelo amor, incentivo aos estudos e apoio incondicional nas decisões.

À minha esposa Valquíria Paulino da Costa e Silva por entender e incentivar a minha dedicação aos estudos.

Aos meus familiares que sempre depositaram respeito, confiança e admiração em mim.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, em especial à coordenação do curso Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram um patamar maior de conhecimentos técnicos e acadêmicos.

À minha orientadora Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções, incentivos e confiança.

Aos meus amigos e colegas fiscais de controle urbano e de edificações, da Prefeitura Municipal do Cabo de Santo Agostinho, pelo incentivo e participação na elaboração deste trabalho, o meu muito obrigado.

À Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente, representando a gestão da Prefeitura Municipal do Cabo de Santo Agostinho, pelo apoio e compreensão desta jornada gratificante.

E a todos e todas que direta ou indiretamente fizeram parte da minha capacitação neste Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, o meu muito obrigado.

“Queremos uma justiça social que combine com a justiça ecológica. Uma não existe sem a outra” - Leonardo Boff.

RESUMO

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um método baseado em operação aritmética entre bandas de sensores remotos. Esse índice de vegetação é utilizado em ampla escala em diversas pesquisas ambientais, como por exemplo, análise do desmatamento de florestas e variação do crescimento da vegetação. Pertencente ao bioma Mata Atlântica, a Unidade de Conservação Parque Estadual Mata do Zumbi está localizada no litoral do município do Cabo de Santo Agostinho-PE e vem sofrendo constantes ações antrópicas. O objetivo geral desta dissertação foi avaliar a possibilidade de utilizar o monitoramento florestal remoto em Unidades de Conservação, por meio do NDVI, para os setores de controle urbano e de meio ambiente da prefeitura cabense com base no estudo de caso da Mata do Zumbi, em imagens do satélite Landsat 8 nos anos de 2013, 2015, 2017, 2018 e 2019. A metodologia usada baseou-se na caracterização da Unidade de Conservação, avaliação do grau de pressão antrópica sobre a Mata do Zumbi; na definição temporal das imagens para o monitoramento da UC estudada; e na coleta e processamento de dados orbitais por meio do *software* QGIS versão 3.16 Hannover. A cena que registrou o menor valor mínimo do índice tanto no interior quanto no entorno da UC foi a de 13-02-2017 com 0,38 e 0,24, respectivamente. Já a cena que apresentou o maior valor máximo de NDVI no interior da Mata do Zumbi foi a de 18-11-2019 com 0,82 e esse mesmo valor foi registrado como maior valor máximo do índice no entorno nas cenas de 12-07-2013, 23-05-2018 e 18-11-2019. Os dados de Uso e Ocupação da Terra no interior da UC mostraram que houve redução no Solo exposto/água (14,95%), Vegetação rasteira (46,66%), Vegetação arbustiva (54,05%) e Vegetação arbórea (44,08%), tendo um aumento na Transição vegetação arbustiva-arbórea (11,40%). No entorno da Mata do Zumbi houve redução no Solo exposto/água (6,60%), Transição vegetação arbustiva-arbórea (5,66%) e Vegetação arbórea (25,12%), tendo aumento nas classes Vegetação rasteira (27,34%) e Vegetação arbustiva (21,93%). O resultado do NDVI como ferramenta para a gestão e monitoramento remoto das ações antrópicas, tanto no entorno quanto no interior da UC Mata do Zumbi, se mostrou positivo como apoio nas ações de planejamento de combate ao desmatamento para espaços naturais protegidos.

Palavras-chave: Fiscalização. Meio Ambiente. Imagens de Satélite. Gestão Pública.

ABSTRACT

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is a method based on arithmetic operation between remote sensor bands. This vegetation index is used on a large scale in various environmental studies, such as the analysis of deforestation and variation in vegetation growth. Belonging to the Atlantic Forest biome, the Mata do Zumbi State Park Conservation Unit is located on the coast of the municipality of Cabo de Santo Agostinho-PE and has been suffering constant anthropic actions. The general objective of this dissertation was to evaluate the possibility of using remote forest monitoring in Conservation Units, through the NDVI, for the urban and environmental control sectors of the city of Cabense, based on the case study of Mata do Zumbi, in Landsat 8 satellite images in the years 2013, 2015, 2017, 2018 and 2019. The methodology used was based on the characterization of the Conservation Unit, assessment of the degree of human pressure on the Mata do Zumbi; in the temporal definition of the images for the monitoring of the studied UC; and in collecting and processing orbital data through QGIS software version 3.16 Hannover. The scene that recorded the lowest minimum index value both inside and around the UC was on 2017-02-13 with 0.38 and 0.24, respectively. The scene that presented the highest maximum value of NDVI in the interior of Mata do Zumbi was that of 11-18-2019 with 0.82 and this same value was recorded as the highest maximum value of the index in the surroundings in the scenes of 07-12-2013, 05-23-2018, and 11-18-2019. The Land Use and Occupancy data inside the UC showed that there was a reduction in exposed soil/water (14.95%), Undergrowth (46.66%), Shrub vegetation (54.05%) and Tree vegetation (44.08%), with an increase in the shrub-tree transition (11.40%). In the surroundings of Mata do Zumbi there was a reduction in exposed soil/water (6.60%), Transition between shrub and tree vegetation (5.66%) and Tree vegetation (25.12%), with an increase in Vegetation classes (27.34%) and Shrub vegetation (21.93%). The result of the NDVI as a tool for the management and remote monitoring of anthropic actions, both in the surroundings and inside the UC Mata do Zumbi, proved to be positive as support in planning actions to combat deforestation for protected natural spaces.

Keywords: Oversight. Environment. Satellite Images. Public Administration.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. OBJETIVO GERAL.....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1. SURGIMENTO DAS CIDADES.....	17
3.1.1. Ocupação e planejamento do espaço brasileiro	18
3.1.2. Políticas Urbana e Ambiental no Brasil	19
3.1.3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para as cidades	21
3.1.4. Políticas Urbana e Ambiental em Pernambuco.....	22
3.2. MUNICÍPIO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO	23
3.2.1. Histórico do surgimento.....	23
3.2.2. Leis do planejamento urbanístico, ambiental e a divisão territorial do município	24
3.2.3. Fiscalização urbanística e ambiental.....	25
3.2.4. Monitoramento de Unidade de Conservação.....	30
3.3. GEOPROCESSAMENTO NO MONITORAMENTO AMBIENTAL	31
4. METODOLOGIA	48
4.1. ÁREA DE ESTUDO	48
4.1.1. Marco legal	51
4.1.2. Grande Unidade de Paisagem e Geomorfologia	54
4.1.3. Solo.....	55
4.1.4. Clima	56
4.1.5. Hidrografia	57
4.1.6. Vegetação	59
4.2. PROCESSAMENTO DE DADOS ORBITAIS.....	60
4.2.1. Aquisição	60
4.2.2. Pré-processamento.....	61
4.2.3. Processamento	62
4.2.4. Classificação	62
4.2.5. Reclassificação	62
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
5.1. PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ORBITAIS	65
5.2. UTILIZAÇÃO DO NDVI COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO	77
5.2.1. Avaliação do grau de pressão antrópica	77
5.2.2. Definição temporal do monitoramento da UC.....	77
5.2.3. Fluxograma das etapas a serem seguidas	77
5.2.4. Viabilidade de execução.....	78
6. CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

O bioma Mata Atlântica possui uma das florestas mais ricas no que diz respeito à variedade de seres vivos presentes no planeta Terra e mesmo com essa extensa biodiversidade, é um dos biomas mais ameaçados no Brasil, restando apenas fragmentos desta ampla área de floresta (COSTA; GUASSELLI, 2017).

O estudo de Braga *et al.* (2019) aponta que os remanescentes de floresta têm funções necessárias para a concentração de espécies florestais e biodiversidade. Segundo o Relatório Anual de 2019 da ONG SOS Mata Atlântica, esse bioma também é importante para manter a qualidade de vida das pessoas favorecendo o equilíbrio climático e disponibilizando água, tanto em qualidade quanto em quantidade, além de influenciar positivamente nas atividades econômicas, como pesca, agricultura, turismo e geração de energia (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

De acordo com o Relatório Anual 2019 da SOS Mata Atlântica, há apenas 12,4% de floresta remanescente desse bioma em 17 estados brasileiros, onde 80% dessa vegetação estão presentes em áreas privadas (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). O Relatório Técnico do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica período 2018-2019 mostra que no ano de 2019 foram contabilizados 17.094.562 hectares de floresta e que no intervalo entre 2018-2019 houve o desflorestamento de 14.502 hectares do bioma Mata Atlântica nas áreas dos 17 estados do Brasil, considerando áreas com tamanho igual ou acima de 3 hectares (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2020).

Considerada como patrimônio nacional desde a Constituição de 1988 e aprovada como reserva da biosfera pelas Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) em 1991, além de possuir legislação própria para conservação, proteção, regeneração e utilização (Lei Federal nº 11.428/2006), a Mata Atlântica sofre pressões e ameaças como: i) exploração predatória dos recursos naturais; ii) antigas práticas não sustentáveis da agropecuária; iii) industrialização e expansão urbana desenfreada; e iv) consumo excessivo, lixo e poluição (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

Os contínuos impactos negativos causados pela redução de áreas de matas e florestas, além de vulnerabilidades passivas às Unidades de Conservação da Natureza (UCs), fazem com que seja necessário o desenvolvimento de planos e estratégias facilitadoras de conservação e/ou monitoramento na regeneração da vegetação nativa (PINTO *et al.*, 2016).

As UCs são áreas territoriais e seus recursos ambientais, contendo os corpos d'água jurisdicionais, com aspectos naturais relevantes, criadas legalmente pelo poder público, tendo objetivos de conservação e limites definidos (BRASIL, 2000). Dados do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) mostram que das 1.041 Unidades de Conservação da natureza brasileiras, entre as de proteção integral e de uso sustentável, 103 UCs federais estão inseridas no bioma Mata Atlântica (ICMBio, 2020).

De acordo com Sothe *et al.* (2017), no decorrer dos últimos anos, houve progresso científico nas técnicas destinadas ao monitoramento dos recursos florestais. O sensoriamento remoto é uma ciência que viabiliza a aquisição de dados (espectral, espacial e temporal) de objetos materiais sem a necessidade de contato físico com o objeto em análise (GONÇALVES *et al.*, 2016). Essa tecnologia é uma ferramenta satisfatória e com grande potencial para estudos ambientais, pois existe uma dificuldade na fiscalização de espaços naturais *in loco* devido ao difícil acesso, ao tempo e aos recursos necessários (QUESADA *et al.*, 2017). De acordo com Costa e Guasselli (2017), o poder público pode apresentar parâmetros para monitorar continuamente os recursos florestais por meio dos sensores remotos.

Alguns países em desenvolvimento, como a China, já vêm utilizando o sensoriamento remoto para o monitoramento e proteção ambiental. O Centro para Aplicação de Satélite em Ecologia e Meio Ambiente do Ministério da Ecologia e Meio Ambiente chinês desenvolveu estudo utilizando informações de satélites nacionais e internacionais para a recuperação de índices ecológicos, monitoramento de ações antrópicas em espaços naturais protegidos e análise da perda de características do meio ambiente, sendo que algumas instituições e universidades da China também fazem pesquisas em teorias, métodos e aplicação do sensoriamento remoto em diversas áreas do conhecimento (LI *et al.*, 2020).

Com a preocupação atual de conservar a biodiversidade, é fundamental mapear e monitorar as florestas desenvolvendo informações espaciais modeladas para o monitoramento de parâmetros de desmatamento e fragmentação em áreas protegidas (CHAVAN *et al.*, 2018).

O mapeamento dos resquícios florestais do bioma Mata Atlântica e seus estágios de sucessão integram uma parte do processo para execução de inúmeras análises, ações de fiscalização e manejo das áreas vegetadas (RIBEIRO *et al.*, 2009). O uso e as transformações da cobertura da terra têm consequência em florestas, segundo Tejada *et*

al. (2019), com mudanças quantitativas na paisagem aumentando ou diminuindo determinado tipo de classe de uso do solo (PINTO *et al.*, 2016).

A identificação e o entendimento de possíveis alterações nas provisões futuras das áreas florestadas podem ser processados por índices de vegetação, amplamente utilizados, os quais consistem em alterações do espectro de duas ou mais bandas de imagens de satélite de alta resolução destinadas a elevar a resposta das propriedades físicas da vegetação (KÄFER *et al.*, 2018).

A classificação de alguns índices de vegetação leva em consideração a estrutura, a bioquímica e a fisiologia dos vegetais, sendo divididos em: (1) índices relacionados ao conteúdo de água nas folhas/copa (NDWI – *Normalized Difference Water Index*) que apresentam estresse no dossel (alterações nos pigmento), (PSRI – *Plant Senescence Reflectance Index*); (2) índices que demonstram eficiência no uso a luz (PRI – *Photochemical Reflectance Index*); (3) índices que apresentam variações espectrais relacionadas à posição do comprimento de onda da borda do vermelho (red edge), que podem ter alterações na quantidade de clorofila ou no estresse hídrico (RENDVI – *Red Edge Normalized Difference Vegetation Index*); e (4) índices intimamente associados ao esverdeamento e pigmentos foliares – clorofila e carotenoides (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*, EVI – *Enhanced Vegetation Index*, SR – *Simple Ratio*, e VARI – *Visible Atmospherically Resistant Vegetation Index*) (GALVÃO *et al.*, 2018 apud MARION *et al.*, 2021).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), da língua inglesa *Normalized Difference Vegetation Index*, é um indicador de vegetação calculado a partir das regiões de vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético das imagens (cenas) dos sensores orbitais (COSTA; GUASSELLI, 2017). Esse índice apresenta excelentes resultados porque indica a alta relação com os aspectos fisiológicos e nutricionais das plantas e assim pode ser aplicado para analisar a nutrição (nitrogênio), sanidade (pragas), déficit hídrico, etc. Por outro lado, consegue indicar também as áreas onde não existe vegetação, daí a potencialidade de aplicação para monitorar desmatamentos.

Um conjunto diversificado de satélites, segundo Htitiou *et al.* (2020), pode ser utilizado para produzir, além do NDVI, outros índices de vegetação focados no monitoramento de safras e nas características de fotossíntese e propriedades biofísicas das plantas, incluindo nesse uso metodológico a alta correlação com padrões de área foliar e a quantidade de clorofila das folhas.

O acesso à série de dados ao longo do tempo do NDVI, com elevadas resoluções espacial e temporal das imagens captadas pelos sensores de satélites, pode produzir um mecanismo importante para aplicação dos estudos de monitoramento florestal remoto (HTITIOU *et al.*, 2020).

Devido às dimensões geográficas do município do Cabo de Santo Agostinho-PE e ao reduzido corpo técnico de servidores públicos ligados ao monitoramento de áreas verdes, os setores de fiscalização urbana e ambiental só atendem, no momento, a denúncias sobre irregularidades feitas ora por parte da sociedade, ora por outros órgãos públicos, o que prejudica a sistematização de ações de rotina e prevenção de desmatamento e ocupações irregulares e clandestinas no município.

Com a utilização do monitoramento florestal remoto, a gestão pública municipal pode planejar as medidas preventivas de degradação do meio ambiente com rapidez na obtenção de dados e também pode reduzir custos com recursos humanos e financeiros. Neste contexto, foi realizado o presente trabalho cujo objetivo foi verificar a viabilidade da utilização do monitoramento florestal remoto em Unidades de Conservação, por gestores públicos, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com base no estudo de caso do Parque Estadual Mata do Zumbi.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Verificar a viabilidade de utilização do monitoramento florestal remoto em Unidades de Conservação por gestores públicos através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com base no estudo de caso do Parque Estadual Mata do Zumbi.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar e processar dados orbitais para aplicação do NDVI no interior e no entorno da Unidade de Conservação Mata do Zumbi.
- Analisar os resultados do NDVI e classificar os dados de Uso e Ocupação da Terra para a UC selecionada.
- Esquematizar um fluxograma com as etapas do processo computacional até os resultados do NDVI e classificação dos dados de Uso e Ocupação da Terra para ser utilizado em qualquer Unidade de Conservação.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. SURGIMENTO DAS CIDADES

A primeira referência histórica sobre a organização das cidades ocorreu por volta de 5.000 a.C., próximo ao rio Eufrates, em outros locais da Ásia menor e esses espaços passaram a se modificar em decorrência da permanência do homem nesses ambientes (CLARK, 1991). O estudo de Santos (2014) acrescenta ainda a ideia de que o início da manifestação da consolidação do homem em um espaço teria ocorrido no paleolítico, principalmente pelo respeito dado aos mortos, mostrando que o povo nômade tinha respeito com a “moradia” desses corpos sem vida.

Segundo Carlos (2009), a divisão de trabalho dentro desses espaços humanos favoreceu a reorganização espacial, estabelecendo a divisão entre sujeitos e diferenciação entre campo e cidade, ambos com divisão de trabalho, de classes, de técnicas agrícolas, etc. Diante desse cenário, as cidades aparecem primeiramente na Ásia e posteriormente na Europa favorecidas pelo movimento do avanço das técnicas agrícolas (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Com um aspecto de vida essencialmente rural, a sociedade feudal europeia, surgida entre os séculos V a XV, tinha uma economia fundamentada na produção natural de subsistência e foi gradativamente se urbanizando devido à produção excedente de produtos, o que fez aumentar o comércio urbano (CASTRO, 2018).

De acordo com Lefebvre (2001), foi a partir do declínio da Idade Média que a cidade se transformou e passou a ter características das cidades contemporâneas. Diversos impactos ambientais apareceram nas cidades capitalistas desde que o homem iniciou o povoamento nessas urbes, sendo a intensidade do impacto o resultado das ações humanas sobre o meio ambiente (FERREIRA *et al.*, 2015). Nesses centros capitalistas, as populações se viam sujeitas a condições de vida terríveis e desumanas como ambientes de trabalho insalubres e de grande perigo, baixos salários, jornadas de trabalho elevadas, etc., e em consonância a esses aspectos havia certa segregação urbana, fazendo com que o proletariado fosse buscar moradia distante dos centros industriais devido ao alto preço da terra (NATAL; STOTZ, 2016).

A Revolução Industrial, que ocorreu na Inglaterra no século XVIII, trocou o modo de capitalismo comercial para o capitalismo industrial transformando a vida das pessoas daquela época até os dias de hoje cujos impactos positivos e negativos ainda são sentidos na revolução tecnológica (CAVALCANTE; SILVA, 2011). Houve

considerável uso descontrolado dos recursos naturais tendo elevado, continuamente, o abrupto crescimento das populações (em muitos lugares de forma não planejada), assim como ocorreu sobre-exploração de recursos o que ocasionou e ocasiona a deterioração do meio ambiente (LI *et al.*, 2017).

3.1.1. Ocupação e planejamento do espaço brasileiro

O crescimento urbano brasileiro, a partir dos anos 1970, transferiu para os centros das cidades uma grande quantidade de pessoas à procura de emprego e melhores condições de vida (SILVA; WERLE, 2007). É notório que nos aglomerados urbanos o cenário de miséria social apresenta elevado percentual da população morando em áreas ilegais, clandestinas, favelas e de risco, e essa realidade tem se alastrado inclusive em cidades médias e pequenas (HONDA *et al.*, 2015).

A procura da afirmação da legalidade social no espaço urbano obteve resultados animadores ao fim do regime militar no Brasil, por meio de debates relacionados ao planejamento urbano impulsionado pelo Movimento Nacional pela Reforma Urbana (MNRU), que surgiu em 1985, proporcionando influência na Assembleia Nacional Constituinte (1987-1988) e que culminou com a inserção do Capítulo da Política Urbana na Constituição Federal de 1988 (DUARTE, 2015). Mesmo assim, percebe-se que o processo de mecanização e desenvolvimento das agroindústrias na área campestre intensifica o êxodo rural, inserindo no País um cenário de grandes conflitos e contrastes nas diversas regiões do território brasileiro (SILVA; WERLE, 2007).

Campos (2015) mostra que foi nessa situação que a sociedade sonhou ter uma renovação de paradigmas referentes ao planejamento e gestão urbanos. “Este anseio foi traduzido em ditames legais que tiveram a intenção de democratizar a forma de criação das políticas públicas relativas ao desenvolvimento das cidades, sempre entendendo a cidade como espaço da vida humana na sociedade” (CAMPOS, 2015, p. 84).

De acordo com Diniz (2017), embora o Brasil possua uma extensa trajetória de estudos e políticas regionais, o progresso teórico e instrumental atuais e as práticas de planejamento e políticas regionais recentes corroboram para que haja o aprimoramento de novos parâmetros de intervenção pública, além do envolvimento de outros agentes sociais como empresários e segmentos da sociedade civil.

Segundo Silva e Werle (2007), a apropriação dos ambientes urbano e rural precisa ser estabelecida pelo emprego sustentável dos recursos naturais, porque esse é o parâmetro primordial para todo o projeto de desenvolvimento equilibrado. A diversidade

de usos e funções de um urbanismo sustentável, aliada a um sistema complexo e compacto, precisa respeitar as condicionantes geográficas e ambientais locais e regionais, assim como as dimensões de pertencimento do território que devem incluir o lugar, o particular, a identidade cultural e as especificidades para a urbe do futuro (SILVA; ROMERO, 2010).

3.1.2. Políticas Urbana e Ambiental no Brasil

Para ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade, além de garantir o bem-estar de seus habitantes, a Política Urbana no Brasil, disposta nos Artigos 182º e 183º, da Constituição Federal de 1988, estabeleceu o Plano Diretor, aprovado por lei municipal, como instrumento básico de crescimento e de expansão urbana (BRASIL, 1988).

A definição de Plano Diretor para Silva (2015) é a de que seria um instrumento de organização urbana com o objetivo de orientar o desenvolvimento físico, econômico e social, dentro dos limites geográficos dos municípios brasileiros, visando à harmonia entre os habitantes da localidade:

A existência do plano diretor é condição básica para o Município dispor sobre as limitações urbanísticas à propriedade urbana, determinar as obrigações de fazer ou não fazer do proprietário de imóvel urbano, e estabelecer medidas visando o cumprimento da função social da propriedade (SILVA, 2015, p. 65-66).

A Lei Federal nº 10.257, de julho de 2001, denominada Estatuto das Cidades “estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, a segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental” (BRASIL, 2001).

Segundo Fernandes (2015), o Estatuto das Cidades regulamentou o que estava previsto na Política Urbana Brasileira nos Artigos 182º e 183º da Constituição Federal de 1988 e ainda instituiu a noção de funções sociais da propriedade e da cidade; criou instrumentos jurídicos, urbanísticos financeiros; propôs um sistema de governança urbana; e reconheceu direitos coletivos dos residentes em assentamentos informais.

Nessa legislação há entre as diretrizes gerais a ordenação e controle do uso do solo que deve evitar a utilização inadequada dos imóveis urbanos; o parcelamento do solo, a edificação, ou uso excessivo ou impróprio em relação à infraestrutura urbana; deterioração das áreas urbanizadas; poluição e degradação ambiental, entre outros (BRASIL, 2001).

Os espaços naturais também fazem parte dos territórios das cidades e o meio ambiente ganha um capítulo na construção da Constituição Federal do Brasil de 1988. O Art. 225º dessa Carta Magna, que versa sobre a Política Ambiental, estabelece às pessoas que estão dentro do território nacional o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum da população e primordial à boa condição de vida, obrigando-se ao Poder Público e à coletividade a incumbência de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

Os primeiros registros que fazem menção às áreas naturais de proteção são datados na Índia, conforme relata Miller (1997, apud RAMOS, 2007) em que há anotações documentadas de espaços protegidos desde o ano 252 a.C., quando o Imperador Ashoka, na Índia, designou a proteção de certos animais, peixes e áreas com florestas. Mas a criação do primeiro parque nacional do mundo, o de Yellowstone, considerado como Unidade de Conservação, foi instituída nos Estados Unidos da América, em 1872, como resultado de estudos e luta de preservacionistas daquele País desde o início do século XIX (DIEGUES, 2008).

Com a preocupação de proteger os espaços naturais brasileiros sem prejudicar o desenvolvimento urbano, o governo federal institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) sob a Lei Federal nº 9.985/2000 com critérios e normas para criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação. No SNUC há a divisão das UCs em duas categorias específicas: i) de proteção integral cujo objetivo é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais; ii) de uso sustentável cujo objetivo é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000).

De acordo com o ICMBio (2020), o Brasil possui 1.041 Unidades de Conservação Federais, sendo 149 de Proteção Integral e 892 de Uso Sustentável, cujas subcategorias são mostradas na Tabela 1:

Tabela 1. Unidades de Conservação Federais no Brasil

PROTEÇÃO INTEGRAL	USO SUSTENTÁVEL
30 Estações Ecológicas (ESEC)	67 Florestas Nacionais (FLONA)
5 Monumentos Naturais (MONA)	66 Reservas Extrativistas (RESEX)
74 Parques Nacionais (PARNA)	2 Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS)
9 Refúgios de Vida Silvestre (RVS)	37 Áreas de Proteção Ambiental (APA)
31 Reservas Biológicas (REBIO)	13 Áreas Relevantes de Interesse Ecológico (ARIE)
	707 Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN)

Fonte: ICMBio (2020)

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação ainda prevê a instituição da Reserva de Fauna (REFAU) dentro da categoria de Uso Sustentável, mas até o momento não houve a criação desse espaço natural por parte do governo federal.

No SNUC há vários conceitos sobre a temática ambiental. Um deles é o **plano de manejo** que consiste em um documento técnico ao qual, com base nos objetivos gerais de uma Unidade de Conservação, se estabelece o zoneamento e as normas que devem determinar a utilização da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da UC (BRASIL, 2000).

Outro conceito encontrado no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza é a **zona de amortecimento** que se refere ao entorno de uma Unidade de Conservação, onde as atividades humanas estão submetidas às normas e proibições específicas, com o objetivo de minimizar os impactos negativos sobre a UC (BRASIL, 2000). De acordo com Costa *et al.* (2007), essa área de amortecimento também é chamada de zona tampão e não faz parte do centro da Unidade de Conservação.

3.1.3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para as cidades

A evolução das cidades, em escala mundial, é muito desigual nos países, principalmente nas nações em desenvolvimento e de terceiro mundo, pois cada região tem sua própria especificidade e há aprendizados que demonstram a mudança de paradigmas com direcionamento diferenciado no alcance do desenvolvimento sustentável (OSPINA; MORALES, 2020). Pensando nesta lógica, a Organização das Nações Unidas (ONU), dentro dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), estabeleceu no Objetivo 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis – que é preciso tornar os centros urbanos e assentamentos humanos, inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, além de assegurar uma habitação digna e acessível para todas as pessoas até 2030 (UNITED NATIONS, 2015).

A moradia é uma estrutura física importante para que o ser humano consiga a base para a obtenção de outros direitos fundamentais e humanos, mas o quantitativo de assentamentos irregulares e pessoas sobrevivendo sem qualquer teto, ou em situação insalubre é enorme (WALDMAN; SAMPAIO, 2019). De um lado a crise econômica e a degradação ecológica, derivadas de uma má gestão do poder público, e de outro a crescente migração de pessoas da zona rural para a zona urbana nos últimos anos contribuem diretamente para o aumento de espaços territoriais informais e irregulares nas cidades (HERNÁNDEZ; BURGOS, 2020).

As ações que afetam o ambiente natural nas cidades, conforme a exemplificação de Sirkis (2005), vão desde a impermeabilização do solo, aglomeração de imóveis verticalizados, supressão de vegetação em encostas e margens dos rios até a obstrução, retificação ou canalização de rios. Outros problemas relacionados ao grande fluxo de ocupações e assentamentos humanos são a produção de lixo, escoamento de esgoto a céu aberto, podendo causar inúmeras doenças, desemprego e altos índices de criminalidade.

De acordo com Costa e Costa (2018), é preciso estabelecer a conexão entre as zonas urbana e rural. Ospina e Morales (2020) complementam essa linha de raciocínio falando que é fundamental desenvolver o enfoque estruturado com base na análise territorial e no estudo do ecossistema integrando o espaço rural como plataforma da sustentabilidade dos territórios.

Para tanto, o cidadão deve assumir seu papel na sociedade partindo-se de uma política de inclusão social e conscientização ambiental incentivada e implantada não só pelo poder público, mas por todos os segmentos e classes que compõem o povo. Sem tal ação complexa, diante dos paradigmas atuais de país em desenvolvimento ou de terceiro mundo, fica inviável pensar e propor soluções para os problemas ambientais e a possível melhoria na qualidade de vida (SILVA; WERLE, 2007).

3.1.4. Políticas Urbana e Ambiental em Pernambuco

A Constituição do Estado de Pernambuco estabelece, entre os artigos 144º a 150º, a Política Urbana que é dividida em desenvolvimento urbano e habitacional. Tem como objetivos contemplar a função social do solo urbano, à expansão ordenada e adequada das cidades, e o bem-estar das pessoas, além de executar projetos de construção de moradias populares e de proporcionar melhores condições de moradia e saneamento básico aos conjuntos habitacionais já constituídos (PERNAMBUCO, 1989).

A Carta Magna de Pernambuco também versa sobre a área ambiental garantindo a proteção e conservação do meio ambiente, do solo e dos recursos minerais e hídricos temas estes distribuídos entre os artigos 204º a 211º (PERNAMBUCO, 1989).

No dia 08 de junho de 2009 é instituída a Lei Estadual nº 13.787 que estabelece o Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza (SEUC) com critérios e normas para a criação, implantação e gerenciamento das UCs pernambucanas, sistema esse baseado no que se estabeleceu no Sistema Nacional de Unidades de Conservação

da Natureza (PERNAMBUCO, 2009). Em Pernambuco são 90 Unidades de Conservação estaduais, sendo 44 de Proteção Integral e 46 de Uso Sustentável cujas categorias são mostradas na Tabela 2:

Tabela 2. Unidades de Conservação em Pernambuco

PROTEÇÃO INTEGRAL	USO SUSTENTÁVEL
3 Estações Ecológicas (ESEC)	21 Áreas de Proteção Ambiental (APA)
5 Parques Estaduais (PE)	8 Reservas de Floresta Urbana (FURB)
35 Refúgios de Vida Silvestre (RVS)	16 Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN)
1 Monumento Natural (MONA)	1 Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE)

Fonte: CPRH (2021)

O SEUC ainda prevê a instituição da Reserva Biológica (REBIO), no grupo de Proteção Integral, assim como a Reserva Estadual de Fauna (REFAU), Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Reserva Extrativista (RESEX), no grupo de Uso Sustentável, mas não houve a criação dessas unidades por parte do governo estadual (PERNAMBUCO, 2009).

3.2. MUNICÍPIO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO

3.2.1. Histórico do surgimento

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município do Cabo de Santo Agostinho faz parte da Região Metropolitana do Recife, tem uma área de 445,343 km² e possuía uma população estimada, para o ano de 2021, de 210.796 habitantes (IBGE, 2021a). O último censo de 2010 mostrou que o município tinha 185.025 pessoas com densidade demográfica de 412,33 habitantes/km².

O historiador Israel Felipe relata a cronologia do município no livro “História do Cabo” com riqueza de detalhes desde a geografia urbana, com dados físicos e demográficos, passando pelo sistema hidrográfico e etapas orçamentárias, até a instrução pública da administração do território. O Cabo de Santo Agostinho, como ensinam diversos historiadores, foi descoberto pelo espanhol Vicente Yanez Pizón e batizou o lugar como Cabo de Santa Maria da Consolação no dia 20 de fevereiro de 1500, muito antes dos navegadores portugueses (FELIPE, 1962).

A história de surgimento do município começa pela colonização da região quando Duarte de Albuquerque Coelho, filho do primeiro donatário da Capitania de Pernambuco, expulsou os índios Caetés das terras próximas ao Cabo de Santo

Agostinho e decidiu subdividir a área em sesmarias e distribuiu-as a diversos nobres, sendo criados diversos engenhos (BARROS, 2004; IBGE, 2021b).

Um dos primeiros eventos que fez alavancar o crescimento urbano no Cabo foi a inauguração, em 1858, da primeira Estrada de Ferro do Nordeste a Rede Ferroviária – The Recife and São Francisco Railway Company Limited, segunda a ser implantada no Brasil, ocasionando a migração de trabalhadores para construir a linha férrea (BARROS, 2004).

Com o surto do ciclo da cana-de-açúcar e a crescente disseminação de moradias, em 9 de julho de 1877 o local passa a ter foro de Cidade do Cabo de Santo Agostinho e após quinze anos de desenvolvimento a cidade passa a denominar-se Município do Cabo de Santo Agostinho em 8 de fevereiro de 1983 (FELIPE, 1962).

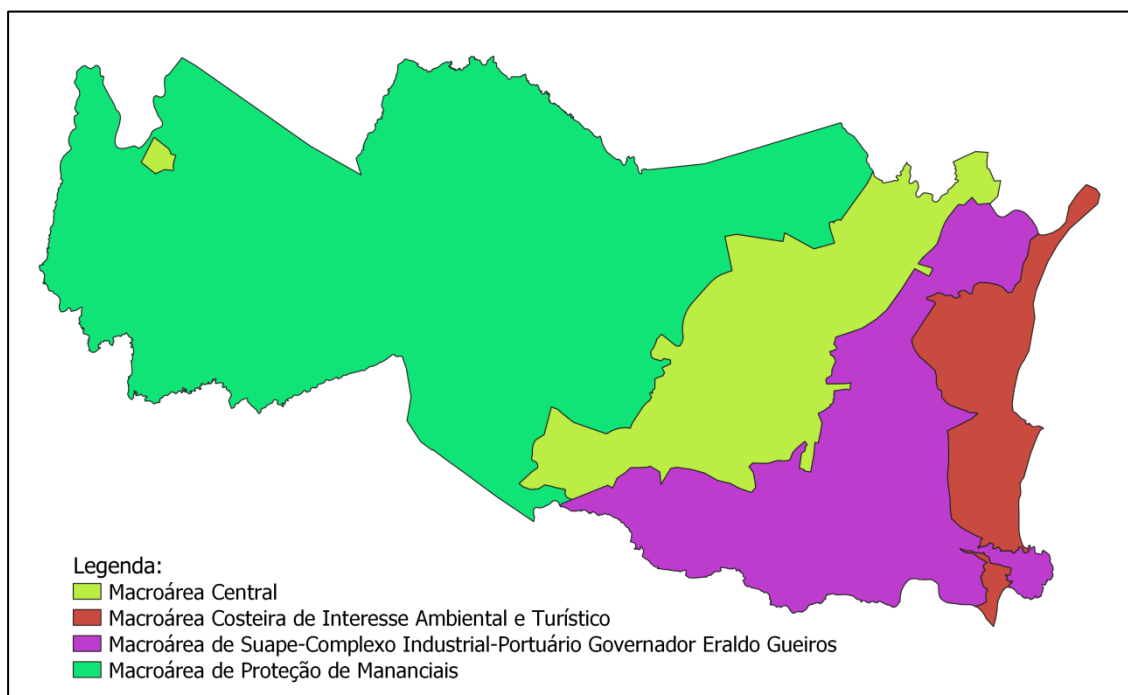
3.2.2. Leis do planejamento urbanístico, ambiental e a divisão territorial do município

O planejamento urbanístico e ambiental do Cabo de Santo Agostinho está disposto conforme as seguintes leis:

- i) Política de Desenvolvimento Urbano e Ambiental e o Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (Lei Municipal nº 3.343, 22 de dezembro de 2017);
- ii) Lei de Parcelamento e de Uso e Ocupação do Solo (Lei Municipal nº 3.109, de 30 de dezembro de 2015);
- iii) Política Ambiental de Proteção, Controle, Conservação e Recuperação do Meio Ambiente (Lei Municipal de nº 2.513, de 30 de dezembro de 2009);
- iv) Código de Posturas (Lei Municipal nº 1.521, de 18 de março de 1989);
- v) Código de Obras (Lei Municipal nº 1.520, de 18 de março de 1989).

O município está dividido em macroáreas (Figura 1), segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de 2006 e essas macroáreas são divididas em: Macroárea Central, Macroárea Costeira de Interesse Ambiental e Turístico, Macroárea de Suape-Complexo Industrial-Portuário Governador Eraldo Gueiros e Macroárea de Proteção de Mananciais, Macroárea (CABO, 2015). Em relação à divisão político-administrativa, o território do Cabo de Santo Agostinho é dividido em 4 distritos: Distrito-sede, Juçaral, Ponte dos Carvalhos e Santo Agostinho e ainda fazem parte do município os povoados de Pirapama, Vila das Mercês, Gurjaú, Usina Liberdade e Usina Mercês (BARROS, 2004).

Figura 1. Distribuição das macroárea no Cabo de Santo Agostinho



Fonte: Adaptado pelo autor (2022)

3.2.3. Fiscalização urbanística e ambiental

Para combater os problemas urbanísticos de parcelamento, construção, prestação de serviço e indústria/comércio irregulares, além de desmatamento, maus tratos a animais silvestres e poluição ambiental (Figura 2), o município do Cabo de Santo Agostinho têm a disposição uma estrutura de fiscalização dentro do organograma da prefeitura municipal composta por servidores públicos das áreas de controle urbano e de meio ambiente.

A estrutura organizacional da prefeitura está configurada em 12 secretarias municipais associadas diretamente ao Gabinete do Prefeito, subdivididas em diversas secretarias executivas incluindo as autarquias CaboPrev e Fachuca. Os setores de fiscalização urbanística e ambiental estão inseridos na Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente (SMPMA) e será dada ênfase a este setor.

Figura 2. Ações de fiscalização urbanística e ambiental



Fonte: SMPMA (2022)

Existem três níveis hierárquicos abaixo da SMPMA: Secretaria Executiva de Meio Ambiente (SEMA), Superintendência de Controle Urbano (SCURB), Superintendência de Planejamento e Projetos (SPP). As atribuições de cada setor estão disponíveis nos Quadros 1a, 1b, 1c.

Quadro 1a. Descrição das atribuições da SEMA

Secretaria Executiva de Meio Ambiente	
1. Organizar e coordenar a fiscalização ambiental para o controle e monitoração das potenciais fontes de poluição existentes no Município, em conjunto com outros serviços de fiscalização da Administração Municipal e de outros órgãos estaduais (CPRH) e/ou Federais (IBAMA);	8. Executar o licenciamento ambiental de empreendimentos em geral a serem instalados ou existentes no Município;
2. Exercer o poder de polícia administrativa e gerenciar a imposição de penalidades;	9. Propor planos e projetos de recuperação de áreas degradadas em conjunto com outros órgãos municipais e estaduais;
3. Propor e fazer cumprir normas e padrões pertinentes à qualidade ambiental do ar, solo, água, ruídos e vibrações;	10. Orientar e supervisionar outros órgãos do Município a respeito das questões ambientais;
4. Elaborar e manter atualizados os cadastros e registros relativos a controle ambiental;	11. Estudar e propor áreas de proteção ambiental e de recomposição ciliar no âmbito do Município;
5. Propor, executar e participar de planos e projetos que visem à monitoração e o controle de qualidade ambiental;	12. Promover estudos, normas e padrões de planejamento ambiental;
6. Participar juntamente com o Estado e a União no controle, vigilância e fiscalização da produção, armazenamento, transporte, comercialização, uso e destino final de substâncias que comportem risco, efetivo ou potencial, para a qualidade de vida e meio ambiente;	13. Coordenar a definição das diretrizes ambientais para projetos de parcelamentos de solo;
7. Promover o desenvolvimento de normas e padrões de controle da poluição em todas as suas formas;	14. Coordenar e executar programas de educação-ambiental.

Fonte: Cabo (2008)

Quadro 1b. Descrição das atribuições da SCURB

Superintendência de Controle Urbano	
1. Coordenar e executar as políticas públicas de regulação urbana de posturas urbanas do Município;	10. Licenciar obras;
2. Administrar a execução da política de desenvolvimento urbano no atinente a parcelamento, uso e ocupação do solo e ao sistema viário;	11. Emitir certificados de conclusão;
3. Definir políticas e programas relativos à área de Política Urbana, estabelecendo diretrizes técnicas para execução de suas atividades;	12. Licenciar e fiscalizar usos comerciais, institucionais, industriais e de publicidade;
4. Atuar no controle interno e favorecer o controle externo das atividades da Administração Pública Municipal, na sua área de competência;	13. Promover vistorias para atestar a segurança de edificações, emitindo laudos técnicos e de interdição;
5. Articular-se com órgãos e entidades federais, estaduais e de outros municípios com vistas à melhor realização dos seus objetivos;	14. Promover vistorias técnicas em locais de eventos para atestar a segurança e as condições dos equipamentos de prevenção e combate a incêndio;
6. Assessorar o Secretário (a) de Planejamento e Meio Ambiente, em assuntos relativos à sua área de atuação;	15. Elaborar laudos de capacidade e quantitativos populacionais;
7. Analisar e aprovar projetos urbanísticos e de parcelamento do solo;	16. Vistoriar edifícios para atestar as condições de segurança contra incêndio e pânico;
8. Fiscalizar obras particulares, fornecer projetos de habitação econômica;	17. Elaborar anteprojetos de leis urbanísticas.
9. Analisar, orientar e fiscalizar a execução de projetos de construção, reforma e regularizações de residências unifamiliares, multifamiliares, verticais e horizontais, edifícios comerciais e/ou industriais;	

Fonte: Cabo (2008)

Quadro 1c. Descrição das atribuições da SPP

Superintendência de Planejamento e Projeto	
1. Gerenciar e executar a elaboração de projetos, orçamentos, especificações técnicas e cronogramas de obras;	4. Coordenar a execução de projetos a cargo de terceiros;
2. Padronizar e normatizar tecnicamente todos os projetos desenvolvidos pela Municipalidade;	5. Analisar e desenvolver projetos oriundos de estudos preliminares efetuados pelos demais órgãos da Municipalidade.
3. Manter acervo técnico e caderno de encargos atualizado, com todos os elementos que propiciem subsídios ao desenvolvimento de qualquer ação que requeira o conhecimento de estudos e projetos já executados ou em execução;	

Fonte: Cabo (2008)

A Lei Municipal nº 2.467, de 11 de dezembro de 2008, reorganiza a estrutura administrativa da Prefeitura Municipal do Cabo de Santo Agostinho e atribui à SMPMA a formulação e implementação de políticas de desenvolvimento físico-territorial e urbanístico, econômico, além da preservação e proteção do meio ambiente do município. Compete também à Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente a elaboração da legislação orçamentária do município: Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO), Plano Plurianual (PPA) e Lei Orçamentária Anual (LOA), em conformidade ao que trata a Lei Complementar Federal n(r) 101 de 04/05/2000 (CABO, 2008).

O Fundo Municipal de Meio Ambiente (FMMA), instituído pela Lei Municipal nº 2.317, de 16 de janeiro de 2006, também faz parte da Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente. Esse fundo é administrado em conjunto entre a SEMA e o Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente (COMDEMA). Dentre as destinações previstas nessa lei, os recursos financeiros também servem para fiscalização e repressão de crimes ambientais, compra de máquinas e equipamentos no que se refere ao controle ambiental no município e para a estruturação logística da Secretaria Executiva de Meio Ambiente (CABO, 2006).

Os servidores públicos efetivos da fiscalização das áreas urbanística e ambiental estão lotados na SCURB, com onze fiscais, sendo dois de edificações e sete de controle urbano e na SEMA, com dois agentes ambientais e três guardas municipais ambientais. A Superintendência de Controle Urbano também tem à disposição 22 agentes de controle urbano para auxiliar as atividades de fiscalização como apreensão,

carga, descarga e distribuição de materiais, equipamentos e mercadorias, além de execução de demolições, em atendimento às determinações das legislações específicas.

3.2.4. Monitoramento de Unidade de Conservação

De acordo com a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) (2021), existem 11 Unidades de Conservação Estaduais inseridas no Cabo de Santo Agostinho, sendo 5 totalmente estabelecidas no território cabense e as outras UCs restantes fazem fronteira com alguns municípios pernambucanos (Tabela 3). A fiscalização e autuação nessas áreas naturais protegidas são de competência da CPRH, mas os setores urbanístico e ambiental do Cabo de Santo Agostinho dão suporte a estas ações de forma subsidiária por meio de apoio técnico, científico, administrativo e financeiro, conforme versa o Art. 16, da Lei Complementar nº 140/2011 (BRASIL, 2011).

Tabela. 3 Unidades de Conservação inseridas no Cabo de Santo Agostinho

Nome da UC	Perímetro da UC	Área (ha)
APA Estuarina dos Rios Jaboatão e Pirapama	Cabo/Jaboatão	1.284,50
FURB Mata de Camaçari	Totalmente no Cabo	223,3
ESEC de Bita e Utinga	Cabo/Ipojuca	2.467,10
PE Mata de Duas Lagoas	Totalmente no Cabo	140,30
PE Mata do Zumbi	Totalmente no Cabo	292,40
RVS Mata do Urucu	Cabo/Escada/Vitória	515,30
RVS Mata da Serra do Cotovelo	Cabo/Moreno	977,50
RVS Mata do Cumaru	Cabo/Moreno	367,20
RVS Mata do Sistema Gurjaú	Cabo/Jaboatão/Moreno	1.077,10
RVS Mata do Bom Jardim	Totalmente no Cabo	245,28
RVS Mata de Contra Açude	Totalmente no Cabo	114,56

Fonte: CPRH (2021)

O setor de fiscalização de meio ambiente municipal recebe denúncias de crimes ambientais nessas Unidades de Conservação por parte da população e de outros órgãos públicos e repassa as informações para Agência Estadual de Meio Ambiente, mas dependendo da demanda, a equipe ambiental municipal se desloca para as Unidades de Conservação com o objetivo de apurar as possíveis irregularidades.

3.3. GEOPROCESSAMENTO NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

Os estudos de Rosa e Paz (2016) mostram que frente à grande dificuldade em relação ao desenvolvimento dos municípios, destacam-se a importância e a necessidade da obtenção de dados confiáveis e atualizados sobre o uso e ocupação do solo, como aporte para o planejamento e viabilização de políticas públicas compatíveis com a realidade local.

O geoprocessamento, segundo Rocha (2000), é uma técnica empregada para interligar várias ferramentas, grupos de informações e programas. Câmara e Davis (2001) complementam esse conceito afirmando que o geoprocessamento é a área do conhecimento que emprega técnicas matemáticas e computacionais. Esses dois autores ainda mencionam que esse procedimento de manipulação de informações geográficas “vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional” (CÂMARA; DAVIS, 2001, p.2).

O geoprocessamento garante a identificação de áreas, a confecção de mapas e a previsão dos usos da terra, por meio de ferramentas computacionais, favorecendo o planejamento e execução de atividades em qualquer território (PRINA; TRENTIN; ZIANI, 2016). De acordo com Cunha e Nunes (2019), a compreensão da apropriação inadequada do solo se faz com a representação da cobertura da terra por meio de mapas favorecendo aos pesquisadores o entendimento das ações humanas em locais antes inexplorados pela sociedade.

Medeiros (2012) afirma que essa tecnologia é uma ferramenta multidisciplinar da Geomática e “engloba o total conjunto de técnicas ligadas à informação espacial, quer seja no tocante a coleta, armazenamento, tratamento e análise, bem como uso integrado desses dados geográficos” (MEDEIROS, 2021, p. 4).

Com a técnica de geoprocessamento, onde se inserem o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), há um grande potencial para associação e análise de diferentes componentes de um sistema ambiental, proporcionando a produção de zoneamentos e sugestões de manejos específicos, com apoio do cruzamento de distintos planos de informação espacial (ISAÍAS, 2008). Segundo o estudo de Davis e Câmara (2001), o SIG é utilizado em sistemas que realizam o tratamento computacional de informações geográficas e resgatam dados não apenas em padrões alfanuméricos, mas também por meio de localização espacial, ao passo que:

(...) oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, interrelacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum - a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar *georreferenciados*, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica (DAVIS; CÂMARA, 2001, p. 42).

Diversos tipos de estudos que envolvam localização geográfica podem ser aplicados com o uso das geotecnologias como: Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), prevenção de desastres naturais, mapeamento de áreas urbanas e análises sobre a ocupação do solo realizadas pelas prefeituras, durante estudos sobre crescimento demográfico, no monitoramento de áreas de preservação ambiental, no controle sob a extração de minerais, na verificação da eficácia de medidas implantadas pelo governo no trânsito, entre outros (SILVA; MONTEIRO; PAMBOUKIAN, 2014).

Segundo Zanotta, Ferreira e Zortea (2019), as imagens de sensoriamento remoto podem ser obtidas por meio de sensores acoplados em plataformas orbitais (satélites) e aéreas (aviões e Veículos Aéreos Não-Tripulados - Vants), que registram a radiação eletromagnética que deixa a superfície da Terra em direção ao espaço.

A partir da implantação do sensoriamento remoto orbital desde a década de 1970 até os dias atuais, observou-se a permanente atualização e expansão dessa tecnologia devido à qualidade dos produtos, assim como a disponibilidade, pois eles podem ser adquiridos, pelos usuários, de forma gratuita e online (BEZERRA *et al.*, 2018).

A página eletrônica da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI-INPE) disponibiliza um banco de dados com imagens gratuitas dos seguintes satélites/sensores: Cbers-1/IRM/WFI/CCD; Cbers-2/IRM/WFI/CCD; Cbers-2B/HRC/WFI/CCD; Cbers-4/MUX/IRS/WFI/PAN5/PAN10; DEIMOS/SLIM; Landsat 1/MSS; Landsat 2/MSS; Landsat 3/MSS; Landsat 5/TM; Landsat 7/ETM+; Landsat 8/OLI; NOAA-20/VIIRS; S-NPP/VIIRS; UK-DMC 2/SLIM; Resourcesat 1/LISS3/AWIFS; Resourcesat 2/LISS3/AWIFS; AQUA/MODIS; TERRA/MODIS.

Outras plataformas disponibilizam imagens gratuitas de satélites com alta resolução como: Earth Explorer que é um site da NASA administrado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS); Land Viewer que tem cenas do Landsat 8/OLI e Sentinel-2; Copernicus que é o Programa de Observação da Terra da União Europeia

da ESA e que oferece serviços com observação terrestre e dados *in situ*; ASF que é outro programa da NASA que disponibiliza dados interferométricos; NCEI – NOAA que apresenta dados meteorológicos e climáticos (GIOVANINI, 2022). Diversas instituições e empresas privadas também disponibilizam imagens de satélites para várias aplicações e usos, mas são pagas.

Com os objetivos de aprimorar informações pictóricas para compreensão humana e analisar automaticamente, por computador, as informações adquiridas de uma cena, a área do processamento de imagens vem crescendo nas esferas acadêmica e profissional (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999). Por definição, o processamento digital de imagens consiste em um conjunto de métodos que dizem respeito à manipulação e análise de imagens por meio de computador (QUITANILHA, 1990 apud LAPOLLI, 1994). Segundo Crósta (2002), esse procedimento é fundamental para remover vários tipos de degradações e distorções, barreiras presentes no sistema visual humano, facilitando a retirada de informações a partir das imagens.

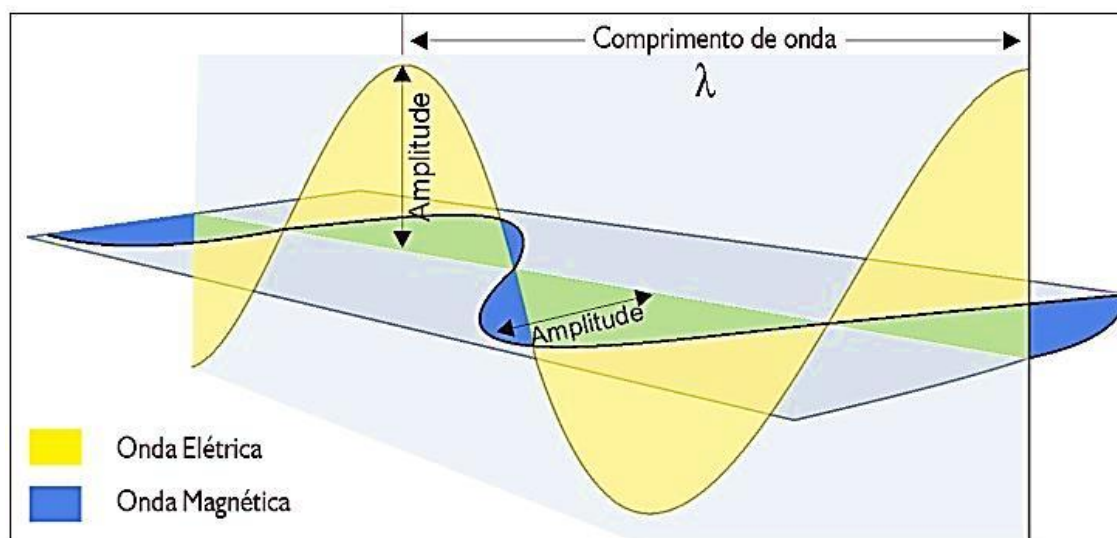
A definição de imagem, segundo Gonzalez e Woods (2010), se baseia na função bidimensional, $f(x, y)$, em que os valores de x e y são pertencentes a coordenadas espaciais (plano), e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x, y) é denominada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto. As imagens digitais de sensoriamento remoto são formadas por um arranjo de componentes sob a forma de malha ou grid, representados por x e y , e esse conjunto de dados é chamado de *pixel*, do inglês *picture element* (CRÓSTA, 2002). O conjunto de *pixels* descreve a quantidade de energia (formas distintas de onda ou radiação eletromagnética) que deixa uma parte definida da superfície (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

O nível de cinza de cada pixel também possui atributo numérico z , que vai variar do preto ao branco, e é conhecido em inglês por *DN*, de *Digital Number*, representando a força da energia eletromagnética (refletida ou emitida) medida por um sensor para o local na superfície da Terra equivalente ao tamanho do *pixel* (CRÓSTA, 2002). Menezes (2012, p. 3) complementa a ideia sobre a representação da Terra dizendo que o “Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”.

A radiação eletromagnética é produzida quando há a produção de movimentos oscilatórios de cargas elétricas de forma acelerada e freada alternadamente (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). A radiação emitida pela luz solar produz ondas (Figura 3)

com frequência (número de oscilações da onda por unidade de tempo - segundos ou Hertz - em relação a um ponto) e comprimento (distância entre dois pontos semelhantes de onda, medido em metros), onde essas ondas não precisam de um meio de propagação, ou seja, elas se propagam até mesmo no vácuo (MOREIRA, 2001).

Figura 3. Representação de onda eletromagnética



Fonte: Moraes (2008)

O comprimento de onda é representado por λ , a frequência por f , e velocidade da luz por c . Essas variáveis físicas podem ser relacionadas da seguinte forma (Equação 1):

$$\lambda \times f = c \quad (1)$$

As radiações eletromagnéticas assumiram denominações que são de aspectos históricos ou provenientes dos procedimentos utilizados nas suas produções ou determinações (STEFFEN *et al.*, 1996 apud MOREIRA 2001).

A emissão da radiação eletromagnética produzida pelo Sol existe devido à conversão de átomos de hidrogênio (H) e hélio (He) e a alta pressão gravitacional cujo processo provoca uma temperatura de aproximadamente 5.500°C capaz de realizar intensas vibrações moleculares, criando uma grande quantidade de radiação eletromagnética (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Esses autores ainda relatam que, semelhante ao Sol, outros objetos da Terra são aptos a reproduzir radiação eletromagnética visível como é o caso da lâmpada incandescente (luz amarela de aproximadamente 2.000°C) e metais aquecidos a altas temperaturas (luz vermelha 750°C).

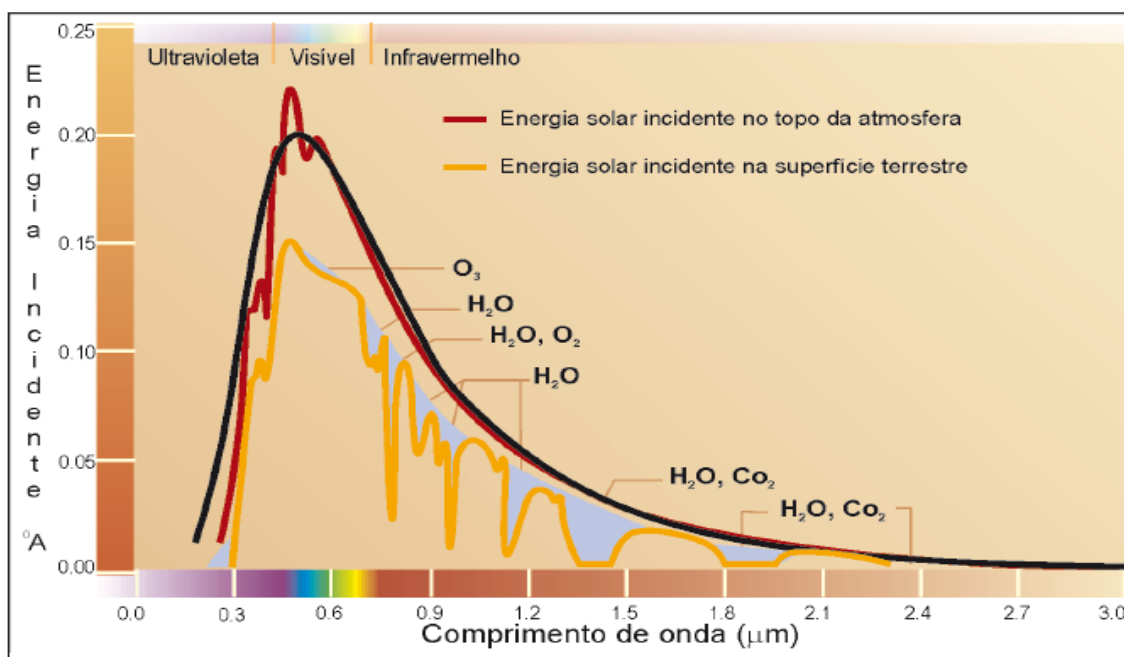
C), mas corpos aquecidos a temperaturas abaixo de 500° C, por exemplo, alimentos cozidos no forno (300° C), corpo humano (entorno de 37° C) e materiais registrando temperatura ambiente (0~40°), não costumam liberar radiações visíveis ao olho humano (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

É possível ver que o pico de emissão do Sol se encontra na região do visível (0,4-0,7 μm), sendo esse o motivo de que a maior parte dos seres vivos evoluiu para usar a radiação eletromagnética nessa faixa. De acordo com Zanotta, Ferreira e Zortea (2019), as plantas, por exemplo, absorvem os raios solares na região do azul (0,4 μm) e do vermelho (0,7 μm) para executar a fotossíntese, e os olhos dos seres humanos e de outros animais são frágeis somente à região do visível.

Ao atravessar a atmosfera terrestre, a energia eletromagnética pode ser absorvida, refletida e espalhada, sendo que os gases encontrados nessa camada apresentam propriedades de absorção muito diversificadas ao comprimento de onda da energia solar incidente na terra-atmosfera e da energia emanada pela superfície da Terra (MORAES, 2008). Segundo Moreira (2001), a radiação solar sofre diversos procedimentos de refração, pois a aglomeração dos gases da atmosfera é muito variada nas diferentes zonas e camadas e que gases como ozônio (O_3) e gás carbônico (CO_2) absorvem radiação solar em determinados comprimentos de onda. Além desses dois gases, há outros que absorvem grande quantidade de radiação eletromagnética como o vapor d'água (H_2O) e oxigênio (O_2), mas os gases CO , CH_4 , NO , e N_2O ocorrem em quantidades pequenas e que exibem variados espectros de absorção, conforme mostra a Figura 4 (MORAES, 2008).

Do ponto de vista do sensoriamento remoto, partículas diversas e as nuvens são fatores que complicam a absorção eletromagnética, mas as nuvens são a maior barreira à radiação solar, pois elas dificultam a passagem da radiação do Sol na parte reflectiva do espectro eletromagnético, onde grande parte dos sensores opera (MOREIRA, 2001). Ressalta-se que a existência de nuvens é um fator limitante para qualquer monitoramento realizado por satélites.

Figura 4. Curvas espectrais da energia solar na atmosfera e superfície da Terra



Fonte: Moraes (2008)

De acordo com Zanotta, Ferreira e Zortea (2019), as faixas espectrais de radiação do Sol que atravessam a atmosfera e chegam à superfície terrestre e passam a relacionar-se com a composição química dos alvos (materiais) e do comprimento de onda da radiação incidente. Os efeitos causados pela radiação eletromagnética são descritos no Quadro 2:

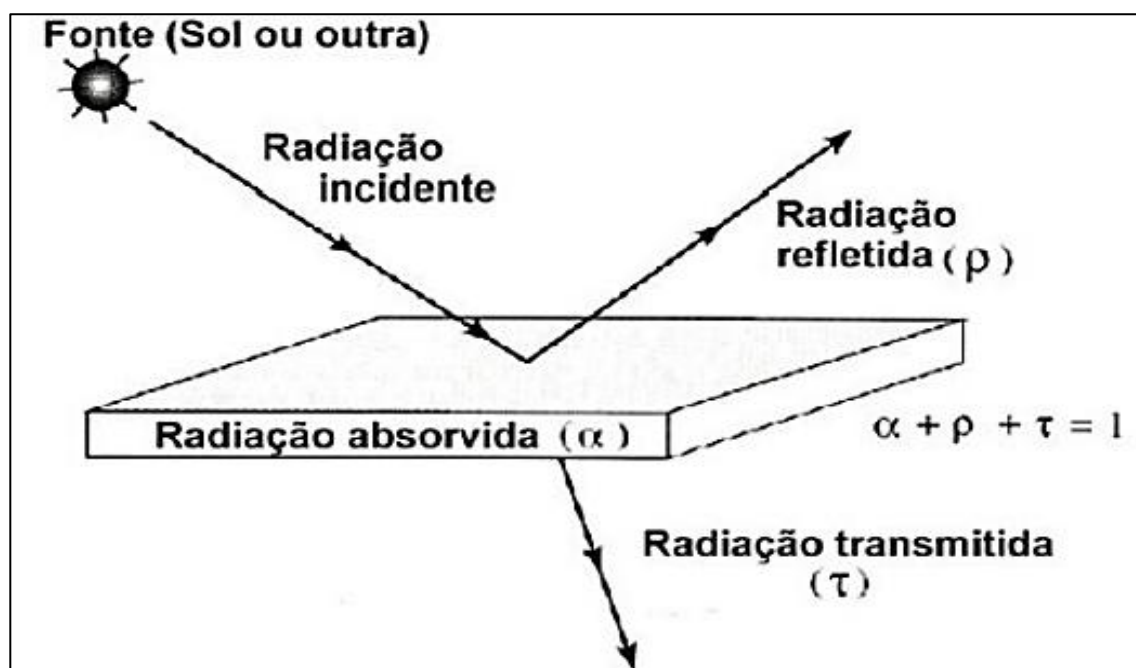
Quadro 2. Conceito dos efeitos provocados pela radiação eletromagnética

Absorção	O processo ocorre quando o pulso de radiação eletromagnética é completamente absorvido pelo alvo, convertendo-se em energia térmica (calor).
Reflexão	O fenômeno acontece quando a energia da radiação é um pouco diferente dos valores descritos pelos intervalos atômicos de energia. Aquelas radiações que sofrem reflexão serão responsáveis pela tonalidade característica do objeto.
Espalhamento	É um processo similar à reflexão, mas ocorre de forma irregular, geralmente em gases. Trata-se de um feixe de radiação que interage não apenas com a superfície material, mas com todo o seu volume interior, provocando múltiplas reflexões da radiação para todas as direções possíveis.
Transmissão	O processo através do material, também conhecido como <i>refração</i> , ocorre quando os subníveis de energia disponíveis nos átomos e moléculas que formam o material não apresentam valores compatíveis com a energia da radiação incidente.
Ionização	O processo de <i>ionização</i> ocorre quando o átomo recebe uma radiação de energia tão grande que é capaz de "arrancar" o elétron do átomo. Esse fenômeno é observado principalmente em radiações com pequenos comprimentos de onda (muito energéticas), como raios gama, X e ultravioleta, denominadas, por isso, radiações ionizantes.

Fonte: Zanotta, Ferreira e Zortea (2019)

Um objeto pode ter a capacidade de absorver (absortância), refletir (reflectância) e transmitir (transmitância) a radiação eletromagnética (Figura 5), tendo valores que variam entre 0 e 1, e o comportamento espectral de determinado objeto pode ser entendido como a reunião de valores sucessivos da refletância do objeto ao decorrer do espectro eletromagnético, ou seja, é essa assinatura espectral que define as feições do objeto, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que determina o objeto (MORAES, 2008).

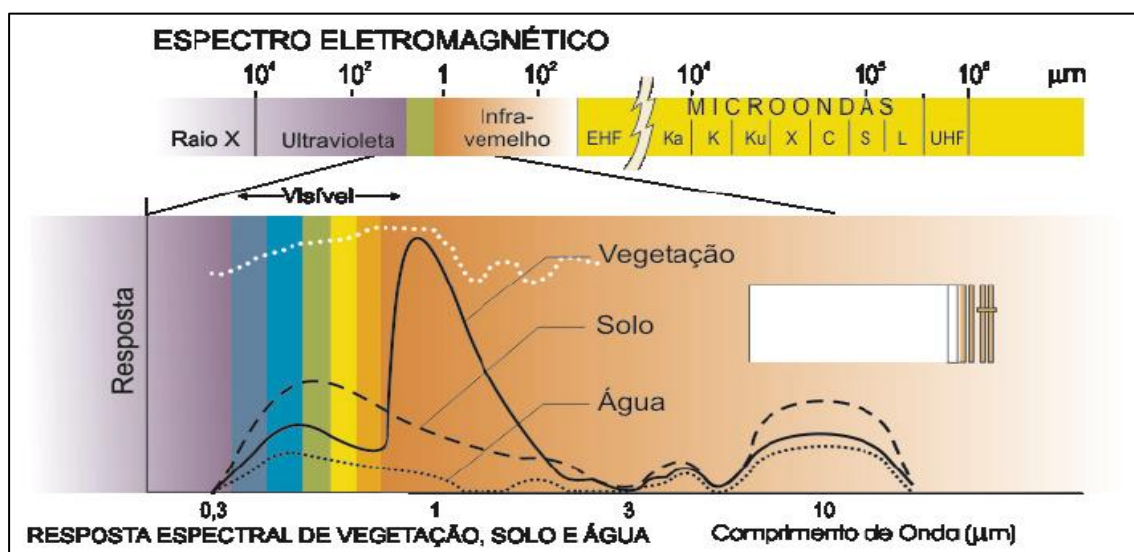
Figura 5. Interação da energia eletromagnética com o objeto



Fonte: Pinto (2014)

Segundo Moraes (2008), diferentes propriedades físico-químicas e biológicas são apresentadas pelos objetos terrestres e essas diferenças possibilitam a distinção e a constatação deles em relação ao sensoriamento remoto devido à variação do percentual de energia refletida em cada comprimento de onda. Os espectros de reflectância dos objetos mais comuns na superfície da Terra (Figura 6) e representados nas imagens de sensoriamento remoto são água, solo, areia, vegetação e nuvens (MORAES, 2008).

Figura 6. Reflectância espectral de alvos naturais



Fonte: Moraes (2008)

Como foi visto anteriormente, a assinatura espectral é o conjunto de valores sequenciais da reflectância de objetos ao longo do espectro eletromagnético e em relação às características básicas observadas no comportamento espectral destes objetos, Moraes (2008) apresenta essas informações resumidas no Quadro 3.

Quadro 3. Características dos objetos em relação ao comportamento espectral

Vegetação sadia	Apresenta alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível, que é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese. Dentro do espectro visível a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração da vegetação. A alta reflectância no infravermelho próximo (até 1,3μm) é devido à estrutura celular, sendo que a partir deste comprimento de onda é o conteúdo de água na vegetação quem modula as bandas de absorção presentes no comportamento espectral desta.
Rochas	É resultante dos espectros individuais dos minerais que as compõem. Os minerais apresentam características decorrentes de suas bandas de absorção. Portanto, a absorção é o principal fator que controla o comportamento espectral das rochas.
Solos	Também dominado pelas bandas de absorção de seus constituintes. As combinações e arranjos dos materiais constituintes dos solos são que definem o seu comportamento espectral, sendo que os principais fatores são a constituição mineral, a matéria orgânica, a umidade e a granulometria (textura e estrutura) deste.
Água líquida pura	Apresenta baixa reflectância (menor do que 10%) na faixa compreendida entre 0,38 μm e 0,7μm e máxima absorção acima de 0,7μm.
Corpos d'água	É modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão neles, pois é verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo, enquanto que a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta num deslocamento em direção ao vermelho.
Nuvens	Apresenta elevada reflectância (em torno de 70%), em todo o espectro óptico com destacadas bandas de absorção em 1,0 μm, 1,3 μm e 2μm.

Fonte: Moraes (2008)

No sensoriamento remoto, a identificação ou detecção de um objeto é feita pelas resoluções espacial, radiométrica, espectral e temporal que operam em conjunto, em um processo de interação, nem sempre visto com facilidade pelo analista (MENEZES, 2012). Essas resoluções serão apresentadas nos seguintes itens:

i) Resolução espacial determina a maneira em que o sensor distingue objetos, ou seja, esse processo computacional representa o menor elemento da superfície individualizado pelo sensor, de acordo com Moraes (2008). A resolução espacial está submetida principalmente ao detector e a altura do posicionamento do sensor em relação ao objeto (MORAES, 2008). Para um objeto ser resolvido na imagem, a resolução espacial nominal deveria ser ao menos a metade do tamanho do objeto mensurado na sua menor medida (MENEZES, 2012).

Para o cálculo da resolução espacial, pode-se utilizar a projeção geométrica do terreno pelo campo de visada instantâneo (IFOV-*Instantaneous Field of View*) do sensor, medido pelo ângulo β que é determinado pela abertura do sistema óptico em conjunto com o tamanho do detector, que calcula a intensidade da radiação do terreno (MENEZES, 2012). Se um sensor tem uma resolução espacial de 10 m, então a representação do alvo se refere normalmente a um quadrado de 10m x 10m do terreno contendo o alvo. As imagens são representadas por *pixels* e quanto maior a quantidade desses *pixels* na cena, melhor qualidade terá a imagem formada no processamento. O tamanho do elemento de resolução no terreno pode ser calculado pela seguinte fórmula (Equação 2):

$$D = H \times \beta \quad (2)$$

Onde,

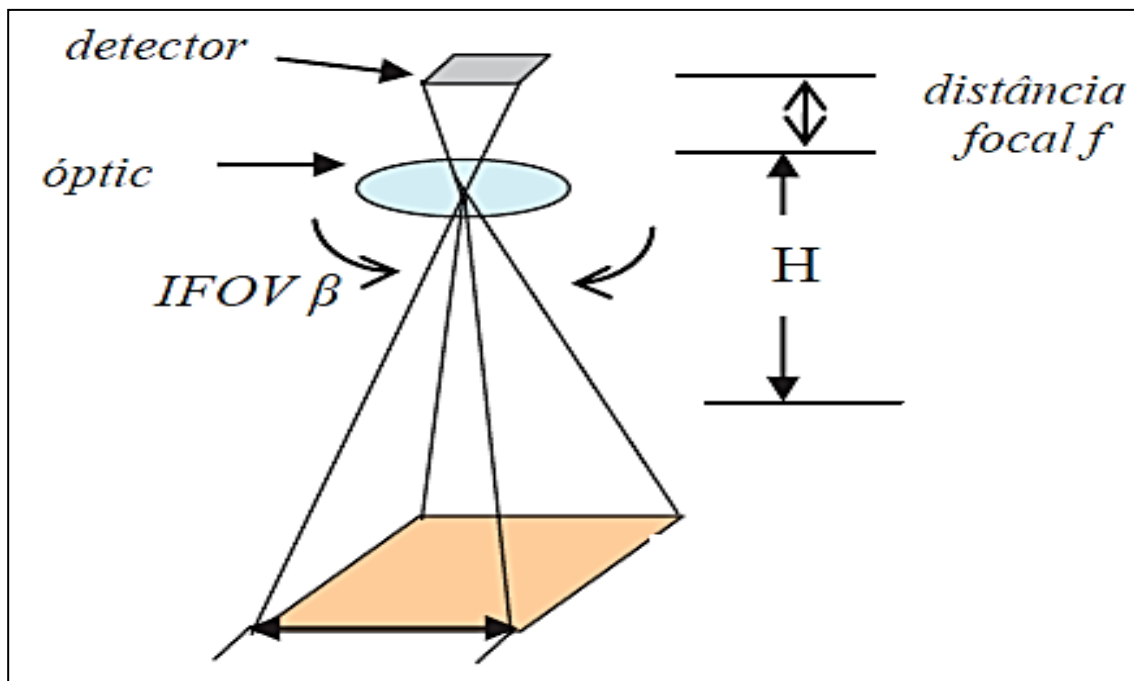
D = diâmetro do elemento amostrado no terreno

H = altura do sensor em metros

β = ângulo IFOV em miliradianos

Para ilustrar o mecanismo do processo de medição da resolução espacial, Menezes (2012) representou a relação do valor do ângulo IFOV e altura H do sensor, segundo a Figura 7.

Figura 7. Compreensão do mecanismo para obtenção da resolução espacial



Fonte: Menezes (2012)

Como exemplo de diferentes resoluções espaciais, Menezes (2012) apresenta três imagens de três sensores ópticos diferentes de uma área do lago Paranoá de Brasília (Figura 8). A primeira é do *Landsat* (resolução espacial de 30 m), a segunda é do *Spot* (resolução espacial de 10 m) e a terceira é do *Ikonos* (resolução de 1 m).

Figura 8. Resoluções espaciais distintas de uma mesma área



Fonte: Menezes (2012)

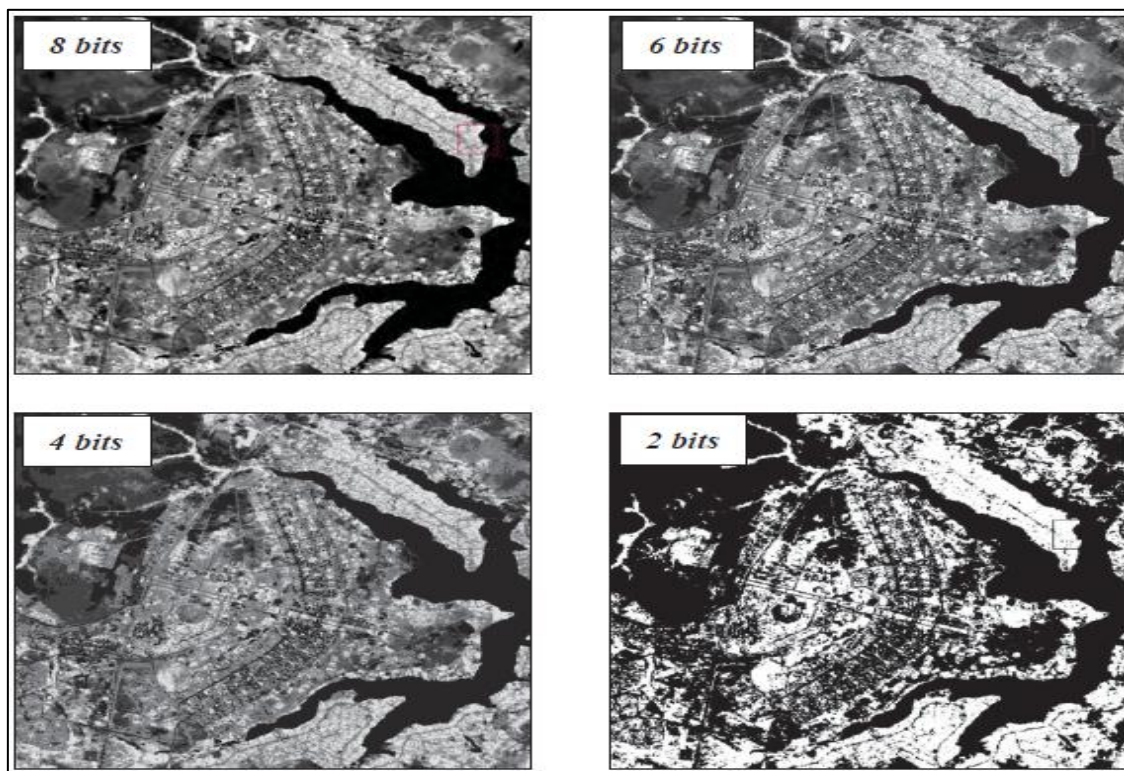
A resolução espacial está associada à capacidade de entender características de forma e tamanho dos alvos, pois os sensores que fornecem imagens de alta resolução espacial são aplicados normalmente para mapeamento urbano (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

ii) **Resolução radiométrica** estabelece a eficiência do sistema em detectar pequenos sinais, ou seja, essa resolução está relacionada à maior ou menor capacidade do sensor em detectar e registrar desconformidades na energia refletida e/ou emanada pelos elementos que integram a cena (rochas, solos, vegetação, águas, etc.) (MORAES, 2008). A quantização do sinal é medida pelo intervalo de número de valores digitais utilizados para demonstrar os valores de radiância medidos pelo detector, normalmente demonstrada por números de dígitos binários (*bits*) e quanto maior é a quantização (Figura 9), maior será a qualidade da imagem (MENEZES, 2012).

Para que haja a interpretação dos sinais recolhidos, é necessário o conhecimento das condições experimentais como: fonte de radiação, efeitos atmosféricos, características do sistema sensor, geometria de aquisição de informações, tipo de processamento e estado do objeto (MORAES, 2008).

Segundo Menezes (2012), grande parte dos sensores multiespectrais com resolução espacial de 10 a 30m processa os dados com resoluções radiométricas de 8 *bits* possuindo a capacidade de identificar até 256 valores de radiância por banda espectral, mas os sensores com alta resolução espacial, com tamanho de *pixel* de 1m, possuem resoluções radiométricas de 10 ou 11 *bits* (1024 ou 2048 valores digitais).

Figura 9. Imagens com diferentes níveis de quantização/resolução radiométrica



Fonte: Menezes (2012)

O satélite Landsat 8 OLI/TIRS apresenta modificações entre elas a resolução radiométrica que teve a mudança de 8 bits para 12 bits, proporcionando a distribuição de níveis de cinza em uma escala maior e fez com que o sensor deste satélite aumentasse a capacidade de distinção entre alvos da superfície da Terra (EL-ASKARY *et al.*, 2014; PAHLEVAN; SCHOTT, 2013 apud DUBE; MUTANGA, 2015).

iii) Resolução espectral refere-se à largura espectral em que opera o sensor e ela define o intervalo espectral no qual são realizadas as medidas, e consequentemente a composição espectral do fluxo de energia que atinge o detector (MORAES, 2008). Se o número de medidas em um determinado intervalo de comprimento de onda for maior, consequentemente, melhor será a resolução espectral da coleta (MORAES, 2008).

A resolução espectral se resume a quantidade de bandas dos satélites. Segundo Novo (2010), os primeiros sensores eram pancromáticos e isso fez com que as informações sobre interações de um objeto com determinado comprimento de onda da radiação incidente fossem perdidas. Para superar esse problema, surgiu a ideia de se obter imagens simultâneas de uma mesma cena em várias regiões do espectro, o que ocasionou o surgimento de sensores multiespectrais e hiperespectrais (NOVO, 2010).

Os sensores hiperespectrais possuem alta resolução espectral, com centenas de bandas, proporcionando observar comportamentos e alterações espectrais dos alvos de maneira mais detalhada quando comparada com sensores multiespectrais (IOST FILHO *et al.*, 2020). Diversos sensores hiperespectrais estão disponíveis, sendo que cada equipamento tem faixas e intervalos de comprimentos de onda específicos (IOST FILHO *et al.*, 2020).

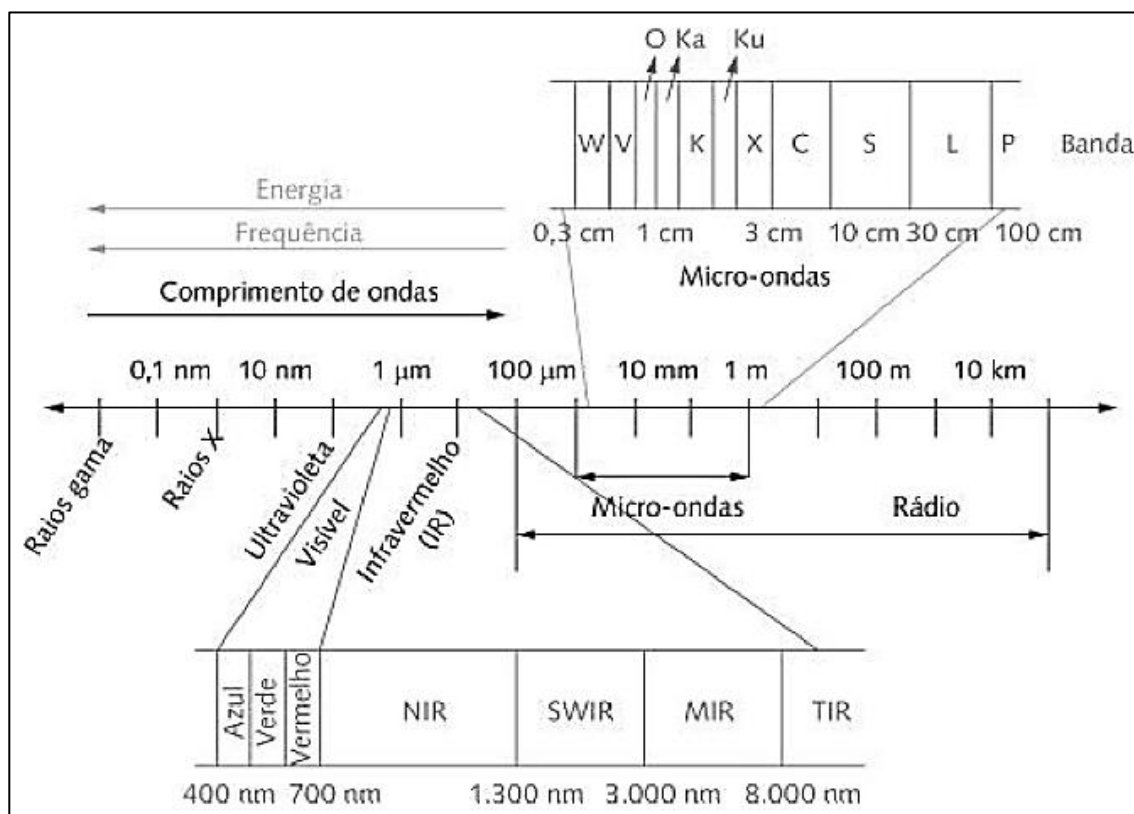
As bandas espectrais dos sensores remotos são apresentadas no Quadro 4 e na Figura 10. São três as regiões espectrais de maior interesse: a) o espectro óptico (400 nm a 2.500 nm); b) o termal (considerando as emissões das superfícies entre 8.000 nm e 14.000 nm); e c) as microondas (radar), baseadas em radiações eletromagnéticas entre 1 mm e 1 m (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

Quadro 4. Bandas usadas em sensoriamento remoto

Classe			Comprimento de onda	Frequência
Ultravioleta			100 Å - 0,4 μm	750 - 3.000 THz
Visível			0,4 - 0,7 μm	430 - 750 THz
Infravermelho	Próximo		0,7 - 1,3 μm	230 - 430 THz
	Ondas curtas		1,3 - 3 μm	100 - 230 THz
	Médio		3 - 8 μm	38 - 100 THz
	Termal		8 - 14 μm	22 - 38 THz
	Distante		14 μm - 1 nm	0,3 - 22 THz
Ondas de rádio	Submlímetro		0,1 - 1 nm	0,3 - 3 THz
	Microondas	Milímetro (EHF)	1 - 10 nm	30 - 300 GHz
		Centímetro (SHF)	1 - 10 cm	3 - 30 GHz
		Decímetro (UHF)	0,1 - 1 m	0,3 - 3 GHz
	Onda muito curta (VHF)		1 - 10 m	3 - 300 MHz
	Onda curta (HF)		10 - 100m	3 - 30 MHz
	Onda média (MF)		0,1 - 1 km	0,3 - 3 MHz
	Onda longa (LF)		1 - 10 km	30 - 300 KHz
	Onda Muito longa (VLF)		10 - 100 km	3 - 30 KHz

Fonte: Formaggio; Sanches (2017) adaptado de Jars (2015)

Figura 10. Bandas usadas em sensoriamento remoto



Fonte: Formaggio; Sanches (2017) adaptado de Jars (2015)

As bandas do espectro visível são vermelho, verde e azul (RGB) e elas são fundamentais para aplicações do sensoriamento remoto, assim como a banda do infravermelho próximo.

O Landsat 8 OLI/TIRS level 1 apresenta nove bandas espectrais com uma resolução espacial de 30 metros para as bandas 1 a 7 e 9. A nova banda 1 (ultra-azul) pode ser utilizada para estudos de ambientes costeiros e com aerossóis. A nova banda 9 é útil para detecção de nuvem cirrus. A banda 8 (pancromática) tem resolução de 15 metros. As bandas térmicas 10 e 11 são úteis para fornecer temperaturas de superfície mais precisas e são coletadas a 100 metros. O tamanho aproximado da cena é 170 km norte-sul por 183 km leste-oeste. A Tabela 4 mostra as informações das bandas, comprimento de onda e resoluções do Landsat 8 OLI/TIRS.

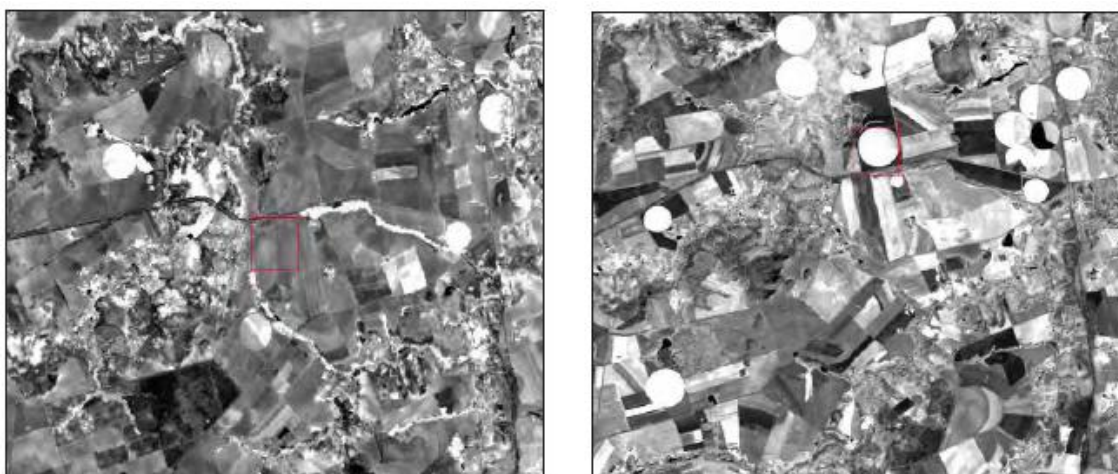
Tabela 4. Informações espectrais e espaciais do satélite Landsat 8 OLI/TIRS

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Resolução (m)
1 (coastal aerosol)	0.43-0.45	30
2 (blue)	0.45-0.51	30
3 (green)	0.53-0.59	30
4 (red)	0.64-0.67	30
5 (near infrared)	0.85-0.88	30
6 (swir1)	1.57-1.65	30
7 (swir 2)	2.11-2.29	30
8 (panchromatic)	0.50-0.68	15
9 (cirrus)	1.36-1.38	30
10 (thermal infrared – tirs 1)	10.6-11.19	100
11(thermal infrared – tirs 2)	11.50-12.51	100

Fonte: National Aeronautics and Space Administration (2013)

iv) Resolução temporal é importante para monitorar ou detectar a evolução ou mudanças que o ocorrem na superfície terrestre, principalmente em as áreas mais dinâmicas, como o ciclo fenológico de culturas, desastres ambientais, desmatamentos, tendo grande utilização no monitoramento ambiental (MENEZES, 2012). A Figura 11 mostra um exemplo de uma região agrícola com a evolução de diversos pivôs de irrigação, sendo que a imagem da esquerda foi captada no ano 2000 e a imagem da direita foi captada no ano de 2009.

Figura 11. Imagens *Landsat* com aumento de pivôs entre os anos 2000 e 2009



Fonte: Menezes (2012)

A resolução temporal faz referência ao intervalo de tempo em que o sensor revisita uma localidade e obtém imagens periódicas ao longo da vida útil desse mesmo sensor (MENEZES, 2012). O Landsat 8 OLI/TIRS tem uma resolução temporal de 16 dias, fazendo com que ele seja um dos principais sensores para a aquisição de dados para a análise regional especialmente em áreas com recursos limitados (EL-ASKARY *et al.*, 2014; PAHLEVAN; SCHOTT, 2013 apud DUBE; MUTANGA, 2015).

Todos esses conceitos sobre sensoriamento remoto dão suporte para a utilização dessa tecnologia na agricultura e monitoramento ambiental com o objetivo de obter estimativas de parâmetros biofísicos de interesse usados em modelos agroecológicos e em outros usos diversos (FORMAGGIO; SANCHES, 2017). O estudo de Silva *et al.* (2019) complementa essa ideia afirmando que a pesquisa e o monitoramento da vegetação de áreas agrícolas ou espaços de preservação/conservação ambiental, vem sendo um dos assuntos mais trabalhados e discutidos no sensoriamento remoto quando o mesmo é abordado na área ambiental.

Com a realização de operações aritméticas realizadas entre as bandas de uma imagem, foi possível o desenvolvimento de índices de vegetação que buscaram explorar o comportamento espectral da vegetação para destacar certos parâmetros dos vegetais, sendo inclusive empregados na extração de características bioquímicas e biofísicas de folhas e dosséis (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Esses índices são agrupados segundo a resolução espectral do dado do sensoriamento remoto empregado para as operações aritméticas, sendo os índices de bandas largas (dados multiespectrais)

e os de bandas estreitas (dados hiperespectrais) (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

Diversos índices de vegetação foram criados nos últimos 40 anos. Silva *et al.* (2019) realizaram um estudo com o levantamento desses índices que utilizam as bandas do visível (RGB), do infravermelho próximo (NIR), e do infravermelho médio (SWIR), como mostra o Quadro 5.

Quadro 5. Sumário dos índices de vegetação

Índice	Tipo	Referência
Normalized Difference Vegetation Index	NIR	Rouse <i>et al.</i> (1974)
Normalized Green Red Difference Index	RGB	Tucker (1979)
Soil-adjusted vegetation index	NIR	Huete (1988)
Redness Index	RGB	Escadafal e Huete (1991)
Atmospherically Resistant Vegetation Index	NIR	Kaufman e Tanre (1992)
Excess Green Index	RGB	Woebbecke <i>et al.</i> (1995)
Green Atmospherically Resistant Index	NIR	Gitelson <i>et al.</i> (1996)
Normalized difference water index	NIR	McFeeters (1996)
Normalized difference water index	NIR	Gao (1996)
Excess Red Vegetative Index	RGB	Meyer <i>et al.</i> (1998)
IAF/LAI	NIR	Bastiaanssen (1998)
Ground Level Image Analysis	RGB	Louhaichi <i>et al.</i> (2001)
Ground Level Image Analysis	RGB	Hunt <i>et al.</i> (2011)
Visible Atmospherically Resistant Index	RGB	Gitelson <i>et al.</i> (2002)
Vegetative	RGB	Marchant e Onyango (2002)
Color Index of Vegetation Extraction	RGB	Kataoka <i>et al.</i> (2003)
Normalized Difference Builtup Index	NIR	Zha <i>et al.</i> (2003)
Excess green minus Excess red	RGB	Camargo-Neto (2004)
Modification of Normalized Difference Water Index	SWIR	Xu (2006)
Desert Flood Index	NIR	Wang (2007)
Triangular Greenness Index	RGB	Hunt <i>et al.</i> (2011)
Combination	RGB	Guerrero <i>et al.</i> (2012)
IAF Galvício (2013)	NIR	Galvício <i>et al.</i> (2013)
IAF Machado (2014)	NIR	Machado (2014)
Visible-band Difference Vegetation Index	RGB	Wang <i>et al.</i> (2015)
IAF ₁ Miranda (2017)	RGB	Miranda (2017)
IAF ₂ Miranda (2017)	RGB	Miranda (2017)
IAF ₃ Miranda (2017)	NIR	Miranda (2017)

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2019)

As primeiras aplicações do NDVI foram propostas por Rouse *et al.* (1973) para o estudo de sistemas de vegetação natural como indicadores fenológicos de desenvolvimento sazonal e efeitos climáticos sobre as condições de crescimento regional da vegetação utilizando bandas espectrais de satélites. O índice de

normalização consiste na relação da subtração das bandas espectrais do infravermelho próximo e do vermelho dividido pela soma dessas bandas (ROUSE *et al.*, 1973). A fórmula deste índice é aplicada pela seguinte expressão (Equação 3):

$$\text{NDVI} = (piv - pv) / (piv + pv) \quad (3)$$

Onde,

piv = reflectância do infravermelho próximo

pv = reflectância do vermelho

O NDVI é largamente utilizado em quase todos os biomas terrestres com aplicação em diversas pesquisas ambientais (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017). Segundo Rojo *et al.* (2019) esse índice, dentre outros, foi capaz de diferenciar tipos funcionais de vegetação, assim como apresentou uma boa adequação na cobertura de valores estatísticos na Reserva da Biosfera Pozuelos, na Argentina.

Outro estudo que utilizou o NDVI como ferramenta de análise ambiental foi o de Liu e Lei (2015) que investigou a variação espaço-temporal do crescimento da vegetação e a intervenção climática na China entre os anos de 1982 a 2011. Os perfis temporais de NDVI de gramíneas e árvores nas paisagens semiáridas na África do Sul são fundamentais para calcular a taxa de cobertura arbórea e impedir a invasão lenhosa de determinadas espécies indesejadas, de acordo com Cho e Ramoelo (2019). Existem muitos estudos relacionados ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada em diversas áreas ambientais que não se esgotam neste trabalho.

4. METODOLOGIA

A metodologia apresentada neste trabalho se baseia na experiência/estudo de caso de monitoramento da Unidade de Conservação Mata do Zumbi, localizada no município do Cabo de Santo Agostinho.

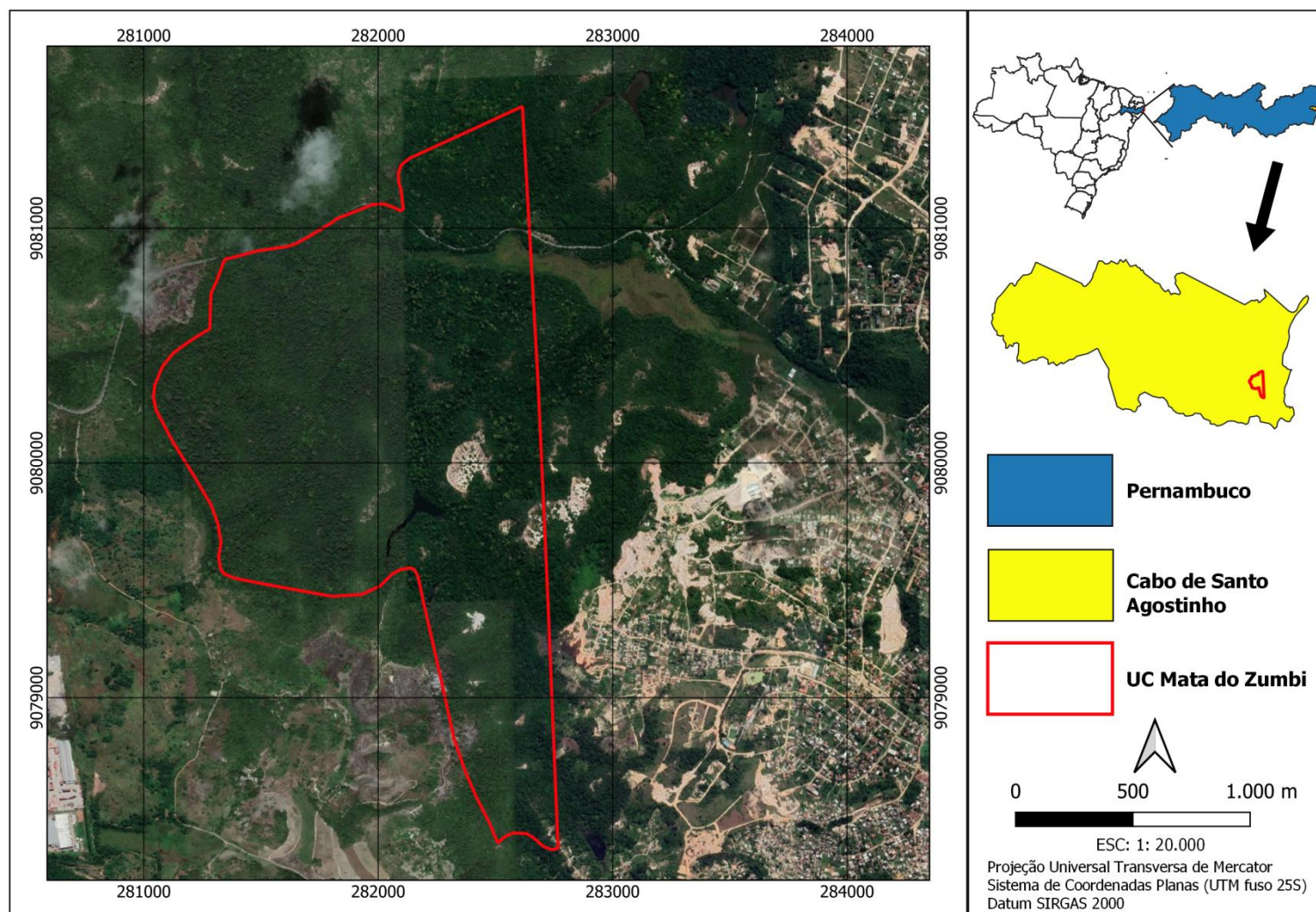
Inicialmente, faz-se necessário a caracterização da área de estudo e, em seguida, são apresentadas as etapas de coleta e processamento de dados orbitais para o monitoramento florestal remoto da UC estudada. Embasado neste estudo de caso, verificou-se a viabilidade de utilização do monitoramento florestal remoto em Unidades de Conservação por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A Unidade de Conservação de Proteção Integral Parque Estadual Mata do Zumbi está localizada no litoral sul da Região Metropolitana do Recife (RMR), no Estado de Pernambuco, e dentro do território do município do Cabo de Santo Agostinho, com coordenadas geográficas latitude $8^{\circ}18'56,92''$ e longitude $34^{\circ}58'45,88''$ (Figura 12). A Mata do Zumbi está inserida na Zona de Preservação Ecológica (ZEPC), área do espaço territorial da Empresa Suape - Complexo Industrial e Portuário Governador Eraldo Gueiros, cuja parcela de terra possui o objetivo de preservação ambiental e compensação de passivos florestais (PERNAMBUCO, 2011b).

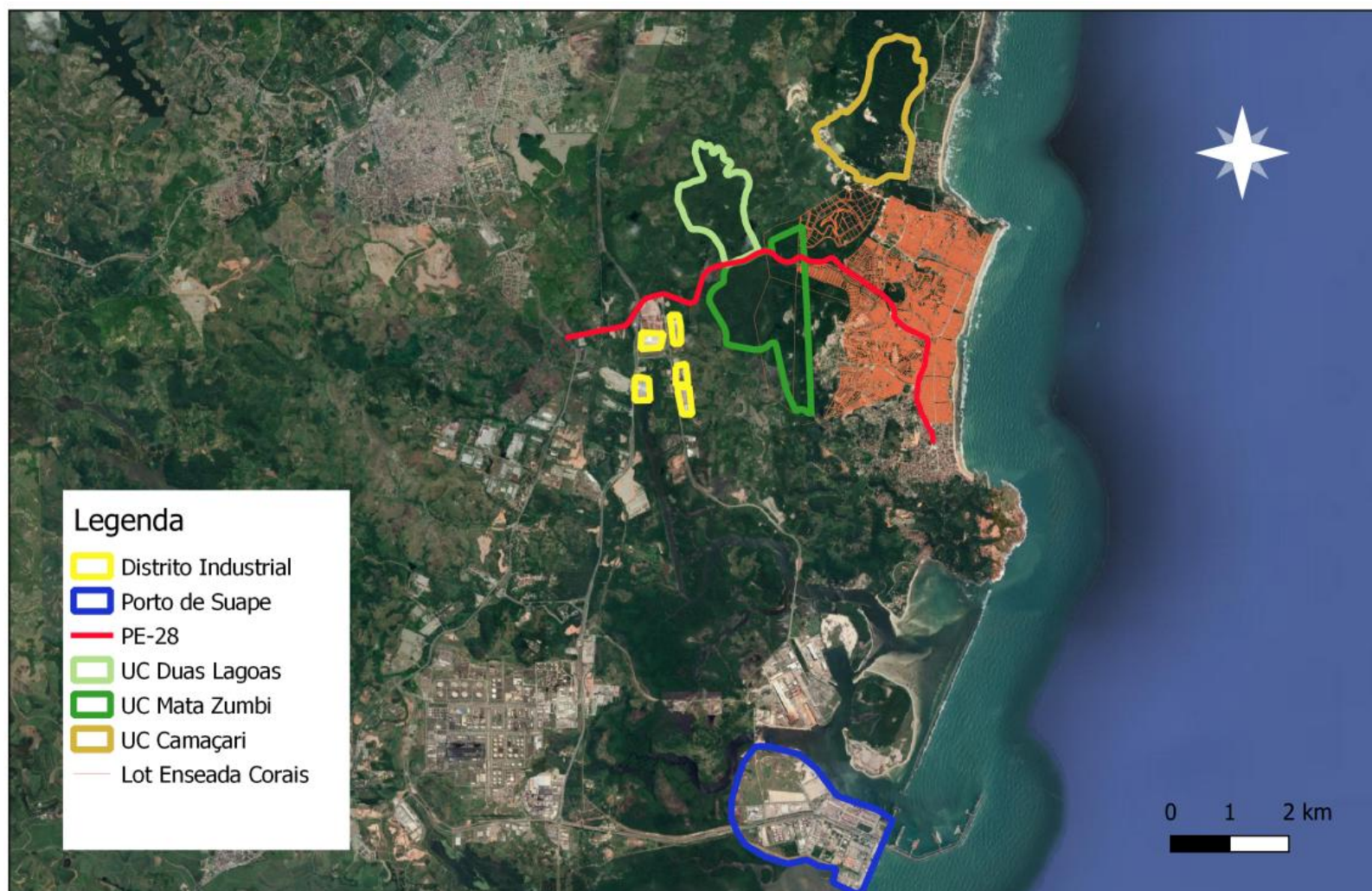
A Mata do Zumbi ocupa uma área de 292,40 ha e faz fronteira ao norte com a Rodovia PE-28, que corta essa UC, e também com a Unidade de Conservação de Proteção Integral Parque Estadual Mata Duas Lagoas; a nordeste da Mata do Zumbi encontra-se a Reserva de Floresta Urbana Mata de Camaçari, classificada como UC de Uso Sustentável; ao sul a Mata do Zumbi está próxima do Porto de Suape e do Estaleiro Atlântico Sul; a leste faz divisa com o Loteamento Enseada dos Corais; e a oeste faz fronteira com parte do Distrito Industrial de Suape (Figura 13).

Figura 12. Localização UC Mata do Zumbi



Fonte: Autor (2022)

Figura 13. Distribuição espacial UC Mata do Zumbi



Fonte: Autor (2021)

4.1.1. Marco legal

O marco histórico de consolidação desta Unidade de Conservação inicia-se com a instituição da Lei Estadual nº 9.989 de 13 de janeiro de 1987, onde o governo pernambucano institui as Reservas Ecológicas da Região Metropolitana do Recife como áreas de preservação permanente no estado com a finalidade de proteção do sistema de mananciais, do relevo, do solo, da fauna e da flora existentes (PERNAMBUCO, 1987).

Essa legislação garantiu a criação de 40 áreas de preservação permanente, uma delas é a Reserva Ecológica Zumbi (Quadro 6), e cabia a antiga Companhia Pernambucana de Meio Ambiente (CPRH), atual Agência Estadual de Meio Ambiente, realizar fiscalização preventiva e de repressão nesses espaços naturais (PERNAMBUCO, 1987).

Quadro 6. Reservas Ecológicas instituídas em municípios de PE em 1987

1 - Lanço dos Cações - Itamaracá	21 - Tapacurá - São Lourenço da Mata
2 - Santa Cruz - Itamaracá	22 - Eng. Tapacurá - São Lourenço da Mata;
3 - Jaguaribe - Itamaracá	23 - Toré - São Lourenço da Mata
4 - Eng. Macaxeira - Itamaracá	24- Camucim - São Lourenço da Mata
5 - Eng. São João - Itamaracá	25 - Outeiro do Pedro - São Lourenço da Mata
6 - Amparo - Itamaracá	26 - Jangadinha - Jaboatão
7 - Usina São José - Igarassu	27 - Mussaiba - Jaboatão
8 - Miritiba - Abreu e Lima	28 – Manassu - Jaboatão
9 - São Bento - Abreu e Lima	29 - Eng. Salgadinho - Jaboatão
10 - Jaquarana- Paulista	30 - Engenho Moreninho - Moreno
11 - Caetés - Paulista	31 – Caraúna - Moreno
12 - Janga - Paulista	32 - Contra-Açude - Cabo
13 - Passarinho - Olinda	33 - Sistema Gurjaú - Moreno, Cabo e Jaboatão
14 - Dois Unidos - Recife	34 - Bom Jardim - Cabo
15 - Dois Irmãos - Recife	35 - Serra Cumaru - Cabo
16 - Curado - Recife	36 - Serra do Cotovelo - Cabo e Moreno
17 - Jardim Botânico - Recife	37 - Urucu - Cabo
18 - São João da Várzea - Recife	38 - Camaçari - Cabo
19 - Engenho Uchoa - Recife	39 - Duas Lagoas - Cabo
20 - Quizanga - São Lourenço da Mata	40 - Zumbi – Cabo

Fonte: Pernambuco (1987)

Na lei das Reservas Ecológicas há também restrições nessas áreas de preservação, segundo as definições das condições gerais e de manejo como: a) proibição para o parcelamento urbano e instalação de edificações; b) vedado os desmatamento e remoção de cobertura vegetal; c) proibição de movimentações de terra, assim como a exploração de recursos minerais; e d) proibição do emprego de fogo em práticas agropastoris e/ou outras atividades que comprometam a integridade desses espaços naturais, assim como nas áreas no entorno (PERNAMBUCO, 1987).

Os legisladores pernambucanos também inseriram na Lei Estadual nº 9.989/1987 a responsabilização para os infratores que desrespeitam as disposições da referida lei como: i) advertência e embargo da ação predadora; ii) multa; iii) obrigatoriedade de reflorestamento; iv) perda ou restrição de benefícios fiscais do Poder Público; e v) perda ou suspensão de participação de linhas de crédito (PERNAMBUCO, 1987).

O governo pernambucano, preocupado em seguir o que preconiza o Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza, sob a Lei Estadual de 13.787 de 08 de junho de 2009, institui a Lei Estadual nº 14.324 de 03 de junho de 2011 que recategoriza as Reservas Ecológicas da Região Metropolitana do Recife para Unidades de Conservação da Natureza, nos termos do SEUC, para as seguintes Unidades de Conservação: Reserva de Floresta Urbana (FURB), que ficou na categoria de Uso Sustentável; Parque Estadual (PE) e Refúgio da Vida Silvestre (RVS), ambas ficaram na categoria de Proteção Integral, conforme Quadros 7a, 7b, 7c (PERNAMBUCO, 2011a).

Quadro 7a. Reservas Ecológicas recategorizadas para Reserva de Floresta Urbana

1 - Mata de São Bento - Abreu e Lima	5 - Mata do Passarinho - Olinda
2 - Mata de Camaçari - Cabo de Santo Agostinho	6 - Mata de Jaguarana - Paulista
3 - Mata de Jangadinha - Jaboatão dos Guararapes	7 - Mata do Janga - Paulista
4 - Mata de Manassú - Jaboatão dos Guararapes	8 - Mata de Dois Unidos - Recife

Fonte: Pernambuco (2011a)

Quadro 7b. Reservas Ecológicas recategorizadas para Parque Estadual

1 - Mata de Duas Lagoas - Cabo de Santo Agostinho
2 - Mata do Zumbi - Cabo de Santo Agostinho

Fonte: Pernambuco (2011a)

Quadro 7c. Reservas Ecológicas recategorizadas para Refúgio de Vida Silvestre

1 - Mata de Miritiba - Abreu e Lima	12 - Mata do Engenho Moreninho - Moreno
2 - Mata de Bom Jardim - Cabo	13 - Mata de São João da Várzea - Recife
3 - Mata do Contra-Acude - Cabo	14 - Mata do Curado - Recife
4 - Mata do Urucu - Cabo	15 - Mata do Engenho Uchoa - Recife
5 - Mata Serra do Cotovelo - Cabo	16 - Mata de Tapacurá - São Lourenço da Mata
6 - Mata Serra do Cumaru - Cabo e Moreno	17 - Mata do Camucim - São Lourenço da Mata
7 - Matas do Sistema Gurjaú - Cabo, Jaboatão e Moreno	18 - Mata do Engenho Tapacurá - São Lourenço da Mata
8 - Mata de Mussaíba - Jaboatão	19 - Mata do Outeiro do Pedro - São Lourenço da Mata
9 - Mata do Engenho Salgadinho - Jaboatão	20 - Mata do Quizanga - São Lourenço da Mata
10 - Mata da Usina São José - Igarassu	21 - Mata do Toró - São Lourenço da Mata
11 - Mata de Caraúna - Moreno	

Fonte: Pernambuco (2011a)

Diante da recategorização, a Reserva Ecológica Mata do Zumbi passa a se chamar Unidade de Conservação de Proteção Integral Parque Estadual Mata do Zumbi. Nesse processo ficam resguardadas as condições gerais de utilização e manejo que obedecem a Lei Estadual nº 9.989/1987 para esta e as outras Unidades de Conservação, além da restrição estabelecida nas categorias de Proteção Integral, que é preservar a natureza, sendo permitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, e de Uso Sustentável, que estabelece a conciliação da conservação da natureza com a utilização sustentável de parte de seus recursos naturais. A categoria Parque tem como objetivo, segundo a Lei Estadual nº 13.787/2009, preservar os ecossistemas naturais de importante relevância ecológica e beleza cênica, favorecendo o desenvolvimento de atividades de educação ambiental e interpretação do meio ambiente, de lazer em contato com a natureza e de ecoturismo (PERNAMBUCO, 2009).

A recategorização estabeleceu um fator importante relacionado aos limites e condições específicas de utilização e condições de manejo nessas unidades que foi a reavaliação desses elementos a serem estabelecidos por decreto no prazo de três anos após a publicação da Lei Estadual nº 14.324/2011.

Um ano após a lei de recategorização, a CPRH publica a Portaria Nº 41/2012 (DOE 26.06.2012) e estabelece o conselho gestor para o Parque Estadual Mata do Zumbi. No ano de 2013 a Agência Estadual de Meio Ambiente publica um edital de chamamento para selecionar projetos com o objetivo de elaboração de planos de manejo

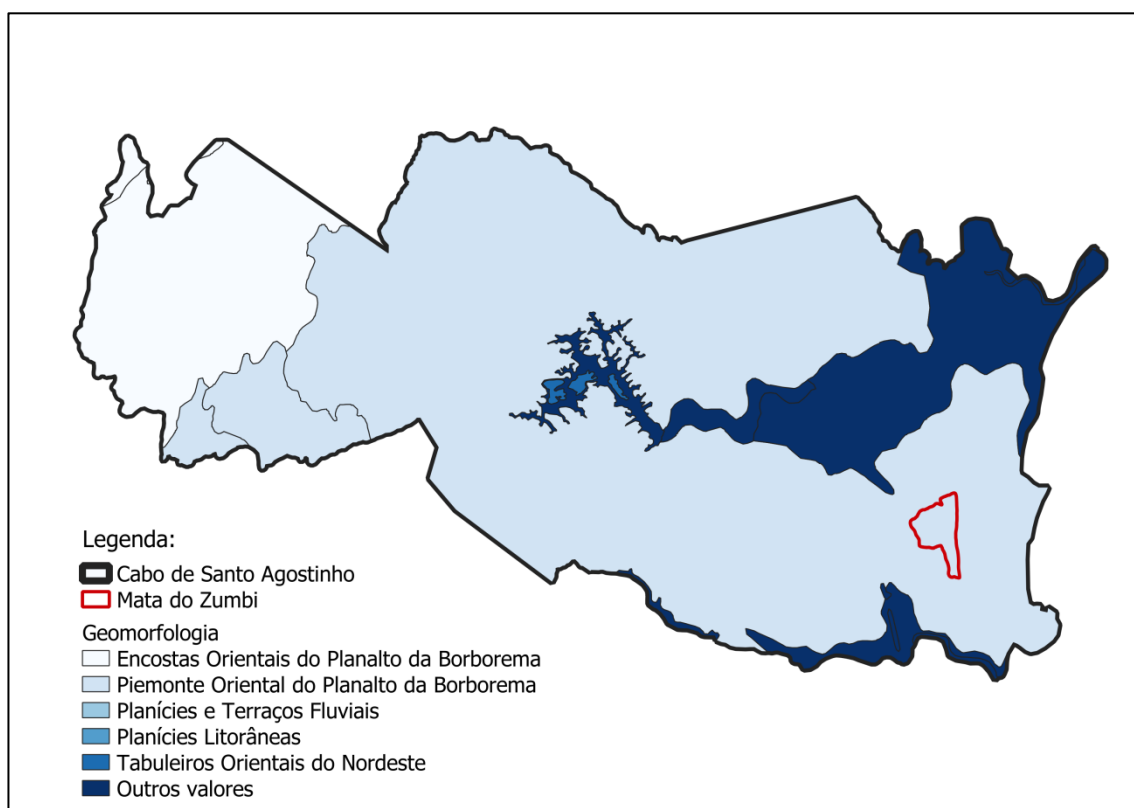
para as Unidades de Conservação de Pernambuco. O edital iria financiar 16 projetos de criação de Planos de Manejo das UCs estaduais, incluindo o Parque Estadual Mata do Zumbi. Contudo, até o momento, a Mata do Zumbi não possui Plano de Manejo e nem sede física da CPRH, o que deixa esta Unidade de Conservação vulnerável às possíveis ações de interferência humana.

4.1.2. Grande Unidade de Paisagem e Geomorfologia

A UC Parque Estadual Mata do Zumbi está inserida na Grande Unidade de Paisagem (GUP) chamada Tabuleiros Costeiros. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (EMBRAPA), essa GUP se distribui por parte do litoral dos nove estados da região nordeste (EMBRAPA, 1993).

Em relação à geomorfologia, a Mata do Zumbi está inserida na Peimonte Oriental do Planalto da Borborema, na região da depressão sertaneja (Figura 14), segundo o Banco de Dados de Informações Ambientais (Bdia-IBGE, 2021a).

Figura 14. Geomorfologia na Unidade de Conservação Mata do Zumbi

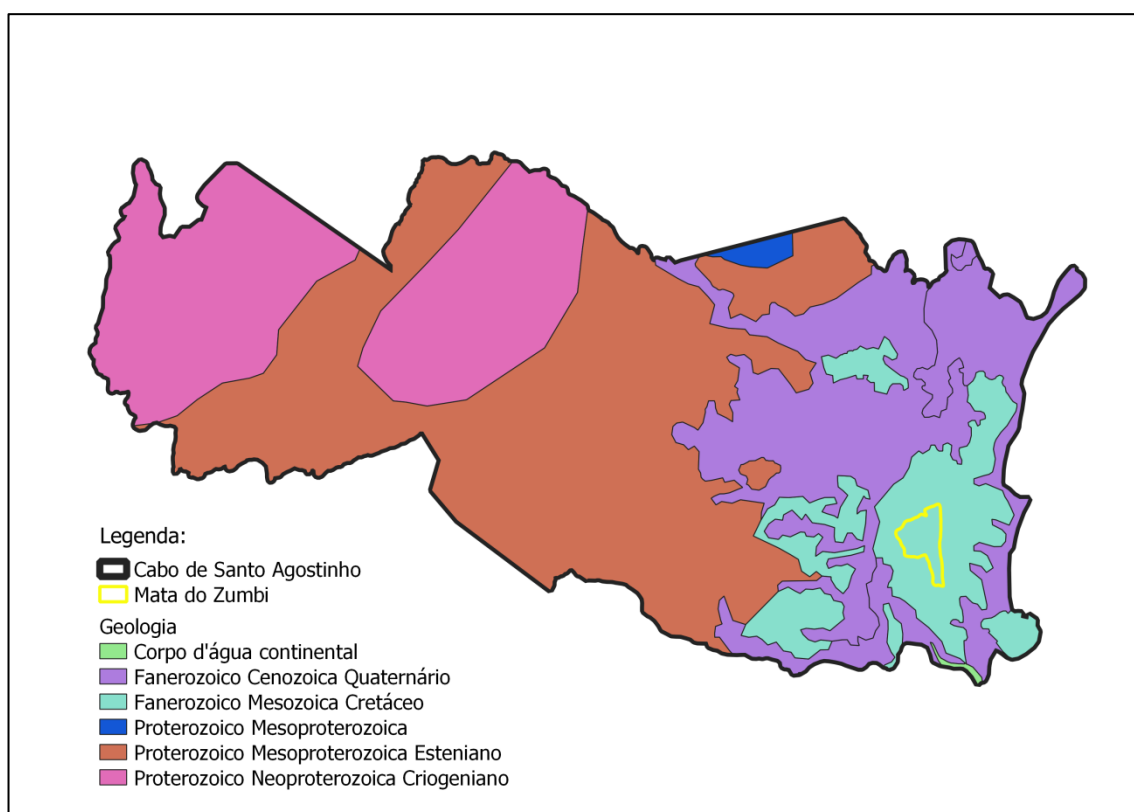


Fonte: Adaptado pelo autor (2021)

Com tempo geológico pertencente ao período farenozoico mesozoica superior (Figura 15), o Parque Estadual tem a formação da geologia chamada Algodóais

integrante da Bacia de Pernambuco e apresenta afloramentos de rochas ígneas ou metamórficas da foz do rio Pirapama, no município cabense, até ao sul na Barra e Sirinhaém (Bdia-IBGE, 2021b). Com altitudes máximas de até aproximadamente 30 m e mínimas na faixa dos 23 m, a Unidade de Conservação tem as maiores elevações dentro do próprio limite inseridas na porção centro-sul e apresenta declividade que variam entre 0,8 a 14,6 graus de inclinação na parte interna (FREITAS NETO, 2017).

Figura 15. Tempo geológico na Unidade de Conservação Mata do Zumbi



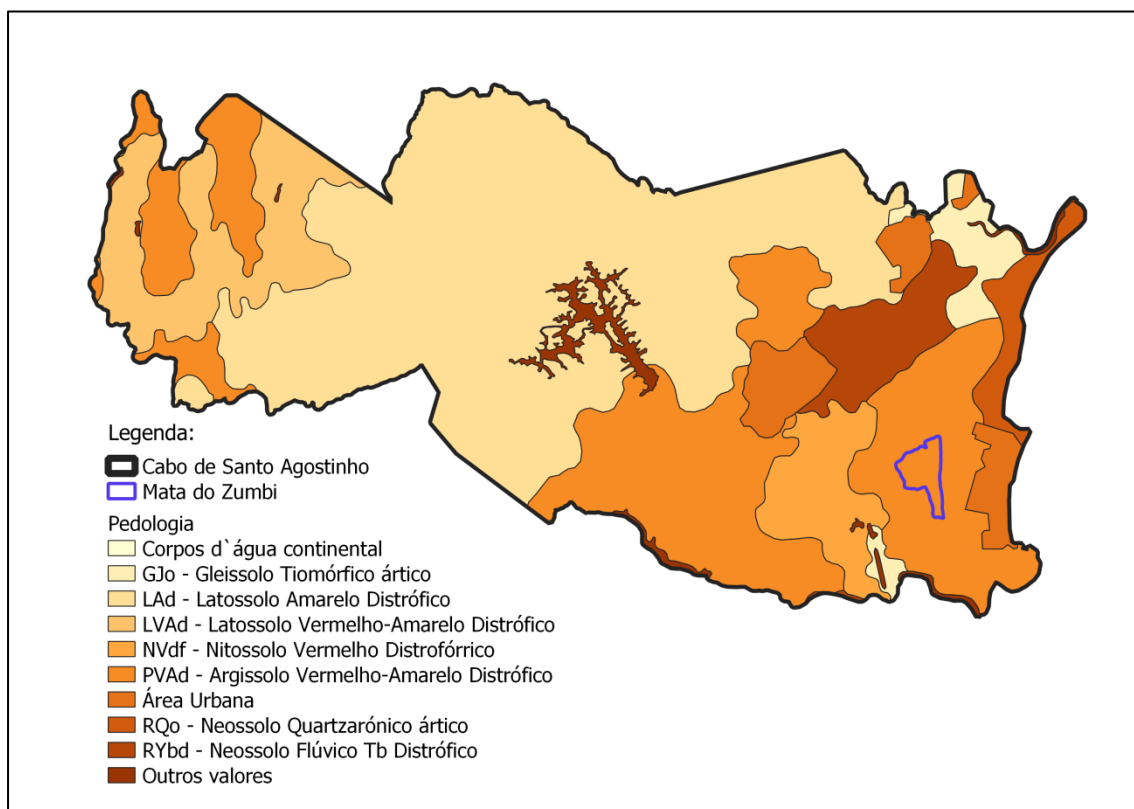
Fonte: Adaptado pelo autor (2021)

4.1.3. Solo

Segundo a Embrapa (2018), os Argissolos fazem parte do grupamento de solos com B textural, apresentando argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que associada com saturação por bases baixa ou caráter alumínico.

A classe de solo predominantemente encontrada na localidade (Figura 16) é Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico com horizonte superficial A moderado, textura média/argilosa a argilosa, com predominância de revelo ondulado a forte ondulado, drenagem desde imperfeita a bem drenada e CTC de baixa a alta (Bdia-IBGE, 2021c).

Figura 16. Tipo de solo na Unidade de Conservação Mata do Zumbi

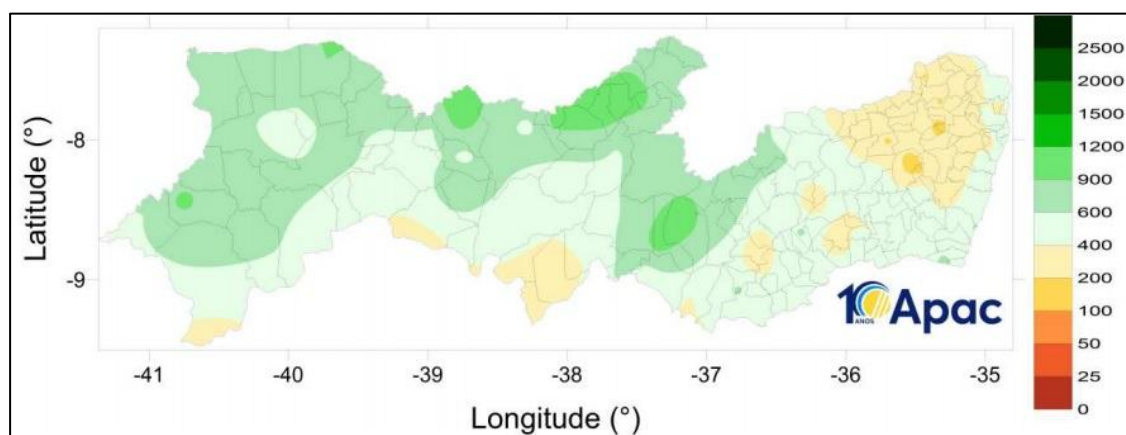


Fonte: Adaptado pelo autor (2021)

4.1.4. Clima

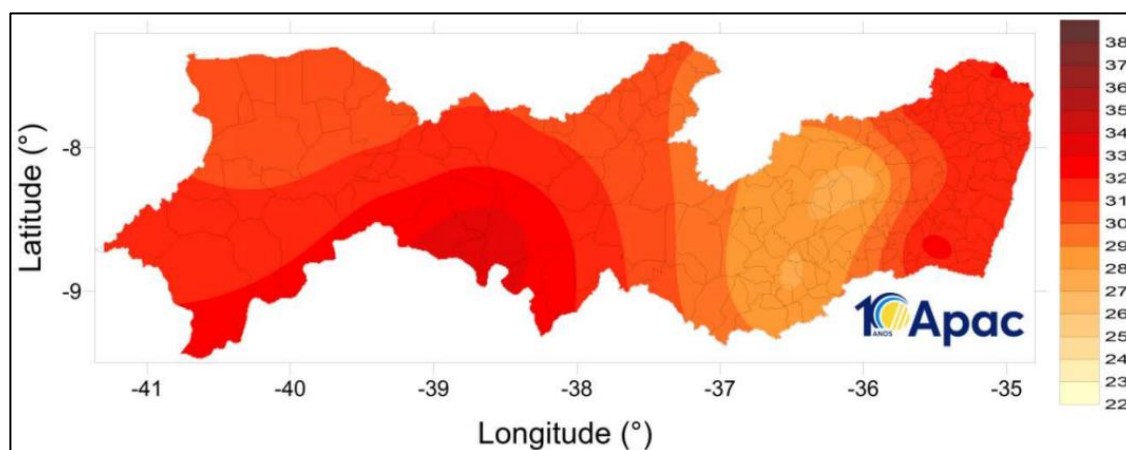
Catalogado como clima As' (pseudo tropical) na classificação de Koeppen, a área em estudo tem clima tropical úmido com chuvas antecipadas no outono, mas são relativamente distribuídas ao longo do ano e que já registraram médias de 2.106 mm (PERNAMBUCO, 2001). Segundo dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima - Apac (2020), de janeiro a abril de 2020, a região onde está inserido o Parque Estadual Mata do Zumbi apresentou o volume de precipitação entre 400 e 600 mm (Figura 17) e uma temperatura máxima entre 32 e 33° C no mês de abril de 2020 (Figura 18).

Figura 17. Registro da precipitação entre os meses de janeiro e abril 2020



Fonte: Apac (2020)

Figura 18. Registro da temperatura máxima no mês de abril 2020

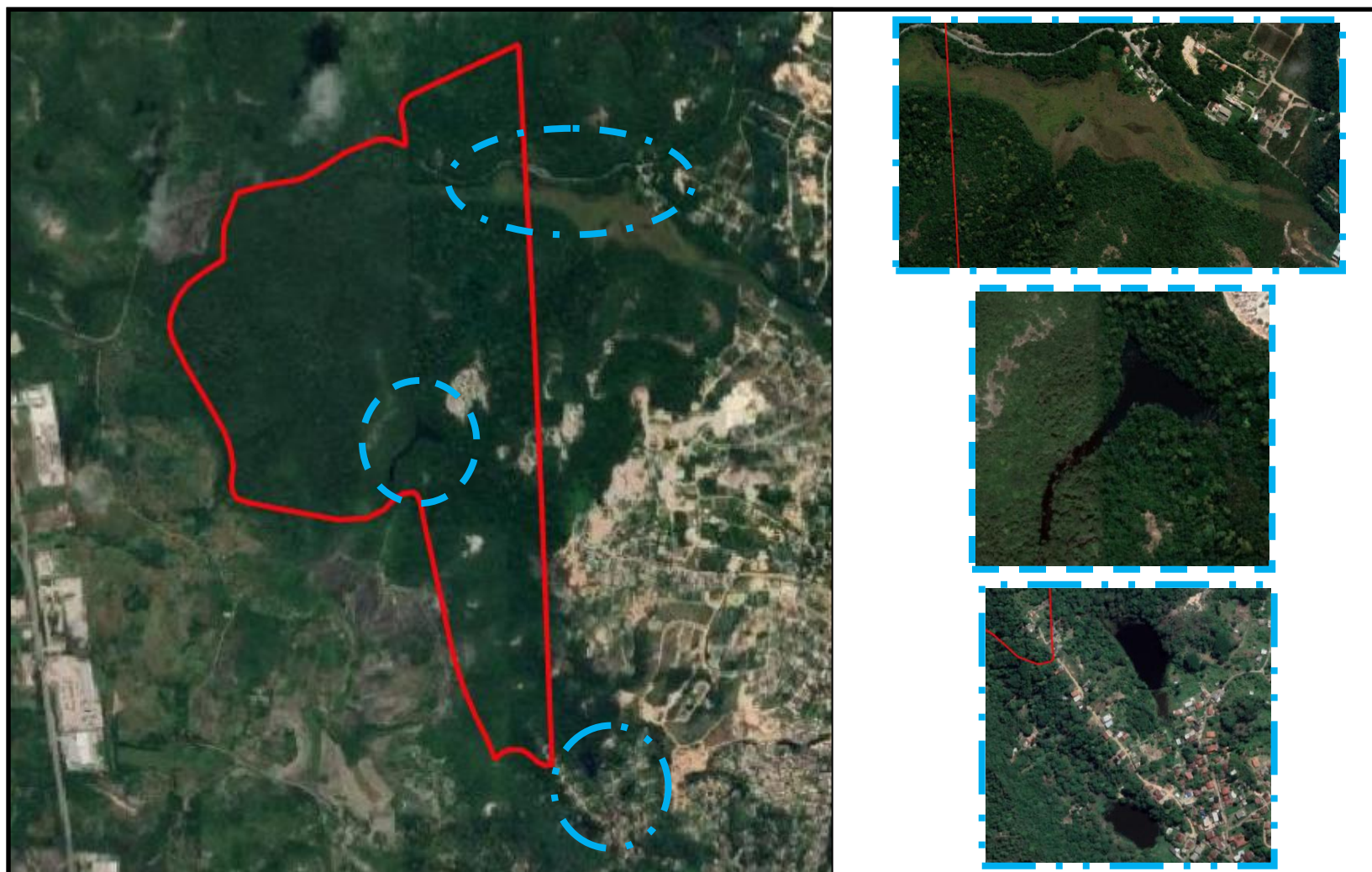


Fonte: Apac (2020)

4.1.5. Hidrografia

A microbacia do Zumbi é constituída por três lagoas e dois pequenos córregos (Figura 19) que drenam parte da água acumulada das várzeas intermamelonares e da lagoa homônima (FIDEM, 1988 apud SIQUEIRA, 1977). Segundo o estudo de Freitas Neto (2017), a Mata do Zumbi está inserida na bacia dos pequenos rios litorâneos (GL2), sendo constituídos por dois arroios permanentes que ao se confluírem são chamados de riacho Zumbi, na região externa da Unidade de Conservação. Os estudos de Cunha (2015) mostram que essa área de natural possui dois açudes, o primeiro fica ao norte que abastece o riacho dos Arrombados, onde passa por pressões antrópicas consideráveis e o segundo mais ao sul alimentado pelos corpos hídricos do GL2.

Figura 19. Córregos e lagos no interior e no entorno da Mata do Zumbi



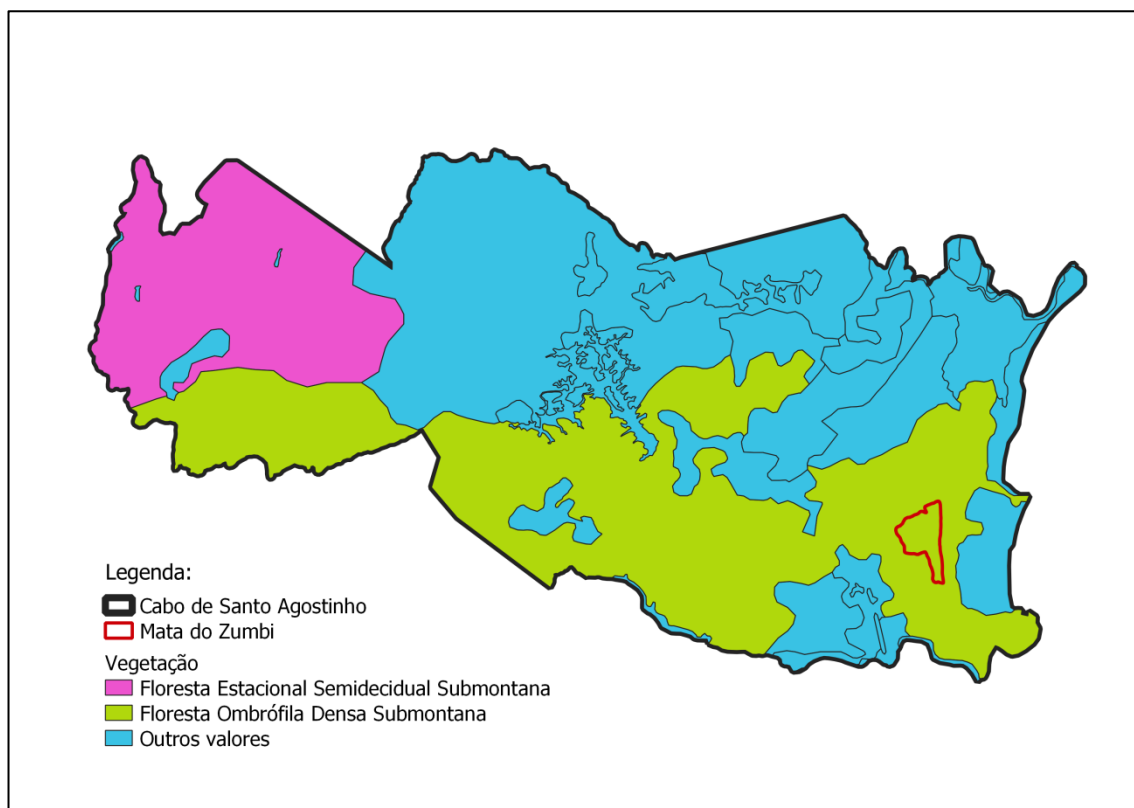
Fonte: Autor (2022)

4.1.6. Vegetação

O Parque Estadual Mata do Zumbi está inserido na vegetação de remanescente de Mata Atlântica (Figura 20) categorizada como floresta ombrofila densa de terras baixas (Bdia-IBGE, 2021d). Esse tipo de vegetação ocupa normalmente as planícies costeiras e capeadas por tabuleiros pliopleistocênicos do Grupo Barreiras que apresentam uma flora própria: ecótipos dos gêneros *Ficus*, *Alchornea*, *Handroanthus* e pela *ochlospécie* *Tapirira guianensis* Aubl (IBGE, 2012).

Siqueira (1997) realizou um estudo dentro da Mata do Zumbi com coletas e catalogação de 119 espécies pertencentes a 81 gêneros de 43 famílias incluindo um táxon desconhecido. As famílias mais representativas foram: Myrtaceae (com 13 espécies), Sapotaceae (9), Mimosaceae (8), Annonaceae e Melastomataceae (6), Clusiaceae e Euphorbiaceae (5), Burseraceae (4), Apocynaceae, Moraceae e Papilionaceae (3), sendo que as outras 28 famílias coletadas foram representadas por uma ou duas espécies (SIQUEIRA, 1997).

Figura 20. Tipo de vegetação na Unidade de Conservação Mata do Zumbi

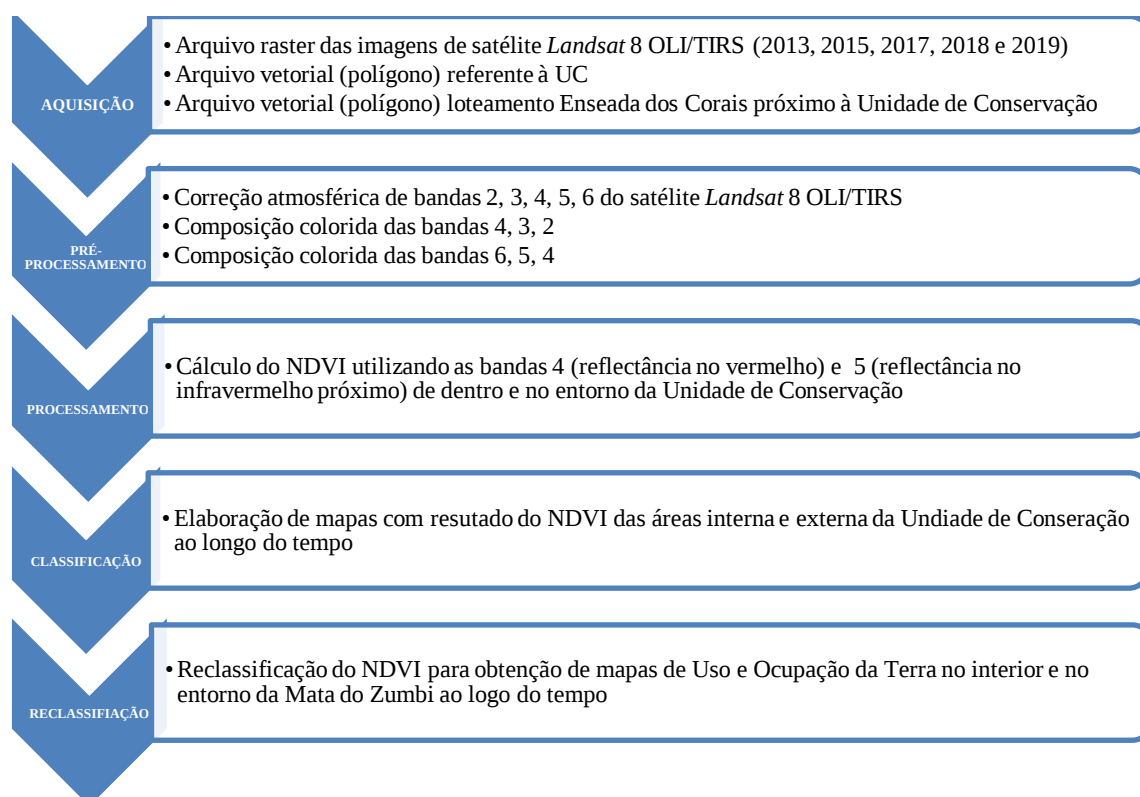


Fonte: Adaptado pelo autor (2021)

4.2. PROCESSAMENTO DE DADOS ORBITAIS

Para aprimorar as ações de fiscalização em áreas verdes no município do Cabo de Santo Agostinho, tendo como estudo de caso a evolução das ações antrópicas dentro e no entorno da Unidade de Conservação Mata do Zumbi, utilizando ferramentas de geoprocessamento, é fundamental a obtenção e a organização de dados de sensores orbitais (imagens de satélite), assim como de outros dados ambientais dispostos em arquivos digitais de mapeamento temático. A metodologia proposta aplicada foi direcionada pelo seguinte fluxograma (Quadro 8).

Quadro 8. Obtenção e processamento de dados da UC Mata do Zumbi



Fonte: Autor (2021)

4.2.1. Aquisição

Foram adquiridas imagens *raster* da área de estudo por meio do satélite *Landsat 8 OLI/TIRS* level 1 entre os anos de 2013 a 2019. O critério para a escolha das cenas se baseou na ausência de nuvens sobre a área de estudo. Essas imagens foram obtidas pelo sítio do Serviço Geológico Americano (USGS - *United States Geological Survey*) de forma gratuita.

Os dados da camada vetorial *shapefile* do limite espacial da Unidade de Conservação Mata do Zumbi foram obtidos na página eletrônica do Sistema de

Informações Geoambientais de Pernambuco (SIG Caburé) que é uma plataforma pertencente ao domínio da CPRH.

As informações da camada vetorial *shapefile* do loteamento Enseada dos Corais foram disponibilizadas pela equipe de topografia do gabinete da Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente do Cabo de Santo Agostinho.

4.2.2. Pré-processamento

Após a aquisição das cenas da série do satélite Landsat 8 OLI/TIRS level 1 e dos arquivos vetoriais de delimitação da UC e da área do loteamento Enseada dos Corais, iniciou-se a etapa de pré-processamento das imagens de satélite com a utilização do *software* gratuito QGIS versão 3.16 Hannover que exige um computador possuindo 4GB de memória RAM e pelo menos 5GB livre de armazenamento interno no HD ou SSD como requisitos mínimos para o processamento de dados.

Foram extraídas todas as bandas e os parâmetros atmosféricos e características do sensor no instante da tirada da foto da cena do arquivo compactado das imagens do Landsat 8 OLI/TIRS. No QGIS foi utilizado o *Semi-Automatic Classification Plugin* desenvolvido por Congedo (2016) para a correção atmosférica, pois essas imagens são brutas, estão em número digital (DN) e se encontram com interferência da atmosfera. Chavez (1996) idealizou o método Subtração de Objeto Escuro (DOS1).

No *Semi-Automatic Classification Plugin* foi acionada a aba *Preprocessing* depois o item *Landsat*. Em seguida foram inseridas as bandas e os parâmetros da cena em formato MTL selecionando o comando DOS1 e depois foi executado o *plugin*.

No pré-processamento foram inseridas as bandas 2, 3, 4, 5, 6 já corrigidas por meio do menu “camada” na barra de ferramentas, na opção adicionar camada – raster. Como essas bandas estão com o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) EPSG: 3625 – WGS 84 / UTM zone 25 N, foi necessário fazer a reprojeção das coordenadas dessas imagens para o sistema EPSG: 31985 – SIRGAS 2000 / UTM zone 25S por meio do menu “raster” da barra de ferramentas, na opção projeções - reprojetar coordenadas.

Em relação à visualização da coloração natural de cada cena, segundo Butler (2013), foram manipuladas as bandas 4, 3, 2. No QGIS foram utilizados os comandos do menu “raster” da barra de ferramentas, na opção miscelânea - composição de raster visual. Para a visualização da coloração das imagens com ênfase na vegetação, segundo Butler (2013), foram utilizadas as bandas 6, 5, 4. No *software* os comandos foram realizados pelo menu “raster” da barra de ferramentas, na opção miscelânea -

composição de raster virtual.

Foram adicionadas as camadas dos vetores da Unidade de Conservação Mata do Zumbi e do Loteamento Enseada dos Corais por meio do menu “camada” da barra de ferramentas, na opção adicionar camada – vetor.

A última etapa do pré-processamento de dados consistiu na definição de um *buffer* no entorno da UC Mata do Zumbi com uma distância de 500 m por meio da ferramenta “vetor”, na opção geoprocessamento – *buffer*.

4.2.3. Processamento

Para aplicação da fórmula do cálculo de índice radiométrico do NDVI foram utilizadas as bandas 4 (reflectância no vermelho) e 5 (reflectância no infravermelho próximo), de toda a cena, por meio do menu “raster” da barra de ferramentas, na opção calculadora raster, inserindo a seguinte equação: $NDVI = (banda\ 5 - banda\ 4) / (banda\ 5 + banda\ 4)$. Como o resultado desse processamento apresentou tons de cinza, foi realizado a renderização para banda simples falsa-cor e em relação à configuração de valor min/máx foi utilizada a opção cumulativa corte de contagem 2,0 - 98,0% e com modo intervalo igual em 4 classes. Todos esses procedimentos foram processados nas propriedades de camadas, na opção simbologia.

O passo seguinte do processamento foi a extração do resultado do NDVI para as áreas dos vetores da Unidade de Conservação Mata do Zumbi e do entorno desta UC por meio do menu “raster”, na opção extrair – recortar raster pela camada da máscara.

4.2.4. Classificação

Os dados do NDVI no interior da Unidade de Conservação Mata do Zumbi e do entorno (*buffer*) desta UC foram classificados em 4 classes, de acordo com a escala de cores que varia de vermelho ao verde escuro apresentando valores que vão do -1 a 1 sendo produzidos mapas do NDVI do interior e do entorno da Unidade de Conservação em diferentes períodos de tempo.

4.2.5. Reclassificação

Após a execução do NDVI nas cenas de 2013, 2015, 2017, 2018, 2019, foi realizada a reclassificação supervisionada desse índice, por intermédio da ferramenta *r.recode* do QGIS 3.16 com Grass, para a criação de mapas temáticos de Uso e Ocupação da Terra com as seguintes classes, baseadas no estudo apresentado por Alvarenga e Moraes (2014) e em algumas visitas *in loco*: **i)** Solo exposto/água, **ii)**

Vegetação rasteira, **iii)** Vegetação arbustiva, **iv)** Transição vegetação arbustiva-arbórea e **v)** Vegetação arbórea.

Para realizar a reclassificação é preciso acionar o menu processar no QGIS, clicar em caixa de ferramentas e digitar *r.recorde* e clicar neste comando. Logo em seguida, inserir o arquivo *raster* do NDVI na seção *Input layer* e depois inserir o arquivo txt contendo os intervalos dos dados do NDVI representado as classes de Uso e Ocupação da Terra, como os obtidos no interior e no entorno da Mata do Zumbi na cena 12/07/2013 (Tabelas 5a e 5b) na seção *File containing recode rules*. Na sequência, salvar o *raster* reclassificado no computador e por fim executar.

Tabela 5a. Dados para criação de mapa de Uso e Ocupação da Terra interior UC 2013

NDVI interior da UC	Classes Uso e Ocupação da Terra	Intervalos para <i>r.recorde</i>
-1.00 a 0.51	1 – Solo exposto/água	-1.00:0.51:1
0.51 a 0.61	2 – Vegetação rasteira	0.51:0.61:2
0.61 a 0.71	3 – Vegetação arbustiva	0.61:0.71:3
0.71 a 0.81	4 – Transição vegetação arbustiva-arbórea	0.71:0.81:4
0.81 a 1.00	5 – Vegetação arbórea	0.81:1.00:5

Fonte: Autor (2022)

Tabela 5b. Dados para criação de mapa de Uso e Ocupação da Terra entorno UC 2013

NDVI entorno da UC	Classes Uso e Ocupação da Terra	Intervalos para <i>r.recorde</i>
-1.00 a 0.45	1 – Solo exposto/água	-1.00:0.45:1
0.45 a 0.57	2 – Vegetação rasteira	0.45:0.57:2
0.57 a 0.69	3 – Vegetação arbustiva	0.57:0.69:3
0.69 a 0.82	4 – Transição vegetação arbustiva-arbórea	0.69:0.82:4
0.82 a 1.00	5 – Vegetação arbórea	0.82:1.00:5

Fonte: Autor (2022)

Com o arquivo *raster* de Uso e Ocupação da Terra criado, acessar as configurações deste *raster* e clicar na opção simbologia para fazer as devidas alterações. Colocar em paletizado/Valores únicos na opção tipo de renderização. Se aparecer vários intervalos, é preciso excluir, pois foram criadas 5 classes, e acionar o botão classifica. Esse processo foi executado em todas as cenas estudadas (2013, 2015, 2017, 2018 e 2019) tanto no interior quanto no entorno da UC Mata do Zumbi.

A descrição das tarefas do processo de monitoramento remoto na Unidade de Conservação Mata do Zumbi em relação à obtenção de dados do Índice de Vegetação

por Diferença Normalizada, assim como a classificação e os valores do Uso e Ocupação da Terra da UC, foi resumida, de forma simples e clara, por diagramas estabelecidos em um fluxograma de processo linear.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

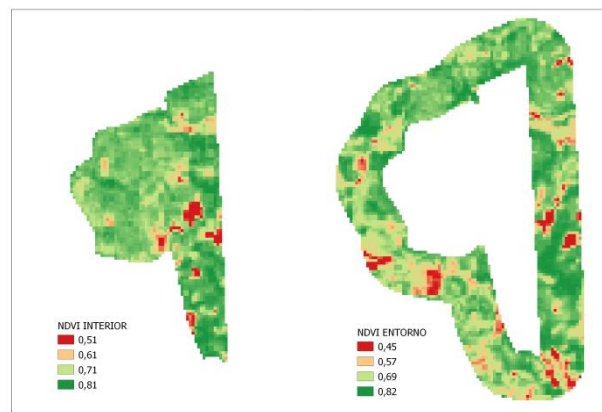
5.1. PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ORBITAIS

O resultado do processamento do NDVI no interior e no entorno da Unidade de Conservação Mata do Zumbi foram analisados nas seguintes datas: 12/07/2013; 31/05/2015; 13/02/2017; 23/05/2018; 18/11/2019. Os dados dessa linha temporal foram classificados em 4 classes, de acordo com a escala de cores que varia do vermelho ao verde escuro (Figuras 21a, 21b, 21c, 21d, 21e).

A representação dos valores mais próximos de 0 (zero) aponta o menor vigor de vegetação, e os números mais próximos de 1 (um), traduzem maior vigor de vegetação, respectivamente. Segundo Oliveira *et al.* (2012), os valores do Índice de Vegetação com Diferença Normalizada acima de 0,3 representam área de vegetação sadia.

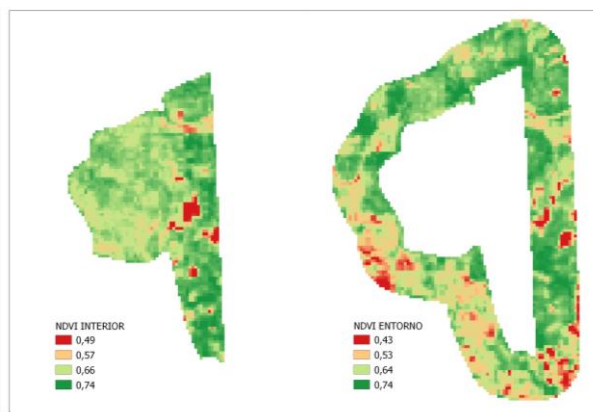
Os valores mínimos e máximos de NDVI tanto no interior UC quanto no entorno da mesma são mostrados na Tabela 6. A cena que registrou os menores valores mínimos do índice tanto no interior quanto no entorno da UC foi a de 13/02/2017 com 0,38 e 0,24, respectivamente. A imagem que apresentou maiores valores mínimos foi a de 12/07/2013 com 0,51 para o interior e 0,45 para o entorno. A cena que registrou os menores valores máximos foi a de 13/02/2017 com 0,66 para o interior e 0,64 para o entorno. Já a cena que apresentou o maior valor máximo de NDVI no interior da Mata do Zumbi foi a de 18/11/2019 com 0,82 e esse mesmo valor foi registrado como maior valor máximo no entorno da UC nas cenas de 12/07/2013, 23/05/2018 e 18/11/2019.

Figura 21a. Resultado NDVI 12/07/2013



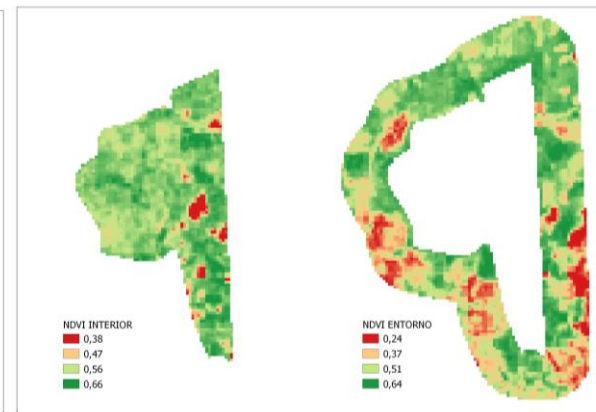
Fonte: Autor (2021)

Figura 21b. Resultado NDVI 31/05/2015



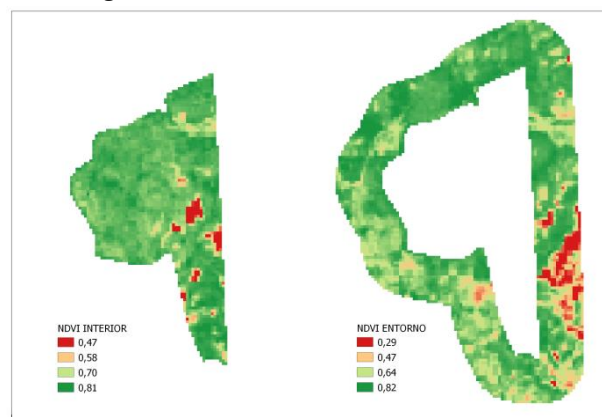
Fonte: Autor (2021)

Figura 21c. Resultado NDVI 13/02/2017



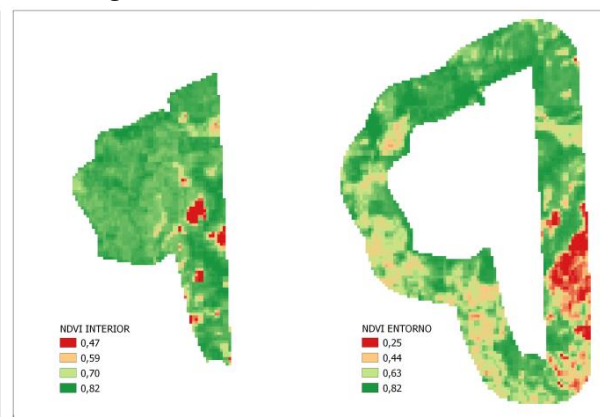
Fonte: Autor (2021)

Figura 21d. Resultado NDVI 25/08/2018



Fonte: Autor (2021)

Figura 21e. Resultado NDVI 18/11/2019



Fonte: Autor (2021)

Tabela 6. Valores do NDVI no interior e no entorno da UC Mata do Zumbi

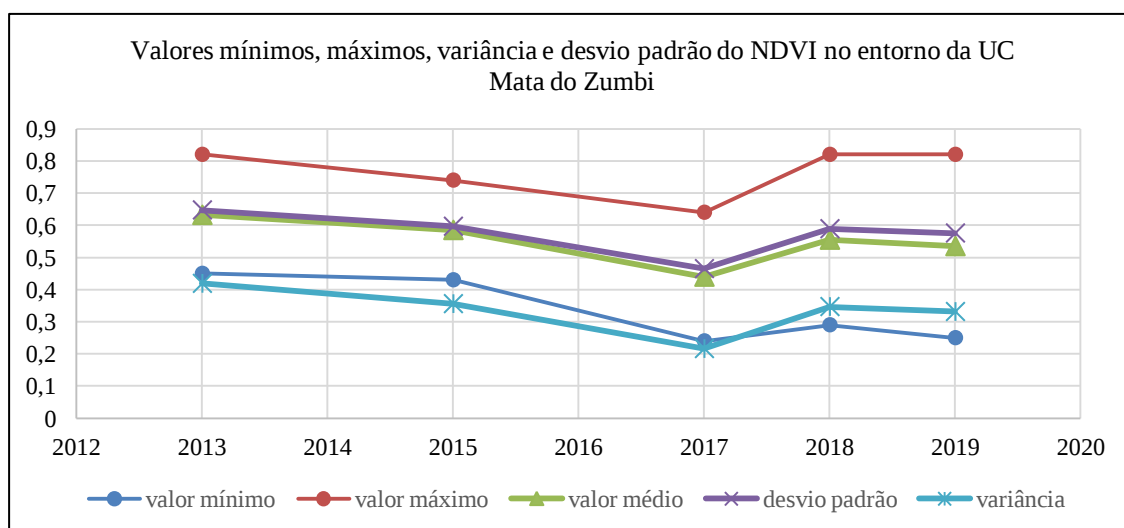
Período	Demarcação NDVI	Valor mín.	Valor máx.	Valor médio	Valor variância	Desvio padrão
12/07/2013	Interior UC	0,51	0,81	0,660	0,4481	0,6694
	Entorno UC	0,45	0,82	0,632	0,4189	0,6472
31/05/2015	Interior UC	0,49	0,74	0,615	0,3870	0,6220
	Entorno UC	0,43	0,74	0,585	0,3557	0,5964
13/02/2017	Interior UC	0,38	0,66	0,517	0,2786	0,5278
	Entorno UC	0,24	0,64	0,440	0,2160	0,4647
23/05/2018	Interior UC	0,47	0,81	0,640	0,4258	0,6552
	Entorno UC	0,29	0,82	0,555	0,3467	0,5888
18/11/2019	Interior UC	0,47	0,82	0,645	0,4328	0,6578
	Entorno UC	0,25	0,82	0,535	0,3313	0,5755

Fonte: Autor (2021)

Os dados do interior da Unidade de Conservação Mata do Zumbi mostram que desde a cena do ano de 2013 até a de 2017 houve redução dos valores de NDVI, no que traduz em redução de percentual de áreas verdes e no ano seguinte, cena de 2018, os valores aumentaram e permaneceram estáveis até a cena do ano de 2019.

Os dados do entorno dessa UC mostram que a cena do ano de 2013 até a cena do ano de 2017 também houve redução dos valores do NDVI e que a partir de então houve crescimento dos valores na cena do ano seguinte, 2018, e estabilização dos dados na cena do ano de 2019 (Gráfico 1).

Gráfico 1. Valores do NDVI no entorno da Unidade de Conservação



Fonte: Autor (2021)

Os valores mínimos do NDVI no entorno da UC foram encontrados com grande incidência na região sudoeste, próximos a alguns empreendimentos do Complexo Industrial Portuário de Suape e imóveis rurais (Figura 22), e na porção sudeste, região que faz fronteira com o loteamento Enseada dos Corais (Figura 23).

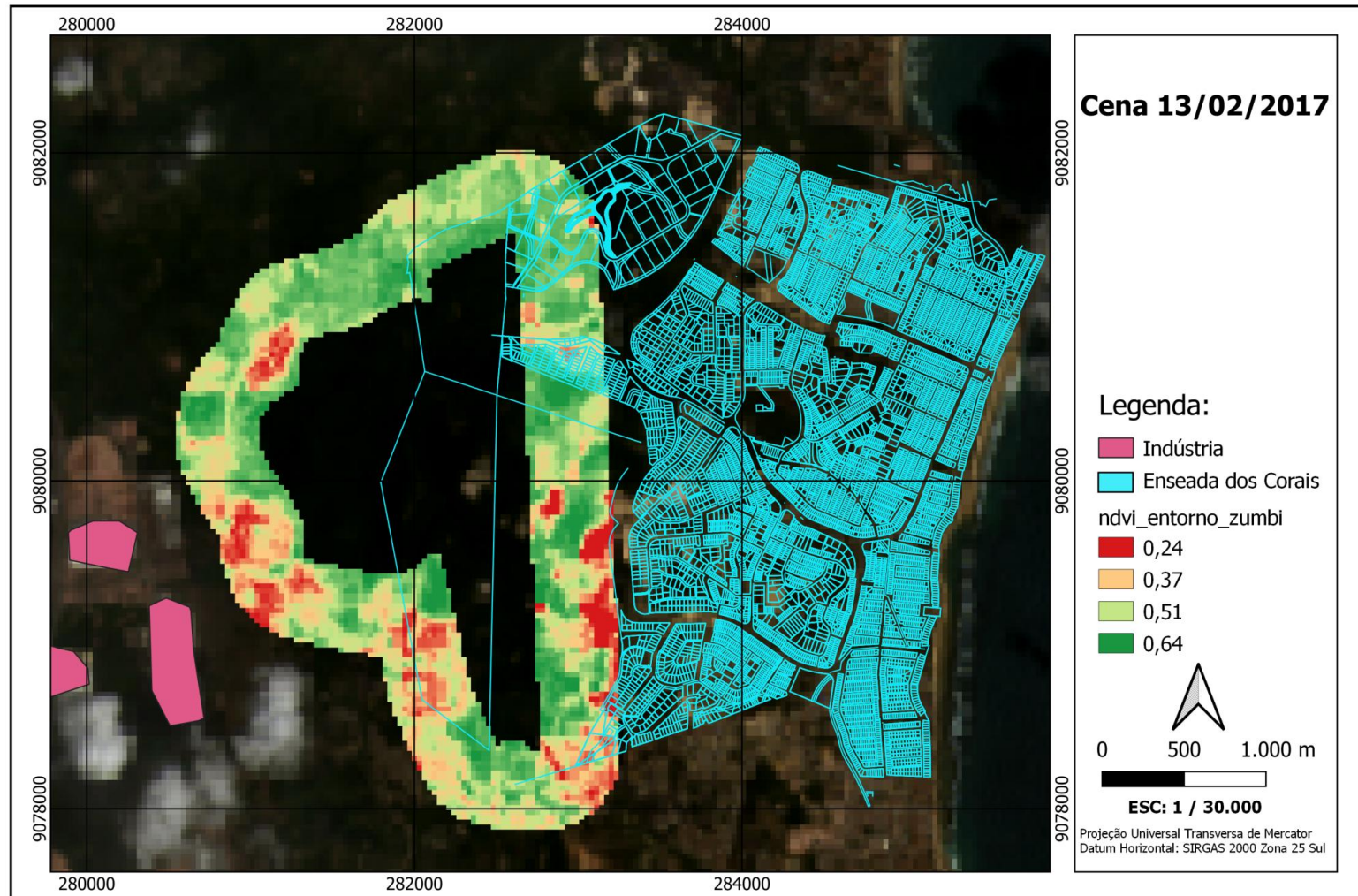
O estudo de Rosa *et al.* (2013) mostrou que a diferença do NDVI durante o ano pode ter relação com diversos dados de precipitação, efeitos na atmosfera, iluminação, sombras internas do dossel, além do dia escolhido para a manipulação da imagem.

As contaminações, como nuvens e condições atmosféricas, segundo Htitiou *et al.* (2020), podem aumentar a descontinuidade e a fragmentação de dados de observação de imagens remotas, tornando sua utilização seriamente limitada, o que pode geralmente tornar difícil a geração de séries temporais confiáveis de índices de vegetação.

Outro ponto deficiente em relação à utilização do NDVI é o alto estado de saturação que pode surgir em áreas densamente com vegetação, sendo que a correção atmosférica só pode reduzir o impacto do erro nas cenas de sensoriamento de um espaço limitado (LIN, 2019). Os dados coletados por meio de medições do solo têm certo grau de subjetividade e diferentes pesquisadores obtiveram resultados diversos utilizando a mesma metodologia, o que impacta nas avaliações da adequação dos indicadores de monitoramento de sensoriamento remoto (YANG *et al.*, 2015).

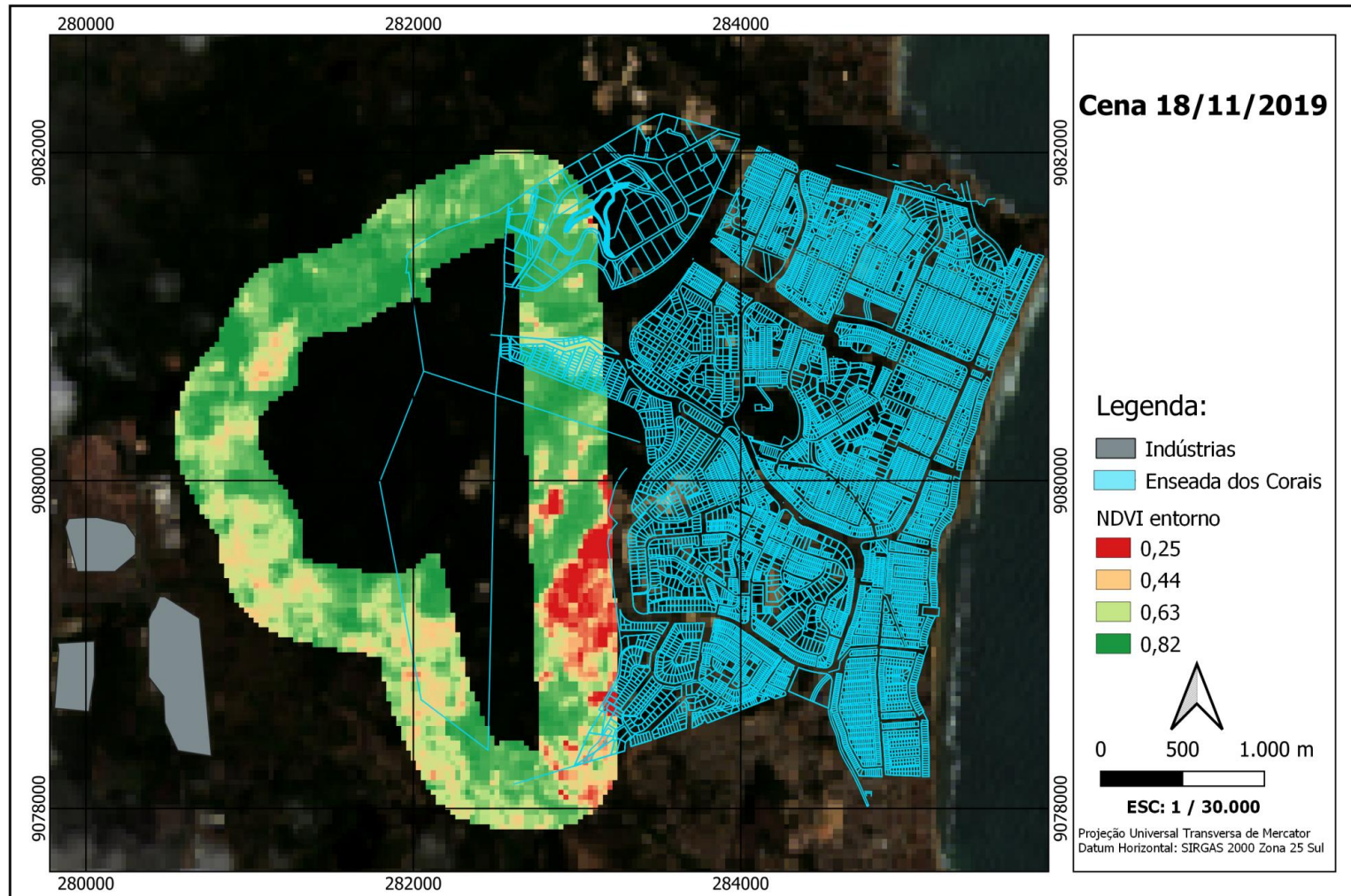
Mesmo com essas limitações, o NDVI é o índice de vegetação baseado em imagens de sensoriamento remoto amplamente mais utilizado e validado, de acordo com Robinson *et al.* (2019). Esse índice é usado para monitorar safras, atividades fotossintéticas da vegetação e propriedades biofísicas aproveitando sua alta correlação como índice de área foliar e as concentrações de clorofila foliar (HTITIOU *et al.*, 2020). Yang *et al.* (2015) informaram também esse índice como o principal método de monitoramento do crescimento de pastagens em grandes áreas e em tempo real a um custo menor.

Figura 22. Incidência de valores mínimos de NDVI na cena 13/02/2017



Fonte: Autor 2022

Figura 23. Incidência de valores mínimos de NDVI na cena 18/11/2019



Fonte: Autor (2022)

Muitos estudos relacionados ao monitoramento florestal remoto foram e são realizados utilizando-se imagens de satélite e com aplicação do NDVI como ferramenta de análise de dados ambientais.

Barbosa, Carvalho e Camacho (2017) analisaram e mapearam a distribuição da cobertura vegetal da Região Serrana de Martins e Portalegre (RN) por meio do satélite *RapidEye* e com uso do NDVI, tendo como resultado do estudo a zonação fitogeográfica ao longo dos gradientes altitudinais, sob a influência do clima, gradientes ambientais e pela incidência da umidade do solo em riachos e nascentes perenes, além disso, os dados da pesquisa revelaram a incidência de frutíferas permanentes e demais áreas antrópicas na superfície de todo tabular das serras.

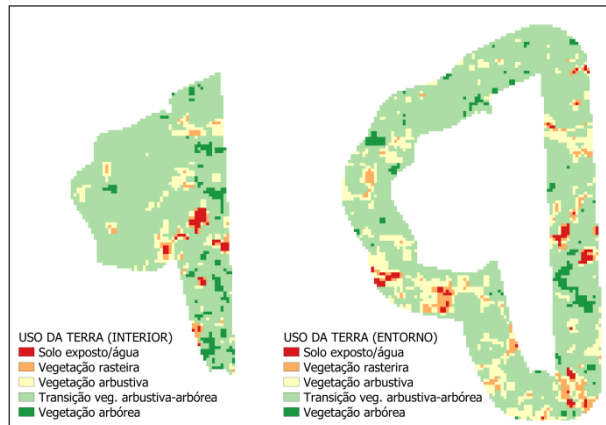
O estudo de Sothe *et al.* (2017) avaliou o desempenho de imagens dos satélites *Landsat-8* e *RapidEye* para a classificação do estágio sucessional da vegetação em fragmento de Floresta Ombrófila Mista, no Parque Nacional de São Joaquim-SC, aplicando três índices e um deles foi o NDVI.

Para realizar a análise comparativa de diferentes valores de NDVI da vegetação ripária de uma bacia hidrográfica no município de Maringá-PR, ao longo de 2015, Quesada *et al.* (2017) obtiveram imagens do satélite *Landsat-8*, processaram os dados e chegaram a conclusão de que nas áreas mais próximas aos rios houve maiores valores de NDVI, o que pode estar relacionado à disponibilidade de água e tamanho da flora.

O NDVI e outro índice de vegetação foram usados por pelo menos dez anos para acompanhar o crescimento do *Pinus elliottii*, em relação ao tempo de saturação desses indicadores vegetais, utilizando-se cenas do *Landsat-5* e do *Landsat-7*, no município de Santa Maria do Palmar-RS, e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada foi mais eficaz, levando mais tempo para saturar, identificando o padrão de crescimento da região florestada até os 18 anos de idade (KÄFER *et al.*, 2018).

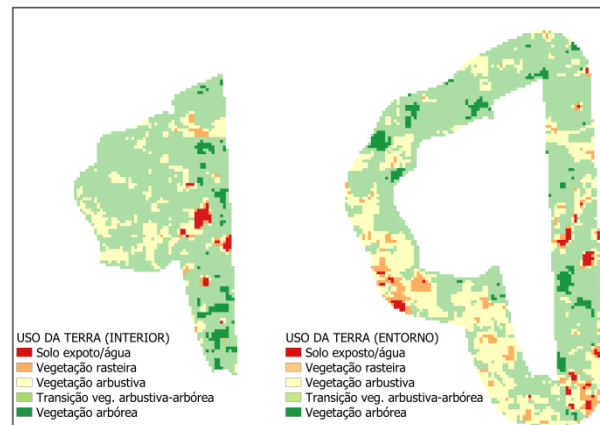
Com os resultados dos valores do NDVI no interior e no entorno da UC estudada foi possível reclassificar esses dados para a criação de mapas de Uso e Ocupação da Terra ao longo dos anos (Figura 24a, 24b, 24c, 24d, 24e). A tipologia das classes dos mapas se baseou no estudo de Alvarenga e Moraes (2014) e em visitas *in loco*. A relação das classes foi dividida pela seguinte escala de cores: **1**-Solo exposto/água representa pela cor vermelha; **2**-Vegetação rasteira representa a cor laranja; **3**-Vegetação arbustiva representa a cor amarela; **4**-Transição vegetação arbustiva-arbórea representa a cor verde claro; e **5**-Vegetação arbórea representa a cor verde escuro.

Figura 24a. Uso e Ocupação da Terra 2013



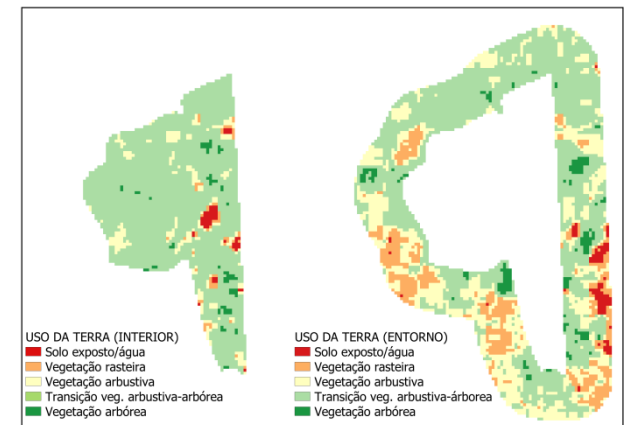
Fonte: Autor (2022)

Figura 24b. Uso e Ocupação da Terra 2015



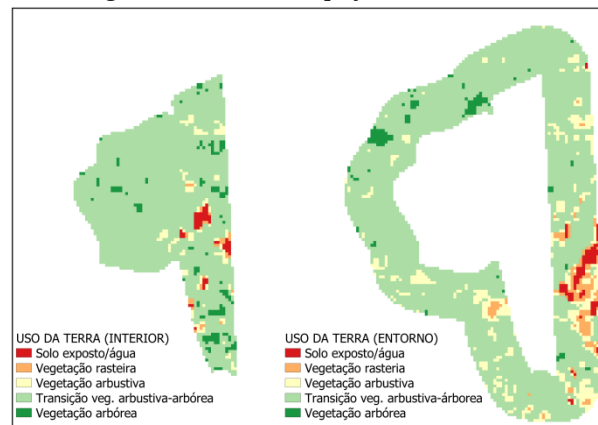
Fonte: Autor (2022)

Figura 24c. Uso e Ocupação da Terra 2017



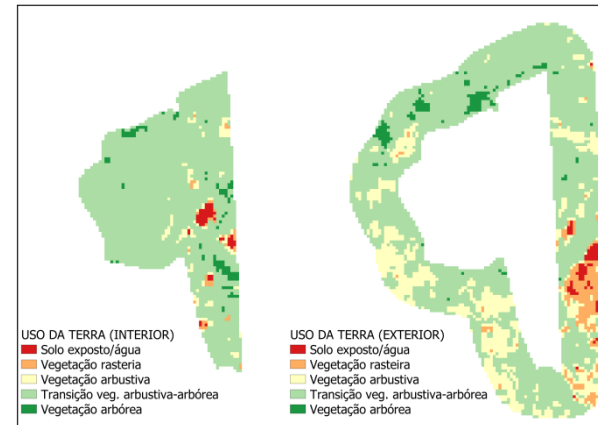
Fonte: Autor (2022)

Figura 24d. Uso e Ocupação da Terra 2018



Fonte: Autor (2022)

Figura 24e. Uso e Ocupação da Terra 2019



Fonte: Autor (2022)

Com a elaboração dos mapas de Uso e Ocupação da Terra, foi possível calcular as áreas, em hectares, de cada classe tanto no interior quanto no entorno da Unidade de Conservação Mata do Zumbi (Tabelas 7a e 7b).

Tabela 7a. Áreas nas classes de Uso e Ocupação da Terra no interior da UC

Classes no interior	2013		2015		2017		2018		2019	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
1	5,76	2,00	5,49	1,90	5,31	1,84	5,31	1,84	4,95	1,71
2	8,10	2,81	5,13	1,78	6,21	2,15	3,33	1,15	4,32	1,49
3	26,64	9,24	46,62	16,16	24,93	8,64	13,14	4,56	12,24	4,24
4	231,21	80,16	217,08	75,26	245,34	85,05	252,99	87,71	257,58	89,29
5	16,74	5,80	14,13	4,90	6,66	2,31	13,68	4,74	9,36	3,24
Total	288,45	100,00	288,45	100,00	288,45	100,00	288,45	100,00	288,45	100,00

Fonte: Autor 2022

Tabela 7b. Áreas nas classes de Uso e Ocupação da Terra no entorno da UC

Classes no entorno	2013		2015		2017		2018		2019	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
1	9,54	1,93	9,00	1,82	9,54	1,93	9,27	1,88	8,91	1,80
2	23,04	4,66	28,62	5,79	64,26	13,00	17,64	3,57	29,34	5,93
3	86,58	17,52	143,82	29,10	140,04	28,33	55,26	11,18	105,57	21,35
4	357,57	72,34	292,14	59,10	263,34	53,28	400,50	81,03	337,32	68,24
5	17,55	3,55	20,70	4,19	17,10	3,46	11,61	2,35	13,14	2,65
Total	494,28	100,00	494,28	100,00	494,28	100,00	494,28	100,00	494,28	100,00

Fonte: Autor 2022

Os dados mostram que no interior da UC entre 2013 e 2019 houve reduções nas áreas das seguintes classes: Solo exposto/água (redução de 14,95%); Vegetação rasteira (decréscimo de 46,66%), Vegetação arbustiva (redução de 54,05%) e Vegetação arbórea (decréscimo de 44,08%), mas nesse mesmo período houve aumento de 11,40% na classe Transição vegetação arbustiva-arbórea.

No entorno da Unidade de Conservação, os dados mostram que entre 2013 e 2019 houve reduções de áreas nas seguintes classes: Solo exposto/água com redução de 6,60%; Transição vegetação arbustiva-arbórea com decréscimo de 5,66%; e Vegetação arbórea com redução de 25,12%, mas nesse mesmo período houve aumento de área nas classes Vegetação rasteira (27,34%) e Vegetação arbustiva (21,93%).

A hipótese de que há ações antrópicas, com avanço de desmatamento e de ocupações clandestinas de imóveis ao longo dos anos, na porção sudeste da Unidade de Conservação Mata do Zumbi se confirmou durante algumas ações realizadas por diversas instituições públicas.

Nos dias 23 e 24 de setembro de 2019, o Ministério Público de Pernambuco (MPPE) coordenou uma ação integrada na Mata do Zumbi chamada Operação Mata Atlântica de Pé 2019. Mesmo com o protesto da comunidade instalada no entorno da Unidade de Conservação, foram demolidas 20 construções irregulares (Figura 26), 9 construções foram embargadas, além do lavramento 12 autuações com o valor de mais de R\$ 55 mil em multas.

A operação contou com a participação do MPPE; da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Semas); da CPRH; do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA); da Secretaria de Defesa Social (SDS) por meio da Delegacia de Polícia do Meio Ambiente (Depoma) e da Companhia Independente de Policiamento do Meio Ambiente (Cipoma); da Prefeitura Municipal do Cabo de Santo Agostinho; e do Complexo Portuário de Suape (MPPE, 2019).

Vale ressaltar que dentro do programa UC-Pernambuco, instituído pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade, tendo a consultoria da Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP/OS), a Unidade de Conservação Mata do Zumbi foi inserida na elaboração de estudos ambientais e instrumentos de inovação para a gestão ambiental e conservação da biodiversidade em Unidades de Conservação (SEMAS, 2021a).

Figura 26. Ação no entorno da UC nos dias 23 e 24 de setembro de 2019



Fonte: Autor (2019)

Vale ressaltar que foi lançado em 28 de abril de 2021, o programa UC-Pernambuco que vai contemplar 47 Unidades de Conservação distribuídas em 32 municípios do litoral ao sertão do estado. O objetivo dessa iniciativa é elaborar estudos e proposições tendo como resultado 4 produtos principais: i) elaboração de diagnósticos socioambientais participativos; ii) indicação de conselhos gestores consultivos; iii) construção de Planos de Manejo participativos; iv) monitoramento de fragmentos florestais e proposição de corredores ecológicos (SEMAS, 2021a).

Neste programa as 47 Unidades de Conservação foram reunidas em 12 agrupamentos. A distribuição desses espaços naturais em blocos levou em consideração os seguintes parâmetros: proximidade geográfica das áreas naturais; visão territorial para a sustentabilidade, semelhança de características ambientais e ecossistêmicas; coincidências de atores sociais; problemáticas comuns; potencialidades compartilhadas; otimização das estratégias de gestão socioambientais (SEMAS, 2021a).

O Parque Estadual Mata do Zumbi faz parte do grupo 8 denominado Agrupamento Suape. Outras três Unidades de Conservação estão inseridas nesse agrupamento: a Área de Relevante Interesse Ecológico Ipojuca Merepe; a Floresta Urbana Camaçari e o Parque Estadual Duas Lagoas. Todas essas Unidades de Conservação terão elaboração de diagnóstico e plano de manejo, criação de conselho gestor e monitoramento com proposição de corredores ecológicos (SEMAS, 2021b).

5.2. UTILIZAÇÃO DO NDVI COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO

5.2.1. Avaliação do grau de pressão antrópica

Inicialmente, para monitorar uma unidade de conservação, utilizando os resultados apresentados através do NDVI, é necessário conhecê-la, avaliando o grau de pressão antrópica sofrida ao longo dos últimos anos.

Devem ser pesquisadas informações detalhadas de fatores que contribuem para a antropização da UC estudada como proximidade de centros urbanos, oferta de madeira e/ou outro elemento que tenha valor econômico, etc. deve-se realizar consulta à Condepe-Fidem, CPRH, Embrapa, Prefeitura Municipal do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), IBGE, IBAMA, ICMBio, além de artigos, dissertações, teses e outros documentos que caracterizem a unidade de conservação monitorada.

A experiência de campo dos técnicos que atuam nos setores de controle urbano e meio ambiente do município cabense e o conhecimento das peculiaridades da área estudada também devem ser levados em consideração para avaliar a pressão antrópica sofrida pela Unidade de Conservação Mata do Zumbi

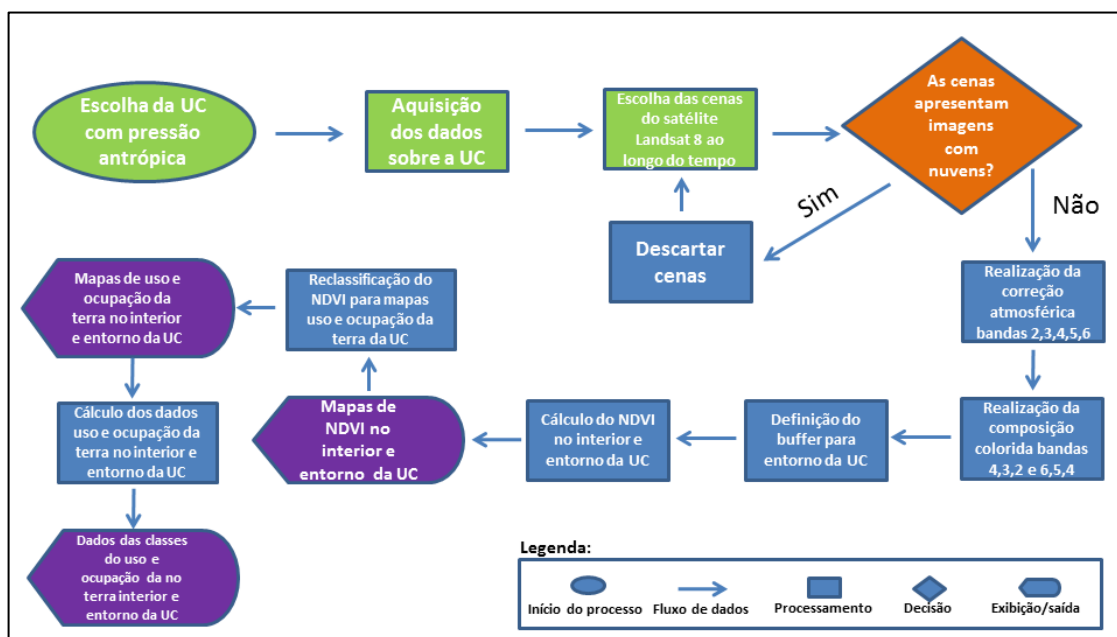
5.2.2. Definição temporal do monitoramento da UC

O critério para a escolha das 5 cenas (12/07/2013; 31/05/2015; 13/02/2017; 23/05/2018 e 18/11/2019), se baseou na baixa incidência de nuvens sob a área estudada, visto que essas nuvens dificultam a leitura e interpretação dos dados de sensoriamento remoto, prejudicando os resultados dos índices de vegetação. O satélite escolhido foi o Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*)/TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), o último da família Landsat. Este satélite disponibiliza imagens gratuitas a cada 16 dias. Contudo, partir desse intervalo de tempo, faz-se necessária a realização do monitoramento das demais Unidades de Conservação a cada 2 meses.

5.2.3. Fluxograma das etapas a serem seguidas

A representação gráfica que descreve os passos e etapas a serem seguidos pelos técnicos que devem realizar o monitoramento remoto em qualquer UC foi resumida em um fluxograma (Figura 25). O intuito desse procedimento visa melhorar a compreensão dos processos e como eles estão interligados, apresentar a rotina de trabalho, além de identificar impasses e/ou obstáculos que possam gerar retrabalhos.

Figura 25. Fluxograma metodológico simplificado



Fonte: Autor (2022)

Para o fluxograma acima, os campos em verde constituem procedimentos básicos (aquisição). Já o campo em laranja representa tomada de decisão. Os campos na cor azul indicam processamento. Os dados contidos nos campos roxos represam o resultado do processamento com mapas de NDVI e Uso e Ocupação da Terra no interior e no entorno, assim como dados das classes de Uso e Ocupação da Terra representado no último campo do fluxograma.

5.2.4. Viabilidade de execução

Para aperfeiçoar as ações de fiscalização de áreas verdes protegidas no município do Cabo de Santo Agostinho, que no momento só atendem denúncias sobre irregularidades feitas tanto pela sociedade, quanto por outros órgãos públicos, é fundamental que os setores de controle urbano e de meio ambiente desta prefeitura planejem e executem atividades de vistoria e monitoramento utilizando o NDVI.

É importante salientar que o trabalho baseado somente em denúncias de irregularidades prejudica o planejamento e a sistematização de ações de rotina e prevenção de desmatamento, ocupações irregulares e clandestinas no município devido à falta de metodologias eficientes e eficazes que possam ser executadas ao longo das sucessivas gestões municipais.

Com os dados estruturados pela administração pública municipal, é possível planejar ações integradas de enfrentamento ao desmatamento florestal, além de inibir o

processo de ocupações clandestinas e irregulares em Unidades de Conservação inseridas no Cabo de Santo Agostinho, contribuindo de maneira subsidiária, de acordo com a Lei Complementar nº 140, junto à CPRH, que é o órgão responsável pela fiscalização, monitoramento e autuação nesses espaços naturais protegidos.

O estudo de caso da utilização do NDVI no interior e no entorno da UC Mata do Zumbi se mostrou viável como ferramenta de monitoramento florestal remoto para Unidade de Conservação no município. A gestão municipal pode utilizar esse processo na rotina de trabalho dos setores de controle urbano e meio ambiente, pois a metodologia aplicada é simples, fácil e com baixo custo.

É preciso uma integração do monitoramento usando o sensoriamento remoto (NDVI) com um sistema SIG, instalado na gestão municipal, sobre uma base cartográfica adequada que permita ações efetivas dos fiscais da prefeitura. Como alguns servidores públicos da fiscalização urbanística e ambiental conhecem superficialmente temas sobre geoprocessamento e índices de vegetação, é importante capacitar a equipe para executar o monitoramento florestal remoto em outras UCs inseridas no município.

Para checar se há ou não diminuição de vegetação no interior e no entorno de Unidades de Conservação, é necessário a execução do procedimento de monitoramento florestal remoto a cada 2 meses.

6. CONCLUSÃO

Por meio da análise do Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI), utilizando-se imagens de satélite gratuitas, foi possível verificar que esse procedimento metodológico se mostrou adequado para a avaliação e constatação de supressão de vegetação no interior e no entorno da Unidade de Conservação Mata do Zumbi. Este resultado foi ratificado pela literatura para áreas de floresta, podendo ainda ser utilizado como base para pesquisas onde seja oportuno quantificar o percentual de áreas suprimidas e/ou degradadas na Mata do Zumbi ou em outras Unidades de Conservação, o que atesta o potencial de uso dessa ferramenta para a gestão e monitoramento florestal remoto por parte dos setores de fiscalização urbanística e ambiental de órgãos públicos, especialmente na esfera municipal.

O mapeamento realizado permitiu a caracterização das zonas onde há ausência e presença de vegetação em diversos estágios na Unidade de Conservação Mata do Zumbi ao longo do tempo. O estudo dos dados de sensoriamento remoto se torna mais efetivo, proporcionando confrontações em relação às mudanças da cobertura da vegetação de uma localidade.

A cena que registrou o menor valor mínimo do índice tanto no interior quanto no entorno da UC foi a de 13-02-2017 com 0,38 e 0,24, respectivamente. Já a cena que apresentou o maior valor máximo de NDVI no interior da Mata do Zumbi foi a de 18-11-2019 com 0,82 e esse mesmo valor foi registrado como maior valor máximo do índice no entorno nas cenas de 12-07-2013, 23-05-2018 e 18-11-2019.

Foi possível também mapear, contabilizar e comparar o percentual das classes das áreas de Uso e Ocupação da Terra no interior e no entorno da Mata do Zumbi ao longo do tempo. No interior da UC, entre 2013 e 2019, houve reduções no Solo exposto/água (redução de 14,95%); Vegetação rasteira (decréscimo de 46,66%), Vegetação arbustiva (redução de 54,05%) e Vegetação arbórea (decréscimo de 44,08%), mas nesse mesmo período houve aumento de 11,40% na classe Transição vegetação arbustiva-arbórea. No entorno da Unidade de Conservação, entre 2013 e 2019, houve reduções no Solo exposto/água com redução de 6,60%; na Transição vegetação arbustiva-arbórea com decréscimo de 5,66%; e na Vegetação arbórea com redução de 25,12%, mas nesse mesmo intervalo de tempo houve aumento na Vegetação rasteira (27,34%) e na Vegetação arbustiva (21,93%).

Contudo, para uma maior eficiência e acurácia em relação ao monitoramento florestal remoto tanto para coibir ações antrópicas quanto para realizar estudo de espécies da Mata Atlântica, se faz necessário a utilização de outros índices ambientais como Índice de Vegetação Reforçada (*Enhanced Vegetation Index* – EVI), Índice de Vegetação Ajustado do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI), Índice de Água por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Water Index* – NDWI), Índice de Área Foliar (IAF), entre outros.

O investimento de recursos financeiros também é importante para a fiscalização remota. Com esse aporte de capital é possível obter imagens de satélites pagas, pois essas cenas possuem maiores resoluções: espacial (melhor qualidade de representação da imagem), espectral (maior número de bandas) e temporal (maior capacidade de revisita do satélite), o que garante melhor representação das áreas estudadas. Outra forma de investimento é aquisição de equipamentos mais modernos como o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), conhecido popularmente por drone.

A principal contribuição deste trabalho corresponde a uma aplicação prática de uma ferramenta na gestão dos serviços de fiscalização territorial para a melhoria na qualidade de vida da sociedade, além de possibilitar que os órgãos públicos invistam em capacitação dos envolvidos não só do ponto de vista de uma formação técnica em sensoriamento remoto, mas também numa abordagem sobre os conflitos urbanísticos e ambientais no território municipal.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. **Boletim do clima: síntese climática**. Recife, v. 8, n. 4, 2020. 31 p.

ALVARENGA, A. S.; MORAES, M. F. Processamento digital de imagens LANDSAT – 8 para obtenção dos índices de vegetação NDVI e SAVI visando a caracterização da cobertura vegetal no município de Nova Lima – MG. 2014. Disponível em: <<https://mundogeo.com/2014/06/10/processamento-digital-de-imagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/>>. Acesso em: 30 jun. 2022.

BARBOSA, A. H. S.; CARVALHO, R. G.; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre – estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 33, p. 128-143. 2017.

BARROS, A. M. **O crescimento urbano formal e informal da cidade do cabo de santo agostinho/pe e a consolidação de uma questão habitacional**. 2004.195 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFPE, Recife, 2004.

BASTIAANSEN, W. Remote sensing in water resources management: the state of the art. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, SRI. 1998.

BEZERRA, U. A.; OLIVEIRA, L. M. M.; CANDEIAS, A. L. B.; SILVA, B. B.; LEITE, A. C. L.; SILVA, L. T. M. S. Comparativo do índice de vegetação de diferença normalizada (ndvi) entre os sensores oli - satélite landsat-8 e msi – satélite sentinel-2 em região semiárida. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 41, p. 167-177.

BDIA-IBGE. Geologia do Cabo de Santo Agostinho. 2021b. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geologia>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

_____. Geomorfologia do Cabo de Santo Agostinho. 2021a. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

_____. Pedologia do Cabo de Santo Agostinho. 2021c. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Acesso em 18 jun. 2021.

_____. Vegetação do Cabo de Santo Agostinho. 2021d. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>>. Acesso em 18 jun. 2021.

BRAGA, T. G. M.; SANTOS, J. U. M.; MACIEL, M. N. M.; PINHEIRO, P. F. V.; BEZERRA, P. E. S.; COSTA, L. R. R.; JUNIOR, O. M. S. A dinâmica de alterações ambientais com base nas transições, permanências e vulnerabilidades: o caso da bacia hidrográfica do rio moju, amazônia. **Interciencia**, v. 44, n. 3, p. 180-188. 2019.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 05 dez. 1988. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 03 set. 2018.

_____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF, 18 jul. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em: 14 out. 2019.

_____. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília, DF, 10 jul. 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 03 set. 2018.

_____. Lei Complementar nº 140, de 08 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília, DF, 10 dez. 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm>. Acesso em: 21 abr. 2022.

BUTLER, K. Band Combinations for Landsat 8. 2013. Disponível em: <<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/band-combinations-for-landsat-8/?rmedium=redirect&rsourc=blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/07/24/band-combinations-for-landsat-8>>. Acesso em: 04 ago. 2021.

CABO DE SANTO AGOSTINHO. Lei nº 1.520, de 18 de março de 1989. Cria a lei de código de obras do cabo. Cabo de Santo Agostinho, PE, 18 mar. 1989.

_____. Lei nº 1.521, de 18 de março de 1989. Cria o código de posturas do município do Cabo. Cabo de Santo Agostinho, PE, 18 mar. 1989. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pe/c/cabo-de-santo-agostinho/lei-ordinaria/1989/153/1521/lei-ordinaria-n-1521-1989-cria-o-codigo-de-postura-do-municipio-do-cabo>>. Acesso em: 09 nov. 2021.

_____. Lei nº 2.317, de 16 de janeiro de 2006. Institui o Fundo Municipal de Meio Ambiente - FMMA do Cabo de Santo Agostinho e dá outras providências. Cabo de Santo Agostinho, PE, 16 jan. 2006. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/pe/c/cabo-de-santo-agostinho/lei-ordinaria/2006/231/2317/lei-ordinaria-n-2317-2006-institui-o-fundo-municipal-de-meio-ambiente-fmma-do-cabo-de-santo-agostinho-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 09 nov. 2021.

_____. Lei nº 2.467, de 11 de dezembro de 2008. Dispõe sobre a reorganização da estrutura administrativa da prefeitura municipal do Cabo de Santo Agostinho, e dá outras providências. Cabo de Santo Agostinho, PE, 11 dez. 2008. Disponível em: <

<https://leismunicipais.com.br/a/pe/c/cabo-de-santo-agostinho/lei-ordinaria/2008/246/2467/lei-ordinaria-n-2467-2008-dispoe-sobre-a-reorganizacao-da-estrutura-administrativa-da-prefeitura-municipal-do-cabo-de-santo-agostinho-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 09 nov. 2021.

_____. Lei nº 2.513, de 30 de dezembro de 2009. Dispõe sobre a política ambiental de proteção, controle, conservação e recuperação do meio ambiente, revoga a lei nº 1975, de 03 de dezembro de 2001, e dá outras providências. Cabo de Santo Agostinho, PE, 30 dez. 2009. Disponível em: < <https://leismunicipais.com.br/a/pe/c/cabo-de-santo-agostinho/lei-ordinaria/2009/251/2513/lei-ordinaria-n-2513-2009-dispoe-sobre-a-politica-ambiental-de-protecao-controle-conservacao-e-recuperacao-do-meio-ambiente-revoga-a-lei-n-1975-de-03-de-dezembro-de-2001-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 09 nov. 2021.

_____. Lei nº 3.109, de 30 de dezembro de 2015. Dispõe sobre o parcelamento, uso e ocupação do solo urbano no âmbito do município do cabo de santo agostinho e dá outras providências. Cabo de Santo Agostinho, PE, 30 dez. 2015. Disponível em: < <https://leismunicipais.com.br/a/pe/c/cabo-de-santo-agostinho/lei-ordinaria/2015/311/3109/lei-ordinaria-n-3109-2015-dispoe-sobre-o-parcelamento-usa-e-ocupacao-do-solo-urbano-no-mbito-do-municipio-do-cabo-de-santo-agostinho-e-da-outras-providencias-2015-12-31-versao-original#:~:text=DISP%C3%95E%20SOBRE%20O%20PARCELAMENTO%2C%20USA,AGOSTINHO%20E%20D%C3%81%20OUTRAS%20PROVID%C3%84NCIAS.&text=Art.,-1%C2%BA%20Esta%20lei&text=VIII%20%2D%20QUADRO%20DE%20REQUISITOS%20DE%20ESTACIONAMENTO%20POR%20USOS%20E%20ATIVIDADES%20URBANA>>. Acesso em: 09 nov. 2021.

_____. Lei nº 3.343, 22 de dezembro de 2017. Institui a Política de Desenvolvimento Urbano e Ambiental e o Plano Diretor Participativo de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (Plano Diretor Joaquim Nabuco) do Município do Cabo de Santo Agostinho, tendo como horizonte temporal o ano 2026, quando deverá ser revisado, e dá outras providências. Cabo de Santo Agostinho, PE, 22 dez.2017. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pe/c/cabo-de-santo-agostinho/lei-ordinaria/2017/334/3343/lei-ordinaria-n-3343-2017-institui-a-politica-de-desenvolvimento-urbano-e-ambiental-e-o-plano-diretor-participativo-de-desenvolvimento-urbano-e-ambiental-plano-diretor-joaquim-nabuco-do-municipio-do-cabo-de-santo-agostinho-tendo-como-horizonte-temporal-o-ano-2026-quando-devera-ser-revisado-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 09 nov. 2021.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 2-6.

CAMARGO NETO, J. A. Combined Statistical—Soft Computing Approach for Classification and Mapping Weed Species in Minimum Tillage Systems. University of Nebraska, Lincoln. 2004.

CAMPOS, F. O paradigma da participação popular no planejamento urbano. In: PAGANI, E. A. (Org.). **Urbanismo, Planejamento Urbano e Direito Urbanístico**:

caminhos legais para cidades sustentáveis. Uberaba: Editora e Gráfica Cinecista Dr. José Ferreira, 2015. p. 81-89.

CARLOS, A. F. A. **A cidade.** 8ª ed. São Paulo: Contexto, 2009.

CASTRO, G. R. O surgimento das cidades. **Revista Interdisciplinar de Estudos Contemporâneos**, Nova Serrana, v. 1, ed. 7, p. 177-194, mai. 2018.

CAVALCANTE, Z. V. C.; SILVA, M. L. S. A importância da revolução industrial no mundo da tecnologia. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 7., 2011, Maringá. **Anais eletrônicos...** Maringá: CESUMAR, 2011. Disponível em: <
<https://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/6395#:~:text=Foi%20um%20acontecimento%20extremamente%20importante,a%20pre%C3%A7os%20muito%20mais%20ativos>>. Acesso em: 09 out. 2021.

CHAVAN, S. B.; REDDY, C. S.; RAO, S. S.; RAO, K. K. Assessing and predicting decadal forest cover changes and forest fragmentation in kinnerasani wildlife sanctuary, telengana, india. **Journal of the Indian Society os Remote Sensing**, v. 46, n. 5, p. 729-735. 2018.

CHAVEZ, P. S. J. Image-based atmospheric corretions – revised and improved. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 62, n. 9, p. 1025-1036. 1996.

CHO, M. A.; RAMOELO, A. Opitmal dates for assessing long-term changes in tree-cover in the semi-arid biomes of South Africa using MODIS NDVI time series. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 81, p.27. 2019.

CLARK D. O campo da geografia urbana. In: Introdução a geografia urbana. Tradução Lúcia Helena de Oliveira Gerandi e Silvana Maria Pintaudi. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. 2016. Disponível em: <<https://semiautomaticclassificationmanual-v4.readthedocs.io/en/latest/index.html>>. Acesso em: 04 ago. 2021.

COSTA, J. R.; COSTA, P. Urbanização: perspectivas e tendências. In: COSTA, J.R.; COSTA, P.; EIDT, J. S. S.; HAMMES, V. S. (Org.). **Cidades e comunidades sustentáveis: contribuições da Embrapa**. Brasília: Embrapa, 2018. p. 11-18.

COSTA, L. C. B.; GUASSELLI, L. A. Dinâmica sazonal de remanescentes da mata atlântica, a partir de séries temporais ndvi/modis. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n.30, p. 214-239. 2017.

COSTA, N. M. C.; COSTA, V. C.; VALIM, C. B.; SOUZA, A. C. C. C.; SALES, A. C. G. significado e importância da zona de amortecimento de unidades de conservação urbanas: o exemplo do entorno das áreas legalmente protegidas da cidade do rio de janeiro. **GEO UERJ**, v. 1, n. 17, p. 20. 2007.

CPRH. **Diagnóstico socioambiental litoral sul de Pernambuco - maio de 1999**. Recife, 2001. 89 p.

_____. Unidades de Conservação de Pernambuco. 2021. Disponível em: <<http://www2.cprh.pe.gov.br/fauna-e-flora/unidades-de-conservacao/>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 2002.

CUNHA, E. S.; NUNES, F. R. A. (2019). Mapeamento do crescimento da área urbana e área de plantio em Uruçuí com o uso de imagens do landsat 5 e 8. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 1, p. 1459-1466. 2019.

CUNHA, J. C. S. **Levantamento da coleopterofauna (Insecta) aquática em Unidades de Conservação da Floresta Atlântica, Pernambuco, Brasil**. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2015.

DAVIS, C.; CÂMARA, G. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 7-126.

DIEGUES, A. C. **O mito moderno da natureza intocada**. São Paulo: Nupaub/USP, 2008.

DINIZ, C. C. Dinâmica regional e ordenamento do território brasileiro: desafios e oportunidades. **Revista Catarinense de Economia**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 27. 2017.

DUARTE, M. C. S. O direito à cidade e o direito às cidades sustentáveis no Brasil: o direito à produção e fruição do espaço e o enfrentamento do déficit de implementação. **Revista FIDES**, v. 6, n. 1, jan./jun. 2015.

DUBE, T.; MUTANGA, O. Evaluating the utility of the medium-spatial resolution Landsat 8 multispectral sensor in quantifying aboveground biomass in uMgeni catchment, South Africa. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 101, p. 36-46. 2015.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina, PE, 1993. 89 p.

ESCADAFAL, R.; HUETE, A. 1991. Étude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, v. 312, p. 1385-1391. 1991.

FELIPE, I. História do Cabo. Recife. Arquivo Público, 1962. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=g5NoAAAAMAAJ&pg=PA46&hl=pt-BR&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 04 nov. 2021.

FERNANDES, E. Estatuto de Cidade, mais de 10 anos depois: razão de descrença, ou razão de otimismo? In: PAGANI, E. A (Org.). **Urbanismo, planejamento urbano e direito urbanístico 01: caminhos legais para a sustentabilidade**. Minas Gerais: OAB, 2015, p.47-64.

FERREIRA, M. L.; AGUIAR, A. O.; CORTESE, T. T. P.; KNISS, C. T.; QUARESMA, C. C.; PASCHOALIN FILHO, J. A. Cidades inteligentes e sustentáveis: problemas e desafios. In: BENINI, S. M.; ROSIN, J. A. R. G. (Org.). **Estudos urbanos uma abordagem interdisciplinar da cidade contemporânea**. Tupã: ANAP, 2015. cap. 5, p. 81-111.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto na agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FREITAS NETO, J. J. **Quantificação da produtividade primária bruta em Unidades de Conservação de Pernambuco**. 2018. 96 f. Dissertação. (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G.; SILVA, B. B.; NAUE, C. R. LAI Improved to Dry Forest in Semiarid of the Brazil. **International Journal of Remote Sensing Application**, v. 3, p. 193. 2013.

GAO, B. C. NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266. 1996.

GIOVANINI, A. Imagens de satélite de alta resolução gratuitas. Disponível em: <<https://adenilsongiovanini.com.br/blog/imagens-de-satelite-de-alta-resolucao-gratuitas/>>. Acesso em: 23 jun. 2022.

GITELSON, A.; KAUFMAN, Y.; MERZLYAK, M. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 289-298. 1996.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 76-87. 2002.

GONÇALVES, W. G.; RIBEIRO, H. M. C.; SÁ, J. A. S.; MORALES, G. P.; FERREIRA FILHO, H. R.; ALMEIDA, A. C. Classificação de estratos florestais utilizando redes neurais artificiais e dados de sensoriamento remoto. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, n. 3, jul./set. 2016.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. São Paulo: Editora Pearson, 2010.

GUERRERO, J. M.; PAJARES, G.; MONTALVO, M.; ROMEO, J.; GUIJARRO, M. Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields. **Expert Systems with Applications**, v. 39, p. 11149-11155. 2012.

HERNÁNDEZ, R. C.; BURGOS, A. P. G. Urbanización inclusiva y resiliente en asentamientos informales. Ejemplificación en Latinoamérica y Caribe. **Bitácora Urbano Territorial**, v. 30 n. 2, p. 61-74, may./ago. 2020.

HONDA, S. C. A. L.; VIEIRA, M. C.; ALBANO, M. P.; MARIA, Y. R. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **URBE- Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Paraná, v. 7, n. 1, p. 62-73, abr. 2015.

HTITIOU, A.; BOUDHAR, A.; LEBRINI, Y.; BENABDELOUAHAB, T. Deep learning-based reconstruction of spatiotemporally fused satellite images for smart agriculture applications in a heterogeneous agricultural region. In: International Conference on Smart City Applications, 5., 2020, Turkey. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Disponível em: <<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIV-4-W3-2020/249/2020/>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309. 1988.

HUNT, E. R.; DAUGHTRY, C. S. T.; EITEL, J. U. H.; LONG, D. S. Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1090-1099. 2011.

IBGE. Histórico do Cabo de Santo Agostinho. 2021b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/cabo-de-santo-agostinho/historico>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

_____. **Manual técnico da vegetação brasileira sistema fitogenético inventário de formações florestais e campestres e manejo de coleções botânicas**. Rio de Janeiro, 2012. 272 p.

_____. Panorama do Cabo de Santo Agostinho. 2021a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/cabo-de-santo-agostinho/panorama>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

ICMBio. Mapa temático das unidades de conservação federais. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/servicos/geoprocessamento/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

IOST FILHO, F. H.; NAKAI, E. S.; BARROS, P. P. S.; SILVA, C. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIORIO, P. R. Comparação de sensores hiperespectrais para análise do comportamento espectral de folhas de soja. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, p. 33563-33574, jun. 2020.

ISAÍAS, F. B. **A sustentabilidade da água: proposta de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas**. 2008. 169 f. Dissertação. (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

KATAOKA, T.; KANEKO, T.; OKAMOTO, H.; HATA, S. Crop growth estimation system using machine vision. **IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics**, v. 2, p. 1079-1083. 2003.

KAUFMAN, Y. J.; TANRE, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, p. 261-270. 1992.

KÄFER, P. S.; REX, F. E.; BREUNIG, F. M; BALBINOT, R. Modeling pinus elliottii growth with multitemporal landsat data: a study case in southern brazil. **Bulletin of Geodetic Sciences**, v.24, n.3, p. 286-299, jul./sep. 2018.

LAPOLLI, E. M. **Processamento de Imagens Digitais: Uma Abordagem Utilizando Conjuntos Difusos**, SC. 1994. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – UFSC, Florianópolis, 1994.

LEFEBVRE, H. O direito à cidade. Tradução Rubens Eduardo Frias. São Paulo: Centauro, 2001. Disponível em: <https://monoskop.org/images/f/fc/Lefebvre_Henri_O_direito_a_cidade.pdf. > Acesso em: 09 out. 2021.

LI, J.; PEI, Y.; ZHAO, S.; XIAO, R. SANG, X.; ZHANG, C. A Review of Remote Sensing for Environmental Monitoring in China. **Remote Sensing**, v. 12, 1130. 2020.

LI, J.; ZHANG, Y.; QIN, Q.; YAN, Y. Investigating the impact of human activity on land use/cover change in China's Lijiang river basin from the perspective of flow and type of population. **Sustainability**, v. 9, (3), 383. 2017.

LIN, W. P. Monitoring and protection of forest ecological tourism resources by dynamic monitoring system. **Ecol Chem Eng S**, Tianjin, v. 26, n. 1, p.189-197. 2019.

LIU, Y.; LEI H. Responses of natural vegetation dynamics to climate drivers in china from 1982 to 2011. **Remote Sens**, v. 7, p. 10243-10268. 2015.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v. 16, p. 65-70. 2001.

MARION, F. A.; ANDRES, J.; HENDGES, E. R. Evolução dos índices de vegetação e sua relação com o estresse hídrico: uma revisão. **Geofronter**, Campo Grande, v.7, p. 01-18.

MACHADO, C. C. C. Alterações na superfície do Parque Nacional do Catimbau (PE-

Brasil): consolidação dos aspectos biofísicos na definição dos indicadores ambientais do bioma Caatinga. 2014. 221f. Tese (Doutorado em Geografia) - UFPE, Recife, 2014.

MARCHANT, J. A.; ONYANGO, C. M. Shadow-invariant classification for scenes illuminated by daylight. **Journal of the Optical Society of America**, v. 17, p. 1952-1961. 2002.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. Processamento digital de imagens. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MCFEETERS, S. K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, p. 1425-1432. 1996.

MEDEIROS, A. M. L. **Artigos sobre conceitos em geoprocessamento**. Ebook, 2012. Disponível em: <<http://www.clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2012/09/E-book-Artigos-sobre-Conceitos-em-Geoprocessamento-Anderson-Medeiros.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

MENEZES, P. R. Princípio de sensoriamento remoto. In: MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB/CNPQ, 2012, 266 p.

MEYER, G. E.; HINDMAN, T. W.; LAKSHMI, K. Machine vision detection parameters for plant species identification, In: MEYER, G. E.; DESHAZER, J. A. (Ed.), **Precision Agriculture and Biological Quality**, 3543, p. 327-335. 1998.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE PERNAMBUCO. Operação Mata Atlântica em Pé divulga balanço das ações de combate ao desmatamento realizadas nesta semana. 2019. Disponível em: <<http://mppe.mp.br/mppe/comunicacao/noticias/11669-operacao-mata-atlantica-em-pe-divulga-balanco-das-acoes-de-combate-ao-desmatamento-realizadas-nesta-semana>>. Acesso em: 15 out. 2019.

MIRANDA, R.Q. **Avaliação integrada da variação espacial e temporal do balanço hídrico na Caatinga**. 2017. 122 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - UFPE, Recife, 2017.

MORAES, E. C. Fundamentos de sensoriamento remoto. In: MAIO, A. D.; RUDORFF, B. F. T.; MORAES, E. C.; PEREIRA, G.; MOREIRA, M. A.; SAUSEN, T. M.; FLORENZANO, T. G. **Formação Continuada de Professores. Curso Astronáutica e Ciências do Espaço. Sensoriamento Remoto**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Agência Espacial Brasileira (AEB), 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/aeb/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/educacional/apostilas-pdf/1sensoriamento_manual.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2021.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001.

NATAL, J. L. A.; STOTZ, E. N. Cidade e capitalismo centrais em tempo de globalização – uma contribuição à crítica da barbárie humana em processo. **REDES**, Santa Cruz do Sul, v. 20, n. 3, p. 255-274, set./dez. 2016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Landsat 8 bands. 2013. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/landsat-8-bands/>>. Acesso em: 23 fev. 2022.

OLIVEIRA, E. D.; SANTOS, C. B.; GEREMIAS, M. C. P.; SAMPAIO, S. S. A urbanização enquanto uma estrutura produtora de (des) igualdades socioespaciais e consciência crítica. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 13, n. 1, p. 116-127. 2019.

OLIVEIRA, L. C. B.; GUASSELLI, L. A.; ANTUNES, R. L. S. Variação espaço temporal de NDVI no Rio Madeira, na área de aproveitamento hidrelétrico da UHE Santo Antônio – RO. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1823-1832. 2012.

OSPINA, T. G.; MORALES, F. Z. Gestión territorial y sus implicaciones con el ODS 11. Reflexiones desde Colombia y Costa Rica. **Revista de Arquitectura**, Bogotá, v. 22, n.2, p. 141-152, jul./dic. 2020.

PERNAMBUCO. Constituição (1989). **Constituição do Estado de Pernambuco**. Recife, PE, 05 out. 1989. Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=12&numero=1989&complemento=0&ano=1989&tipo=>>>. Acesso em: 01 out. 19.

_____. Lei nº 13.787, de 08 de junho de 2009. Institui o Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza – SEUC, no âmbito do Estado de Pernambuco, e dá outras providências. Recife, PE, 08 jun. 2009. Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=4321&tipo=>>>. Acesso em: 01 out. 2019.

_____. Lei nº 14.324, de 03 de junho de 2011a. Categoriza as Reservas Ecológicas da Região Metropolitana do Recife, e dá outras providências. Recife, PE, 03 jun. 2011. Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=2551>>. Acesso em: 01 out. 2019.

PERNAMBUCO. Cprh. Agência Estadual de Meio Ambiente. **Parque Estadual Mata do Zumbi**. 2011. Disponível em: <http://www2.cprh.pe.gov.br/uc/parque-estadual-mata-do-zumbi/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

_____. Lei nº 9.989, de 13 de janeiro de 1987. Define as reservas ecológicas da Região Metropolitana do Recife. Recife, PE, 13 jan. 1987. Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=9989&complemento=0&ano=1987&tipo=&url=>>>. Acesso em: 01 out. 2019.

PINTO, F. S. C. Sensoriamento remoto. 2014. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/355698/>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

PINTO, J. S.; PINTO, A. L.; PINTO V. P. S.; OLIVEIRA, A. K. M.; SOUZA C. C. Avaliação da sustentabilidade ambiental em três parques estaduais de mato grosso do

sul, no período entre 1985 a 2014. **Revista Raega**, Curitiba, v. 37, p. 255-281, ago. 2016.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R.; ZIANI, P. Ferramentas de geoprocessamento aplicadas no mapeamento do uso da terra no município de Jaguari/RS. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 03, p. 1217-1227. 2016.

QUESADA, H. B.; REDONDO, G.; VERNASQUI, L. G.; MAGNONI, P. H. J.; ARANTES, E. J. Análise da vegetação ripária em bacia hidrográfica utilizando índice de vegetação normalizada (ndvi) no município de maringá-pr. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 1, p. 439-455. 2017.

RAMOS, A. B. B. **Contribuição para a gestão de unidades de conservação urbanas: caso do parque estadual de dois irmãos, PE**. 2007. 212 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The brazilian atlantic forest: how much is left, and how is the reaming forest distributed? implications of conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153. 2009.

ROBINSON, N. P.; JONES, M. O.; MORENO, A.; ERICKSON, T. A.; NAUGLE, D. E.; ALLRED, B. W. Rangeland productivity partitioned to sub-pixel plant functional types. **Remote Sensing**, v. 11, n. 1427, p. 1-9. 2019.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Editora do Autor, 2000.

ROJO, V.; ARZAMENDIA, Y.; PÉREZ, C.; BALDO J.; VILÁ, B. L. Spatial and temporal variation of the vegetation of the semiarid puna in a pastoral system in the Pozuelos Biosphere Reserve. **Environ Monit Assess**. v. 191, n. 635, p. 1-19. 2019.

ROSA, O. M. P.; PAZ, M. R. Análise histórica da ocupação das áreas públicas do loteamento peurê-navegantes / sc. In: CONGRESSO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL. 10., 2016, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2016. p. 1-17.

ROSA, P. A.; BREUNIG, F. M.; BALBINOT, R.; GALVÃO, L. S. Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 487-499. 2013.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, L. A.; DEERING, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in great plains with erts. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973. **Annais...** Washington, 1973. p. 309-317.

SANTOS, A. E. Do surgimento da cidade ao processo de conturbação: elementos teóricos para análise. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 7., 2014. **Anais...** Vitória, 2014. p. 1-12.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. Lançamento do Programa UC Pernambuco no Agrupamento Suape. 2021b. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=esEPaDHZtRs>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. Webnário – lançamento do Programa UC Pernambuco. 2021a. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=csEidT-rXZ0>>. Acesso em: 28 set. 2021.

SILVA, G. J. A.; ROMERO, M. A. B. Urbanismo sustentável no Brasil e a construção das cidades para o novo milênio. 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343167328_URBANISMO_SUSTENTAVEL_NO_BRASIL_E_A_CONSTRUCAO_DE_CIDADES_PARA_O_NOVO_MILENIO>. Acesso em: 18 jun. 2021.

SILVA, G. J. A.; WERLE, H. J. S. Paisagens em debate. **Revista Eletrônica da Área da Paisagem e Ambiente**, n. 05. 2007.

SILVA, J. C.; MONTEIRO, G. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. **Introdução ao geoprocessamento**. 2014. Disponível em: <https://www.academia.edu/28140101/Introdu%C3%A7%C3%A3o_ao_Geoprocessamento?auto=download>. Acesso em: 15 out. 2019.

SILVA, J. F.; PAZ, Y. M.; SILVA, P. P. L.; PEREIRA, J. A. S.; CANDEIAS, A. L. B. Remote Sensing vegetation index for processing images in the visible band (RGB). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.9, n.4, p. 228-239. 2019.

SILVA, N. O. O plano diretor como instrumento fundamental de planejamento sustentável das cidades. **Revista FIDES**, v. 6, n. 1, jan./jul. 2015.

SIQUEIRA, D. R. **Estudo florístico e fitossocioecológico de um trecho da mata do zumbi, cabo de santo agostinho, pernambuco**. 1997. 100 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1997.

SIRKIS, A. O desafio ecológico das cidades. In: TRIGUEIRO, A. (Org.). **Meio Ambiente no Século 21**. Campinas: Editora Autores Associados LTDA, 2005. p. 214-229.

SOS MATA ATLÂNTICA. Relatório Anual 2019. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos/>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. Relatório dos remanescentes florestais da mata atlântica período 2018-2019. São Paulo, 2020. Disponível em: <<http://mapas.sosma.org.br/dados/>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

SOTHE, C.; LIESENBERG, V.; ALMEIDA, C. M.; SCHIMALSKI, M. B. Abordagens para classificação do estágio sucessional da vegetação do parque nacional de são Joaquim empregando imagens landsat-8 e rapideye. **Bulletin of Geodetic Sciences**, Curitiba, v. 23, n. 3, p. 389-404, jul./set. 2017.

TEJADA, G.; GÖRGENS, E.B.; SANTO, F. D. B. E.; CANTINHO, R. Z.; OMETTO J. P. Evaluating spatial coverage of data on the aboveground biomass in undisturbed forest in the brazilian amazon. **Carbon Balance and Management**, 14:11, p. 18. 2019.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127-150. 1979.

UNITED NATIONS. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. General Assembly. Resolution A/RES/70/1, p.35, 25 set. 2015.

WALDMAN, R. L. W. L.; SAMPAIO, V. B. O direito à moradia adequada à luz do pacto internacional de direitos econômicos, sociais e culturais: uma discussão a partir das perspectivas do ODS n. 11 e da Habitat III. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 9, n.1, p. 59-85, jan./abr. 2019.

WANG, S. The Quantitative research on dynamic changes between flood and vegetation in Tarim river valley. Thesis (PhD). Beijing Normal University. 2007.

WANG, X.; WANG, M.; WANG, S.; WU, Y. Extraction of vegetation information from visible unmanned aerial vehicle images. **Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 31, p. 152-159. 2015.

WOEBBECKE, D. M.; MEYER, G. E.; VON BARGEN, K.; MORTENSEN, D. A. Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions. **Transactions of the ASAE**, v. 38, p. 259-269. 1995.

XU, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, p. 3025-3033. 2006.

YANG, X.; XU, B.; ZHU, X.; JIN, Y.; LI, J.; ZHAO, F.; CHEN, S.; GUO, J.; MA, H.; YU, H. A monitoring indicator system for remote sensing of grassland vegetation growth and suitability evaluation – a case study of the Xilingol Grassland in Inner Mongolia, China. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 36, n. 19-20, p. 5105-5122. 2015.

ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, p. 583-594. 2003.