UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

RAYLANE RODRIGUES DA SILVA

AVALIAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA-PE

Recife
2020

RAYLANE RODRIGUES DA SILVA

AVALIAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA-PE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Geodésicas da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Área de concentração: Sensoriamento remoto.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares.

Recife
2020

Catalogação na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz CRB-4 / 2222

S586a Silva, Raylane Rodrigues da.
Avaliação de índices físicos na bacia hidrográfica do rio Ipanema - PE / Raylane Rodrigues da Silva. 2020.
87 f.; fígs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2020.
Inclui referências.

1. Ciências Geodésicas. 2. Sensoriamento remoto. 3. Índices físicos. 4. Vegetação. 5. Baia de Ipanema. 6. NDVI. 7. GRVI. 8. EVI. I. Tavares, João Rodrigues (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.) BCTG / 2022-54

RAYLANE RODRIGUES DA SILVA

AVALIAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA-PE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovada em: __/__/__.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Profa. Dra. Janaína Maria Oliveira de Assis (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao meu amigo fiel, meu pai, meu irmão, meu protetor, meu mantenedor, meu refúgio e minha fortaleza - o meu Deus. Pela misericórdia, bondade, fidelidade, pelas bênçãos, pelas alegrias, pelas lutas, pelos desafios, pelos amigos, pelas pessoas que fazem parte da minha vida.

Por tudo o que Ele é, por tudo o que fez, que faz, e que fará em minha vida.

A banca, em especial ao Prof Dr João Rodrigues, pela grande paciência, empenho, dedicação e compreensão. Muito obrigado professor!

Obrigada a minha família pelo apoio, compressão e ajuda, por suportarem meus nervos em dias que antecedem a datas de entrega de trabalhos. Obrigada.

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto (LASENSO), nele eu encontrei mais do que colegas, encontrei amigos. Muito Obrigada a Rayane Fonseca que muito me ajudou nesta fase escutando, ajudando, lembrando dos compromissos e por todo apoio, amizade, cooperação, ajuda e força!.

Agradeço especialmente a minha irmã Rejane Rodrigues, pelo amor, cuidado, dedicação, incentivo e apoio aos meus sonhos.

Agradeço em especial a minha grande amiga e porque não dizer irmã, Inessa Araújo, amiga desde a graduação, partilhamos momentos de alegria e angustia, sempre apoiada uma na outra.

A Beth, por sempre ser solicita, carinhosa e compreensiva. Agradeço a todos os professores do mestrado, pela determinação em formar profissionais preparados.

E a todos, que de alguma forma, direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho. Obrigada a todos!!!

RESUMO

A relação estabelecida do homem com o meio ambiente é baseada na adaptação do meio à sua necessidade. Desta forma, a paisagem é modificada e a degradação é consequência do desgaste do ambiente, a explanação das problemáticas possibilitará a criação de projetos que visa a fiscalização e proteção da vegetação. A Bacia do Rio Ipanema é uma importante região hidrográfica que está inserida no semiárido Pernambucano e Alagoano. O objetivo desse estudo é avaliar de modo dinâmico a cobertura vegetal na bacia hidrográfica de Ipanema, utilizando técnicas de sensoriamento remoto aplicando os Índices físicos NDVI, EVI e GRVI. Foram usadas as imagens do satélite CBERS-4, sensor MUX. O *software* utilizado foi o QGIS versão 2.18. Foram estabelecidas cinco classes denominadas como: vegetação densa, vegetação menos densa, solo menos denso, solo de média exposição e solo exposto. Foram observados os valores Kappa para corroborar as repostas dos índices físicos. Como conclusão mostrou-se que o EVI se destacou entre os índices físicos não combinados utilizados na pesquisa. Obtendo o valor de índice Kappa de 0,97, exatidão global de 97%, apresenta 61,57 km² de cobertura vegetal, representando um percentual 16,07 % da área de app. Com a combinação matemática de subtração entre o NDVI e o GRVI (NDVI – GRVI) o percentual alcançado foi de 37% de impacto da APP do rio Ipanema. O índice Kappa para o IV EVI-NDVI apresenta um valor de 0,95 representando o maior percentual de área preservada no leito do rio, apresentando 68,7 km² de cobertura vegetal, representando um percentual 18,64 % de um total de 320,89 km². De uma forma geral, todos os índices reconheceram o fator degradação da mata ciliar, no entanto, em diferentes estágios e percentuais ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; índices físicos; vegetação; Bacia de Ipanema; NDVI; GRVI; EVI.

ABSTRACT

Man's established relationship with the environment is based on adapting the environment to his needs. In this way, the landscape is modified and gives space to large urban centers, which need inputs for their survival. The Ipanema River Basin is an important hydrographic region that is inserted in the semiarid Pernambucano and Alagoano, changes in the landscape due to the removal of vegetation, in addition to changes in precipitation need to be studied. The objective of this study is to dynamically evaluate the vegetation cover in the Ipanema watershed, using remote sensing techniques applying the physical indices NDVI, EVI and GRVI. Images from the CBERS-4 satellite, MUX sensor, were used. The software used was QGIS version 2.18. Five classes were established, namely: dense vegetation, less dense vegetation, less dense soil, medium exposure soil and exposed soil. Kappa values were observed to corroborate the responses of the physical indexes. As a conclusion, it was shown that the EVI stood out among the non-combined physical indices used in the research. Obtaining a Kappa index value of 0.97, an overall accuracy of 97%, it presents 61.57 km² of vegetation cover, representing a percentage of 16.07% of the app area. With the mathematical combination of subtraction between NDVI and GRVI (NDVI - GRVI), the percentage achieved was 37% of the impact of the Ipanema River APP. The Kappa index for the IV EVI-NDVI presents a value of 0.95 representing the highest percentage of area preserved in the riverbed, presenting 68.7 km² of vegetation cover, representing an 18.64% percentage of a total of 320, 89 km². In general, all indexes recognized the riparian forest degradation factor, however, at different stages and percentages along the Ipanema River Basin.

Keywords: remote sensing; physical indices; vegetation; Ipanema Basin; NDVI; GRVI; EVI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho esquemático da vegetação encontrada na Caatinga.....15
Figura 2 - Comportamento espectral da vegetação.....19
Figura 3 - Bacia de Ipanema.....30
Figura 4 - Fluxograma metodológico.....33
Figura 5 - Precipitação de 2010.....40
Figura 6 - Precipitação de 2011.....41
Figura 7 - Precipitação de 2012.....42
Figura 8 - Precipitação de 2013.....42
Figura 9 - Precipitação de 2014.....43
Figura 10 - Pluviometria mensal da Bacia do rio Ipanema o ano de 2015 (mm).....45
Figura 11 - Precipitação do mês de novembro de 2015.....46
Figura 12 - Precipitação do mês de dezembro de 2015.....46
Figura 13 - Precipitação entre os anos de 2016.....47
Figura 14 - Precipitação de 2017.....48
Figura 15 - Precipitação de 2018.....49
Figura 16 - Precipitação de 2019.....50
Figura 17 - Precipitação de 2020.....51
Figura 18 - NDVI da Bacia de Ipanema.....53
Figura 19 - Cidades com principais reservatórios da bacia do Rio Ipanema.....55
Figura 20 - Precipitação anual (mm).....56
Figura 21 - Região central da Bacia de Ipanema.....57
Figura 22 - Curso do rio principal da Bacia de Ipanema.....57
Figura 23 - GRVI da Bacia de Ipanema.....59
Figura 24 - Região central da Bacia de Ipanema.....61
Figura 25 - Principais Açudes da Bacia de Ipanema.....62
Figura 26 - EVI da Bacia de Ipanema.....63
Figura 27 - Região central da Bacia de Ipanema.....66
Figura 28 - NDVI+GRVI da Bacia de Ipanema.....68
Figura 29 - EVI – NDVI da Bacia de Ipanema.....71
Figura 30 - NDVI-GRVI da Bacia do Rio Ipanema.....73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais leis ambientais.....16
Tabela 2 - Estado da Arte.....21
Tabela 3 - Bandas do satélite CBERS 4.....27
Tabela 4 - Municípios que compõem a bacia de Ipanema.....31
Tabela 5 - Coeficientes de Calibração.....35
Tabela 6 - Limiares do Kappa.....39
Tabela 7 - Precipitação anual de 2015.....44
Tabela 8 - Histograma de classes do NDVI.....54
Tabela 9 - Capacidade em M³ dos reservatórios.....56
Tabela 10 - Histograma de classes do GRVI.....60
Tabela 11 - Histograma de classes do EVI.....64
Tabela 12 - Histograma de classes do NDVI+GRVI.....69
Tabela 13 - Histograma de classes do EVI-NDVI.....72
Tabela 14 - Histograma de classes do NDVI-GRVI.....74
Tabela 15 - Matriz de confusão do NDVI.....75
Tabela 16 - Matriz de confusão do GRVI.....76
Tabela 17 - Matriz de confusão do EVI.....77
Tabela 18 - Matriz de confusão do NDVI+GRVI.....77
Tabela 19 - Matriz de confusão do EVI-GRVI.....78
Tabela 20 - Matriz de confusão do NDVI-GRVI.....78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO....10
2 OBJETIVO GERAL....13
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS....13
2.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO....13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA....14
3.2 CÓDIGO FLORESTAL....15
3.1 CLIMA E PRECIPITAÇÃO....16
3.2 INDICES ESPECTRAIS....17
3.3 ESTADO DA ARTE....19
3.3.1 NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)....22
3.3.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MELHORADO (EVI)....23
3.3.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO VERDE-VERMELHO (GRVI)....24
3.3.4 SENSORES e SOFTWARES....26
3.3.4.1 CBRES 4....26
3.3.4.2 QGIS....27
4 MATERIAIS E MÉTODOS....29
4.1 ÁREA DE ESTUDO....29
4.1.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA....30
4.1.2 ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA....31
4.2 DADOS DA PESQUISA....32
4.3 METODOLOGIA....32
4.3.1 PROCESSAMENTO DE IMAGENS....34
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES....40
5.1 ÍNDICES FÍSICOS....51
5.2 ÍNDICES FÍSICOS COMBINADOS....67
5.3 ÍNDICE KAPPA....74
6 CONCLUSÃO....79
REFERÊNCIAS....81

1 INTRODUÇÃO

A relação estabelecida do homem com o meio ambiente é baseada na adaptação do meio à sua necessidade. Desta forma, a paisagem é modificada e dá espaço para os grandes centros urbanos, que necessitam de insumos para a sua sobrevivência. Para Nascimento (2016), a degradação existente nas bacias de captação brasileiras são consequências do desgaste do ambiente.

Segundo Fonseca et al. (2018), a devastação das matas ciliares tem contribuído para o assoreamento, o aumento da turbidez das águas, o desequilíbrio do regime das cheias, a erosão das margens de grande número de cursos d'água, afetando a qualidade da água e interferindo diretamente na disponibilidade do recurso água.

Por esta razão, nos últimos anos, têm-se observado diferentes pesquisas e estudos que reconhecem a necessidade de recuperação da mata ciliar, como forma de minimizar os impactos ambientais que são causados pela ação antrópica.

A Bacia do Rio Ipanema é uma importante região hidrográfica que está inserida no semiárido Pernambucano e Alagoano, compreendendo consideráveis municípios tais como: Arcoverde, Garanhuns e Pesqueira de PE e Batalha, Jacaré dos homens e Belo Monte de AL, que representam os melhores índices econômico da região compreendida por esta Bacia que desagua no Rio São Francisco.

O Rio Ipanema é o principal cursor que dá nome a bacia é de origem intermitente, mas de grande importância para a vida dos viventes dos sertões (FONSECA, 2018).

As florestas ciliares atuam promovendo a retenção de nutrientes, sedimentos e agrotóxicos; contribuindo à redução do assoreamento; incrementando a vazão do corpo hídrico, essencial à manutenção de fluxos perenes; e favorecendo a manutenção da fauna aquática, através da regulação da temperatura, fornecimento de matéria orgânica e promoção de condições ideais para o estabelecimento de pequenos habitats.

A escolha da Bacia de Ipanema se deu pela ausência de trabalhos de pesquisa nessa região. A explanação das problemáticas possibilitará a criação de projetos que visem a fiscalização e proteção da vegetação ciliar. Para identificar as

problemáticas desta Bacia, o uso das técnicas de Sensoriamento Remoto se torna essencial, uma vez que, essa tecnologia permite uma quantificação e qualificação das respostas dos alvos (vegetação) com maior eficiência, proporcionado resultados rápidos e confiáveis, permitindo assim o monitoramento das mudanças na dinâmica da cobertura vegetal e suas mudanças.

Para Chang et al. (2017), o sensoriamento remoto aliado aos índices de vegetação, apresentam um dos principais instrumentos de verificação preliminar e monitoramento da mata ciliar, com importantes resultados, servindo de subsídios para tomadas de decisão de gestores e atores sociais envolvidos com o meio ambiente.

O estudo e diagnóstico de uso e ocupação das áreas de preservação permanente permitirá o planejamento e proposição de ações que visem a conservação e valorização desses ambientes, essenciais à manutenção das populações urbanas, bem como a adequação ambiental da região, tendo por princípios a igualdade de direitos sobre os recursos naturais, a proteção às condições necessárias à qualidade de vida da população e a manutenção da disponibilidade de parcela significativa do rico patrimônio ambiental, tendo por base o desenvolvimento socioeconômico ambientalmente sustentável.

A sustentabilidade das questões ambientais, sociais e econômicas da terra é dependente do conhecimento relacionado a seu uso e ocupação, essencial à condução de projetos diversos, inclusive os de recuperação ambiental.

Nesse contexto, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto mostra-se indispensável na gestão dos recursos hídricos, permitindo, a partir do registro do uso e ocupação da terra a avaliação das mudanças ocorridas nas paisagens, subsidiando o monitoramento efetivo dessas áreas, com intuito de avaliar as diferentes sensibilidades espectrais utilizando o NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) , EVI (índice de vegetação melhorado) e GRVI (índice de vegetação verde e vermelho) através do sensor MUX (câmera multiespectral regular).

O estudo de sensibilidade entre índices físicos permite quantificar e especializar o mapeamento da cobertura vegetal (FOSENCA,2018). A comparação de índices físicos é largamente usada em pesquisas ambientais, porém, a

combinação final desses índices para a geração de um novo resultado representa um aperfeiçoamento nas técnicas de realce.

Os valores analisados serão representados pelos índices espectrais NDVI, GRVI, EVI e combinações dos mesmos, obtidos através de imagens do CBRES-4 (China-Brazil Earth resources satélite) processadas no software QGIS 2.18.

2 OBJETIVO GERAL

Analisar a sensibilidade espectral entre os índices NDVI, EVI e GRVI, utilizando testes de detecção da distribuição das matas da bacia do Rio Ipanema.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a espacialização das matas ciliares do Rio Ipanema e seus afluentes por meio do NDVI, EVI e GRVI;
- Avaliar os graus de sensibilidade espectral entre os índices NDVI, EVI e GRVI das matas ciliares do Rio Ipanema e seus afluentes;
- Gerar um novo índice físico para análise da sensibilidade espectral da mata ciliar a partir da combinação entre o NDVI e o GRVI;

2.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma: o capítulo 2 descreve casos e resultados de trabalhos com índices e sua importância. Mostra como os diferentes tipos de índices tem aplicações especificas para a região de estudo e objeto a ser evidenciado. O capítulo 3 apresenta a área de estudo, descreve a metodologia aplicada e os dados utilizados para obter dados pertinentes de precipitação e produção de NDVI, EVI e GRVI para Bacia do Ipanema localizada no Agreste. No capítulo 4 estão os resultados, a avaliação pluviométrica, produção dos índices e análises. O capítulo 5 finaliza com conclusões e recomendações.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para diversos autores, a vegetação presente no agreste é tipicamente caducifólia apresentando exuberância arbórea no período em que as plantas apresentam o ápice vegetativo (período chuvoso) e perda total das folhas da maioria das plantas como forma adaptativa ao período de estiagem, característico da região semiárida.

A delimitação da Área de Preservação Permanente (APP) determina para o leito do rio segundo o código florestal (Lei 12.651 de 25 de maio de 2012), sobre variação entre 30 m para os cursos d'água de menos de 10 m de largura e 100 m e 100 (cem) m, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) m de largura.

A mata ciliar é representada por toda faixa de vegetação ocorrente nas margens de cursos d'águas, sejam eles intermitentes ou temporários (Fonseca, 2018), a faixa de vegetação nas margens ciliares pode ocorrer das seguintes formas:

> Em trechos periodicamente inundados, como é o caso das caatingas tipo Parque Misto, que são caracterizadas por grandes extensões ocupadas por uma vegetação herbácea entremeadas por esparsas árvores e algumas vezes formando bosques.

> Nas margens dos inúmeros rios intermitentes, nos quais ocorriam caatingas arbóreas, arbustivo-arbóreas e arbustivas em função do tipo de solo predominante. Atualmente a vegetação nestas margens de rios apresenta-se descaracterizada em fisionomia e composição, decorrente dos fatores antrópicos de modificação dessas paisagens. (PEREIRA ET AL.2012).

Segundo Pereira et al. (2012), as matas ciliares são de extrema importância para a manutenção da qualidade da água dos rios, o controle do regime hídrico, a redução da erosão às margens dos rios, a manutenção da fauna ictiológica com o aumento da oferta de pescado e a melhoria dos aspectos paisagísticos. Entretanto, principalmente nas áreas mais populosas do Brasil, as matas ciliares foram drasticamente reduzidas e, quando presentes, estão normalmente bastante perturbadas. Quando se trata de biomassa acima do solo existem outras

subclassificações referentes quanto ao porte ou tipo, como pastagem e/ou herbácea, arbustiva, regeneração e arbórea, detalhados na Figura 1.

Figura 1 - Desenho esquemático da vegetação encontrada na Caatinga

Fonte: Nascimento (2019).

Ilustração hipotética da vegetação da caatinga: A - caatinga aberta, vegetação menor porte e mais espaça; B - vegetação herbácea; C - caatinga densa, vegetação de maior porte, plantas adensadas podendo coexistir arbustos.

As matas ciliares funcionam como filtros, retendo defensivos agrícolas, poluentes e sedimentos, que seriam transportados para os cursos d'água, afetando diretamente a quantidade e, a qualidade da água e consequentemente a fauna aquática e a população humana (Carvalho, 2020).

3.2 CÓDIGO FLORESTAL

A deterioração ambiental ameaça à biodiversidade, os recursos naturais, o bemestar populacional e consequentemente os serviços que os ecossistemas podem oferecer.

O modelo capitalista atualmente vigente, conectado diretamente ao advento da industrialização, desencadeou o processo de urbanização, e trouxe para as cidades a necessidade do crescente busca por recursos naturais e por espaço físico, principalmente nas margens dos rios (BOTELHO, 2011; SILVA; SANTOS; GALDINO, 2016).

A retirada de mata ciliar, o consequente processo de assoreamento, a presença de resíduos e de esgoto no leito e nas margens do rio, a eutrofização do mesmo, caracterizam indicadores ambientais de degradação do rio, refletidos e agravados pela ação antrópica, trazendo danos diretos à bacia hidrográfica.

Leis foram criadas para tentar manter e monitorar possíveis irregularidades causadas pelas ações antrópicas, a Tabela 1 expõe as leis em âmbito federal e estadual.

Tabela 1 - Principais leis ambientais

Âmbito	Lei	Ano
Federal	Lei n°9.605 - Lei de Crimes Ambientais	1998
Federal	Constituição Federal de 1988	1988
Federal	Lei n°12.651 - Código Florestal brasileiro	2012
Federal	Lei 9.433 - Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH)	1997
Estadual	Lei 12.984 - Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH)	2005

Fonte: A autora (2020).

A sustentabilidade das questões ambientais, sociais e econômicas da terra é dependente do conhecimento relacionado a seu uso e ocupação, essencial à condução de projetos diversos, inclusive os de recuperação ambiental.

Nesse contexto, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto mostra-se indispensável na gestão dos recursos hídricos, permitindo, a partir do registro do uso e ocupação da terra a avaliação das mudanças ocorridas nas paisagens, subsidiando o monitoramento efetivo dessas áreas.

3.1 CLIMA E PRECIPITAÇÃO

A região do agreste caracteriza-se em ambiente de clima semiárido quente, clima onde a precipitação média anual varia entre 400 mm e 700 mm, com duas estações sazonais definidas: prolongada estiagem e estação de chuva centralizada num curto período durante o verão nos meses de janeiro a abril (TEIXEIRA,2018).

Em relação a temperatura, a mesma são normalmente quentes e não variam muito espacial e temporalmente, mesmo em comparação com os meses quentes e frios.

As médias anuais são de 25 °C e 30 °C.

Santos (2012), defende que a erosão hídrica constitui um grande problema para os solos e consequentemente para a distribuição de vegetação. O conhecimento das características da chuva permite a planificação mais segura de estruturas de conservação de solo (terraços, curvas de nível) e de práticas agrícolas que visem à conservação do solo por meio de manutenção de sua cobertura, assim como outras obras (barragens, canais escoadouros) e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, o que justifica sua determinação (BAZZANO ET AL., 2010).

A determinação dos valores da erosividade, ao longo do ano também permite identificar os meses nos quais os riscos de perda de solo são mais elevados, razão por que exerce relevante papel no planejamento de práticas conservacionistas fundamentadas na máxima cobertura do solo, nas épocas críticas de maior capacidade erosiva das chuvas (DIAS & SILVA, 2003).

Os solos da região semiárida de Pernambuco normalmente estão sujeitos a chuvas de altas intensidades ocasionando a erosão hídrica de maneira bastante severa, tornando-se necessário, portanto, estudar as características das chuvas, seus parâmetros básicos e como eles contribuem para a desagregação, transporte e deposição do solo (SANTOS,2010).

Deve-se ressaltar que para esta região existe carência de estudos recentes voltados para as características da precipitação e para o comportamento de seus padrões hidrológicos.

3.2 INDICES ESPECTRAIS

Um índice espectral de vegetação é a integração de duas ou mais bandas espectrais, segundo determinado procedimento, cuja finalidade é realçar características da vegetação como biomassa, vigor vegetativo, índice de área foliar etc. (MOLIN, 2017).

Para Teixeira (2018), os índices espectrais oferecem informação de uma maneira quantitativa, simples, de fácil compreensão, e são construídos a partir da modelagem de características das trocas radiativas da superfície.

Diversos autores descrevem a possibilidade de distinguir os diferentes tipos de materiais por suas diferenças de reflectância é uma das principais motivações do sensoriamento remoto moderno.

Isso é possível graças ao distinto comportamento espectral dos elementos da superfície, que é definido pela intensidade relativa com que cada corpo reflete ou emite a radiação eletromagnética nos diversos comprimentos de onda. A alteração no comportamento espectral dos alvos em diferentes situações, tais como os vários ciclos da vegetação, tipo de cultura, ângulo de visada e pigmentação.

Segundo o INPE (Instituto nacional de pesquisa espacial), o comportamento espectral na faixa do visível (até os 0,7μm) e seu percentual de reflectância, que é considerado baixa (< 20%) devido alta absorção pelos pigmentos das plantas, exceto na faixa do verde (0,56 μm), onde as plantas são moderadamente transparentes, com aumento de reflexão, essa característica é responsáveis pela cor verde das plantas.

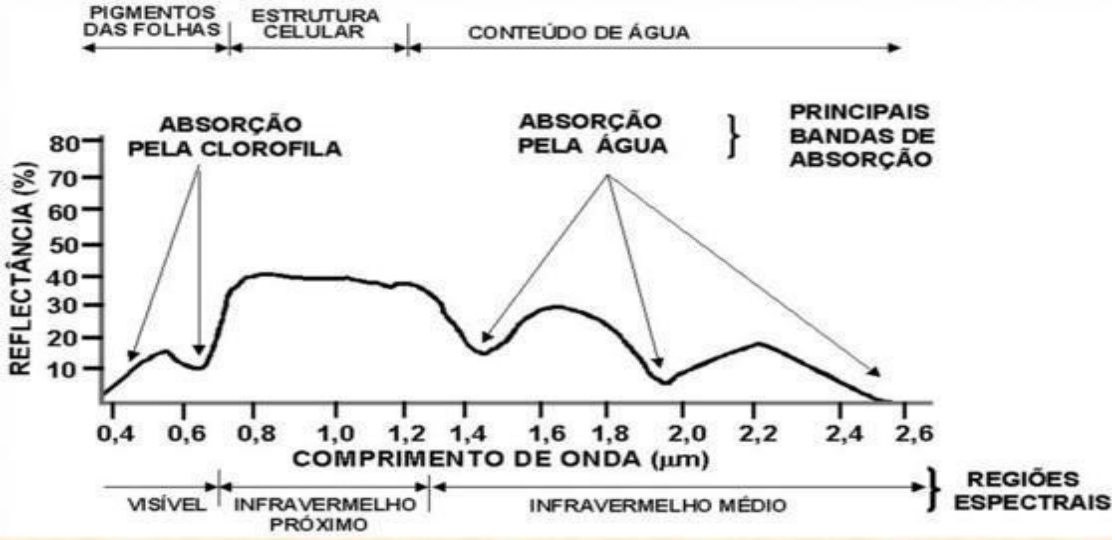
No infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μm), ocorre baixa absorção e considerável espalhamento interno em função da estrutura celular (mesófilo), logo, tem-se alta reflectância.

No infravermelho médio (1,3 a 2,5 μm, encontram-se os máximos de absorção pela água, desta forma, a reflectância da vegetação diminui de acordo com a quantidade de água nas folhas.

A água se apresenta em distintos estados físicos na superfície terrestre, os quais condicionam as características de reflexão e absorção. A água em estado líquido, e geralmente apresenta baixa reflectância entre 0,38 μm e 0,7 μm, absorvendo toda radiação a partir deste intervalo.

As maiores reflectâncias estão na região do visível, mais especificamente, nos comprimentos de onda do azul e verde. A Figura 2 apresenta uma típica curva de reflectância da vegetação verde, identificando as regiões de resposta espectral de maior significância.

Figura 2 - Comportamento espectral da vegetação



Fonte: Carvalho (2016)

O comportamento espectral dos solos depende diretamente de sua composição química, física, biológica, mineralógica, além da exposição à radiação eletromagnética. Os solos de textura arenosa, cores claras e com menor quantidade de umidade ou matéria orgânica, tendem a ter maior intensidade de reflectância (TEXEIRA,2018). Comparado com as curvas de água e vegetação, os solos apresentam reflectância alta, sendo menor que a vegetação no infravermelho próximo (0,7 a 1,3 µm).

3.3 ESTADO DA ARTE

Os índices espectrais oferecem informação de uma maneira quantitativa, simples, de fácil compreensão e são construídos a partir da modelagem de características das trocas radiativas da superfície. Segundo Alves (2020), a possibilidade de distinguir os diferentes tipos de materiais por suas diferenças de reflectância é uma das principais motivações do sensoriamento remoto moderno. Isso é possível graças ao distinto comportamento espectral dos elementos da superfície, que é definido pela intensidade relativa com que cada corpo reflete ou emite a radiação eletromagnética nos diversos comprimentos de onda.

A aplicação dessas técnicas é viabilizada através do cumprimento de diversas etapas que incluem a interação em si, caracterizada principalmente pelo fenômeno de reflexão da radiação, a coleta de dados e seu registro através de um sensor e a

análise desses dados com o objetivo de extrair as informações pretendidas de um dado objeto.

Segundo Chang et al. (2017), uma combinação de diferentes índices que representam o estresse da vegetação, o déficit de água e o estado de umidade do solo podem descrever melhor a gravidade e as mudanças na degradação que cada índice isoladamente. A integração desses elementos possibilita obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da vulnerabilidade dos ambientes naturais, frente aos diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio que o meio está submetido (TEIXEIRA,2018).

A lógica por trás dos índices de vegetação baseia-se no fato de que a energia refletida no vermelho e infravermelho próximo é diretamente relacionada à atividade fotossintética da vegetação, bem como na suposição de que a utilização de duas ou mais bandas espectrais pode, substancialmente, minimizar as principais fontes de ruídos que afetam a resposta da vegetação: variações na irradiância solar; efeitos atmosféricos; contribuições da vegetação não-fotossinteticamente ativa; contribuições do substrato (ex. solo); e efeitos da composição e estrutura do dossel (FOSENCA,2017).

Fonseca (2018) usou o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice Vermelho-verde (GRVI) para avaliar a vegetação, salientou que ambos os indeces apresentaram bons resultados, mas o GRVI apresentou maior sensibilidade na detectção da vegetação espassada do agreste. Em pesquisas publicadas, diversos autores comprovam a eficácia dos índices físicos em diferentes estudos, descritos na tabela 2.

Tabela 2 – Estado da Arte

AUTOR	RESULTADO	ANO
Fonseca	Usou o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice Vermelho-verde (GRVI) para avaliar a vegetação, salientou que ambos os indeces apresentaram bons resultados, mas o GRVI apresentou maior sensibilidade na detectção da vegetação espassada do agreste. Salientou que o uso dos indices com correções facilitam a decteção e melhora na aquisição das informaçoes sobre a vegetação.	2018
Fonseca	Avaliou a dinâmica espacial do município de Petrolina-PE, entre os indices NDVI e SAVI, determinou que a correção do solo presente no IV SAVI permitu uma melhor avaliação, aliando esse resultado aos valores de correção do solo.	2017
Alves	O objetivo deste estudo foi comparar a variação fitofisionômica e o comportamento temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) considerando o pulso de inundação do Pantanal Norte. Para a área total houve aumento do dobro de vegetação de alto vigor do período seco para o chuvoso. Determinou que o uso do NDVI foi eficiente para a interpretação da variação foliar, numa região onde a dinâmica de inundação cria paisagens	2020

	vegetacionais diversificadas.	
Araujo	Objetivou-se com este trabalho, analisar a dinâmica espacial da expansão urbana sob a Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém através da análise multitemporal de imagens de satélite, dos anos de 1993, 2006 e 2013 através do índice físico NDVI. O estudo trouxe como resultado a redução da vegetação nativa, em aproximadamente 12% nas Unidades de Conservação entre 1993 e 2006, e 21%, entre 2006 e 2013, contrastante às áreas que sofreram alterações antrópicas, pois tiveram um aumento de 8.641.800 m² entre os anos de 1993 a 2013, confirmando o desenfreado processo de urbanização que vem ocorrendo na cidade.	2019
George	A abordagem mais comum é derivar séries temporais de índices de vegetação (VIs) que estão relacionados à evolução temporal de FPAR, LAI e GPP ou usados alternativamente para derivar métricas de fenologia que quantificam a estação de crescimento. A amplitude do VI interpretada como sincronia do ciclo de vida das folhas pode apoiar a avaliação do modelo, informando as prováveis taxas de renovação foliar e variação sazonal na distribuição das idades das folhas do ecossistema.	2020

Fonte: A autora (2020)

3.3.1 NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)

As variações temporais na vegetação representam diretamente a dinâmica da biomassa em ecossistemas áridos e semiáridos, também possuem o poder de afetar o clima local e regional, e o equilíbrio hidrológico da superfície terrestre. Como a

seca causa estresse à vegetação, a extensão de uma seca pode ser estimada por mudanças em índices de vegetação (GUO *et al.*, 2017; TONG *et al.*, 2016).

Para Fonseca (2017) os índices de vegetação devem satisfazer uma série de critérios, tais como: maximizar os parâmetros biofísicos, normalizar efeitos externos, minimizar a contaminação da influência do solo, conduzir a geração de produtos que permitam a comparação das condições de vegetação em escalas globais.

O Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) foi desenvolvido por Huete (1974), para avaliar a condição geral da vegetação, o índice é a razão entre a diferença da reflectância no infravermelho próximo e a reflectância vermelha, pela soma das mesmas, cujo valor matemático varia entre -1 e +1 (TEIXEIRA, 2018).

Quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, ela apresenta-se em seu estágio denso, úmida e bem desenvolvida. A água em grande parte dos trabalhos vistos tem reflectância com valores negativos, próximos a -1, no NDVI. As nuvens refletem de forma semelhante no visível e no infravermelho próximo, portanto, espera-se que o valor do pixel seja bem próximo de zero.

O solo nu sem vegetação, ou com vegetação rala e esparsa, apresenta valores positivos, mas não muito elevados.

O NDVI um indicador numérico simples, onde suas tendências e dinâmicas fornecem uma estimativa grosseira da presença, densidade, saúde e mudança na cobertura vegetal, podendo ser usado para monitorá-las ao longo do tempo. As variações na vegetação são fáceis de interpretar a partir de imagens de satélite.

Sua simplicidade e sua relativa alta sensibilidade à densidade da cobertura vegetal tornaram possíveis comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, bem como o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação em escala global (ARAUJO,2020).

Embora extremamente útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), apresenta problemas de saturação em áreas densamente vegetada se não-linearidade nas relações com o índice de área foliar e com a fração de radiação fotossinteticamente absorvida.

3.3.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MELHORADO (EVI)

O *Enhanced Vegetation Index* (EVI), foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade da sua detecção em regiões com maior densidade de biomassa, para reduzir o sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel.

O EVI é um índice de vegetação desenvolvido por Huete et al (2002) contendo um fator de ajuste para o solo, e dois coeficientes (assumem valores de 6,0;7,5 e 1,0 respectivamente) que descrevem o uso da banda do azul para a correção da banda do vermelho quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis.

O EVI é uma variação do NDVI, sendo aprimorado em relação à redução de influências atmosféricas e do solo. Seu valor vai de 0 a 1, onde os valores mais próximos de 1 indicam um maior acúmulo de biomassa. Assim como o NDVI, o EVI reflete os parâmetros biofísicos da vegetação. É importante notar que o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção de luz na banda do vermelho, enquanto o EVI é mais sensível a variações na estrutura do dossel (ARRUDA, 2018).

Dessa forma, o desafio de Huete foi desenvolver um índice que fosse mais sensível às alterações de biomassa vegetal e que não apresentasse este problema de saturação. Assim, o EVI foi desenvolvido para promover a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (FONSECA, 2017).

3.3.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO VERDE-VERMELHO (GRVI)

O *Green-Red Vegetation Index* (GRVI), propoem o uso das bandas vermelho e verde. Em termos do equilíbrio entre a reflectância verde (comprimentos de onda de 500 a 570 nm) e reflectância vermelha (comprimentos de onda de cerca de 620 a 700 nm), podemos encontrar três grupos de padrões de refletância espectral para os principais componentes da cobertura do solo:

> Vegetação verde (árvores decíduas e grama): banda verde é maior que a banda vermelho.
> Solos (areia marrom, silte e argila seca): banda verde é menor que banda vermelho.

Água: banda verde e banda vermelo são basicamente os mesmos.

A vegetação verde, solos e água / neve têm efeitos positivos, negativos e valores próximos de zero do GRVI, respectivamente. Portanto, nós hipotetizamos que “GRVI = 0” se torna um limiar para distinguir entre a vegetação verde e outros tipos de cobertura do solo. Além disso, porque o equilíbrio entre a reflectância verde e vermelha muda em resposta à folha verde e outono coloração, o limite "GRVI = 0" também deve ser efetivo para detecção de fenologia.

Tirando vantagem desta característica, um algoritmo simples para detectar o tempo de coloração da folha verde e outono pode seja possível.

3.3.4 SENSORES E SOFTWARES

Os softwares e os sensores empregados em estudos da superfície são diversos, para a exclusão dessa pesquisa foi usado o *software* Qgis (Quantum GIS) aplicado ao satélite CBRES 4.

3.3.4 SENSORES E SOFTWARES

Os softwares e os sensores empregados em estudos da superfície são diversos, para a exclusão dessa pesquisa foi usado o *software* Qgis aplicado ao satélite CBRES 4.

3.3.4.1 CBRES 4

O Programa CBERS (China Brazil Earth Resources Satellite), marco fundamental da cooperação espacial brasileira, teve início oficialmente há 30 anos, quando Brasil e China assinaram o acordo para o desenvolvimento do projeto Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. A iniciativa CBERS resultou no lançamento de cinco satélites:
CBERS-1, CBERS-2, CBERS-2B, CBERS-3 e CBERS-4.A Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD - High Resolution CCD Camera) e a Câmera Multiespectral Regular **(**MUX) por possuírem uma boa resolução espacial – 20 metros – em quatro bandas espectrais, mais uma pancromática (na CCD), com resolução radiométrica de 8 bits, prestam-se à observação de fenômenos ou objetos cujo detalhamento é importante.

Por possuírem um campo de visada de 120 km, auxiliam nos estudos municipais ou regionais. Dada a sua frequência temporal de 26 dias, pode servir de suporte na análise de fenômenos que tenham duração compatível com esta resolução temporal. Suas bandas estão situadas na faixa espectral do visível e do infravermelho próximo, o que permite bons contrastes entre vegetação e outros tipos de objetos (INPE).
A resolução espacial e o intervalo espectral de cada banda, consta na Tabela 3.

Tabela 3 - Bandas do satélite CBERS 4

Banda	Intervalo Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
Azul	0,45-0,52	20
Verde	0,52-0,59	20
Vermelho	0,63-0,69	20
Infravermelho Próximo	0,77-0,89	10
Infravermelho médio 1	1,55-1,75	10
Infravermelho médio 2	2,08-2,35	10
Pancromática	0,50-0,90	5

Fonte: Adaptado de INPE (2018).

3.3.4.2 QGIS

Nos últimos anos tem-se verificado um crescente interesse pela informação geográfica, cada vez mais utilizada para diversos fins e domínios de aplicação, em áreas tão distintas como as geociências, economia e gestão, sociologia e saúde engenharias, planejamento e monitoramento espacial.

O fato de ser possível utilizar informação georreferenciada, permite a correlação de variáveis distintas, justificando o interesse pela área dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumentos de modelação de problemas, análise e simulação de cenários.

A utilização de ferramentas da Geotecnologia surge então como uma alternativa eficiente que proporciona resultados eficientes, já que possibilita uma representação computacional do espaço.

O projeto Quantum GIS nasceu oficialmente em Maio de 2002, quando começou a ser escrito o seu código. Gary Sherman, o criador do programa, procurava um visualizador SIG para Linux que fosse rápido e suportasse uma vasta gama de formatos de dados. Isso, associado ao interesse em programar uma aplicação SIG levou à criação do projeto.

A primeira versão, quase não funcional, saiu em Julho de 2002 e suportava apenas layers PostGIS. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica de Código Aberto que oferece uma infinidade de funcionalidades aplicadas em diferentes formatos de arquivos.

Por ser um programa gratuito e de constante crescimento através das funções nativas, de complementos, e da função Calculadora Raster é comumente usado em pesquisas ultimando os índices físicos, por possuir uma robusta ferramenta com capacidade para execução de operações de álgebra de mapas, que fazem uso de expressões comuns a complexas (TEIXEIRA,2018).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a área de estudo (3.1) que descreve a Bacia de Ipanema; os dados de precipitação e os índices físicos (3.2) e em 3.3 os métodos aplicados.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Ipanema está localizada no semiárido nordestino entre os Estados de Pernambuco e Alagoas. Estando compreendida entre as latitudes “9°53’16” e 8°18’38” sul, e entre as longitudes 37°27’42” e 36°37’41” oeste.

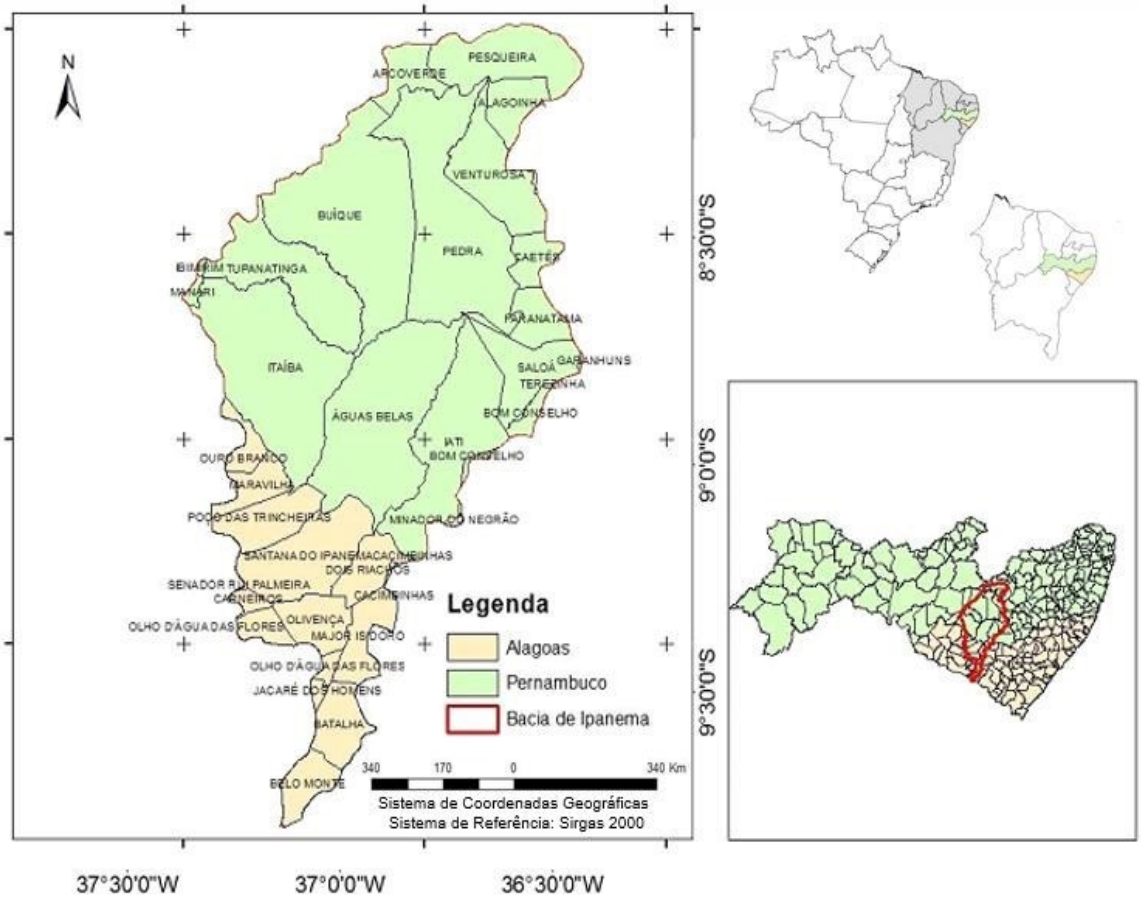
Em relação à atividade econômica, o cultivo agrícola é o que mais se destaca (SOARES et al, 2016). Nas terras baixas do vale do Mimoso, são encontradas algumas espécies de vegetação Caatinga com fisionomias de diferentes densidades, extensas áreas destinadas a pastagens e produção agrícola (TEIXEIRA, 2018).

A vegetação Caatinga predominante apresenta baixos valores de radiação, por possuir pouca ou nenhuma folhagem. Este fato está associado aos baixos índices pluviométricos que se dispõem nos meses de agosto a janeiro (FONSECA,2018).

A ANA define bacia hidrográfica como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único na sua foz.

Apesar dos afluentes da bacia de Ipanema ter características intermitentes, contribuem na qualidade de vida das cidades próximas. Apresentando diversas atividades, tais como pecuária, agricultura de várzea e pesca. A escolha da Bacia de Ipanema se deu pela ausência de trabalhos de pesquisa nessa região. A explanação das problemáticas possibilitará a criação de projetos que visem a fiscalização e proteção da vegetação ciliar. A Figura 3 apresenta a localização desta bacia e os municípios inseridos dentro dela.

Figura 3 – Bacia de Ipanema



Fonte: A autora (2020).

4.1.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA

Nesta bacia há cerca de 34 municípios dois quais 18 pertencem a Pernambuco e 13 ao município de Alagoas. Sua nascente está no município de Pesqueira no estado de Pernambuco e sua foz em Alagoas, na direção norte-sul, até desaguar no rio São Francisco (ANA, 2018).

Em relação aos seus afluentes, tem-se que os principais que estão na margem direita são os riachos: do Mororó, Mulungú, Pinto e do Topera. E na margem esquerda os rios dos Bois, da Luiza, do Cordeiro e Dois Riachos (Fonseca, 2018). No entanto, o rio Cordeiro é o principal tributário do rio Ipanema. A nascente deste rio está localizada no município de Venturosa.

Para a ANA (Agencia nacional das Águas), os municípios compreendidos por está bacia apresentam seus limites definidos por cursos d'água, como exemplo, os

municípios de Tupanatinga, Itaíba, Águas Belas e Iati, que estão delimitados pelos riachos: do Pinto e o Mandacaru, Mandacaru e o rio Ipanema, rio Ipanema, Cordeiro, Defunto e Dois Riachos e pelo rio Dois riachos, respectivamente.

A Tabela 4 abaixo apresenta os municípios que integram esta bacia e estão localizadas nos Estados de Pernambuco e Alagoas.

Tabela 4 - Municípios que compõem a bacia de Ipanema

Alagoas	**Pernambuco**
Batalha	Aguas belas
Belo Monte	Alagoinha
Cacimbinhas	Bom Conselho
Carneiros	Terezinha
Dois Riachos	Caetés
Jacaré dos homens	Manari
Major Isidoro	Itapiba
Minador do Negrão	Pedra
Olivença	Tupanatinga
Ouro Branco	Buíque
Poço da Trincheiras	Venturosa
Santana do Ipanema	Arcoverde
Senador Rui Palmeira	Garanhun Sauá Parnarama Pesqueira Ibimirim Iatí

Fonte: APAC (2019).

4.1.2 ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA

O estado de Pernambuco localiza-se na Zona Intertropical. As temperaturas são altas, onde a época de chuva está concentrada durante os meses de março a agosto com temperatura média cerca de 20,5°C, e entre os meses de setembro a dezembro tem-se o período de seca com um alcance médio de temperatura de 21,9°C (FONSECA, 2018).

O clima semiárido caracteriza-se pelos baixos índices pluviométricos com longos períodos secos e chuvas escassas, concentradas em poucos meses do ano e altas temperaturas. Os climas predominantes são: tropical úmido, no litoral e semiárido, no interior. A pluviosidade representa o atributo fundamental para pesquisas que envolvam a resposta dos índices.

4.2 DADOS DA PESQUISA

Para realizar a pesquisa foi necessária a aquisição de alguns dados para posterior análise. Dessa forma, foi realizada uma consulta ao banco de dados da plataforma da Agência pernambucana de águas e clima (APAC) para a obtenção dos dados pluviométricos mensais do ano de 2015. Com esses dados às imagens do satélite CBERS-4, sensor MUX, foram selecionadas. Para isso foi realizado uma consulta de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. E determinado a órbita 148 e o ponto 110, datadas em 07 de dezembro de 2015 que compreende a região da bacia hidrográfica do rio Ipanema. A escolha desta cena se deu devido as condições climáticas da região, onde observou-se que no período chuvoso, a incidência de nuvens na região influencia diretamente na qualidade dos dados, uma vez que dificulta a visualização das informações e afeta a cobertura vegetal do bioma Caatinga que se sustenta com maior vigor. Dessa forma para ocorrer as análises mediante esta problemática, outras variáveis deveriam ser consideradas e relacionadas ao tipo de cobertura vegetal, sazonalidade e ao tempo de resposta à precipitação; à umidade e a extensão, volume e duração das chuvas; além das informações do solo e suas propriedades (NOYOLA-MEDRANO E MARTÍNEZ-SÍAS, 2017). Em função de todas essas considerações, que elevariam a complexidade de interpretação das imagens de época úmida, inclinam-se ao uso de imagens da estação seca. A escolha do ano de 2015, bem como a data de aquisição das imagens no mês de dezembro, baseou-se pela cobertura de nuvens influenciarem de forma negativa nos resultados dos índices. O ano de 2015 apresentou percentual menor a 20% de cobertura de nuvens, e ausência de chuvas no mês de novembro tornou a escolha das imagens de dezembro excelentes para a pesquisa, visto que a presença de umidade no solo também influencia nos resultados.

4.3 METODOLOGIA

A primeira etapa metodológica está fundamentada na análise do referencial bibliográfico. Com essas informações será possível nortear as discussões à serem

desenvolvidas no embasamento teórico-metodológico e na construção do Estado da Arte.

A segunda etapa é a seleção e aquisição das imagens de satélites do sensor MUX. A escolha da imagem baseou-se no calendário do agreste, selecionada nas datas de altas temperaturas, ausências de chuvas e pouca cobertura de nuvens, e, portanto, utilizou-se o monitoramento pluviométrico no site da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) para o ano de 2015.

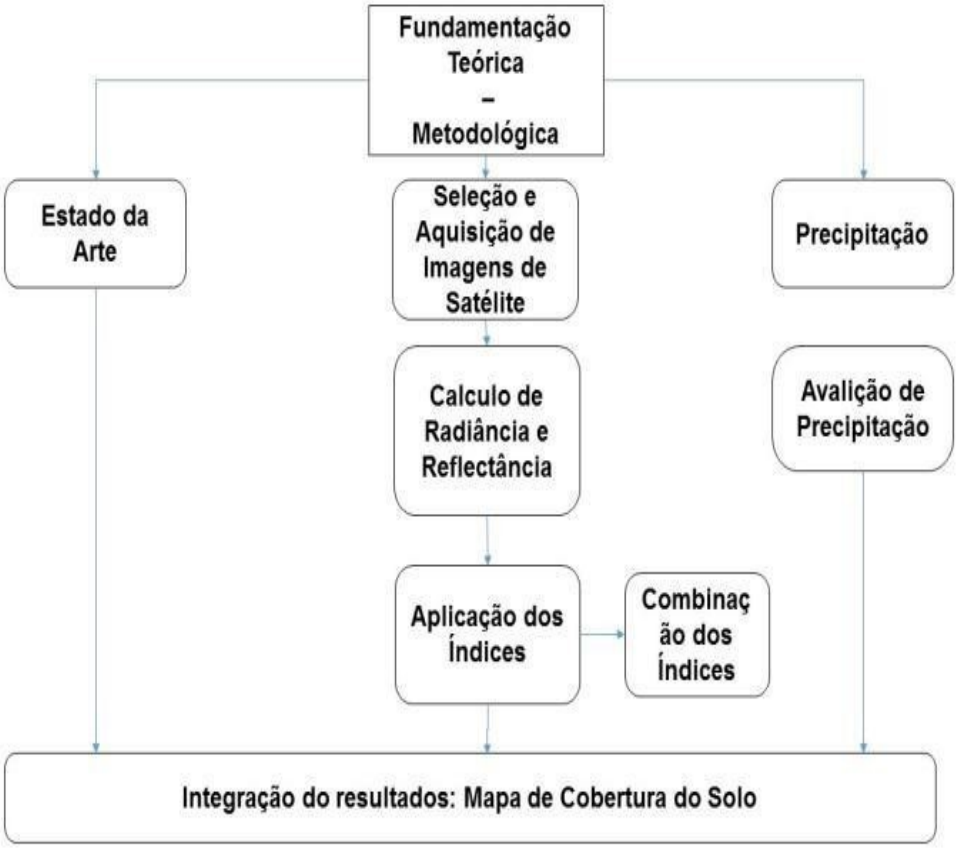
Para a terceira etapa, com o uso do *software* livre QGIS versão 2.18, as imagens do satélite CBERS-4, sensor MUX, foram processadas de forma a minimizar os efeitos atmosféricos. Posteriormente, as imagens das bandas espectrais do azul, vermelho e infravermelho próximo, sofreram combinações matemáticas que envolveram as etapas de soma, subtração e divisão para a formação dos índices físicos NDVI, EVI, GRVI e o NDVI – GRVI.

A aplicação dos índices de vegetação proporciona a classificação que tem por finalidade evidenciar as condições da vegetação da mata ciliar da Bacia do Ipanema.

Na quarta etapa, com os resultados obtido foram realizadas análise das respostas visuais e estatísticas extraídas a partir do índice Kappa.

A figura 4 apresenta o fluxograma com as etapas dos procedimentos metodológicos da pesquisa.

Figura 4 - Fluxograma metodológico.



Fonte: A autora (2020).

4.3.1 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

As imagens necessitam passar por uma etapa de processamento digital a fim de prepara-las para a classificação. No processo de conversão do número digital para valores de reflectância utilizou-se calculadora raster, para a correção das imagens e para o processamento dos índices físicos.

A calibração radiométrica foi proposta por Markham & Barker (1986) e consiste numa conversão do número digital para valores de reflectância aparente (equação 1).

Essa transformação foi aplicada para as imagens orbitais do satélite.

$$L\lambda i = ai + \frac{bi-ai}{255} ND \quad (1)$$

Onde: Lλ= radiância espectral de cada banda (Wm-2 sr-1 μm-1);

“a” e “b” = radiâncias espectrais mínimas e máximas (Wm-2 sr-1 μm-1);
ND = Número digital de cada pixel e Dn máx = 255, pois a resolução radiométrica para as imagens do satélite escolhido é 8 bits. Os valores utilizados para a radiância espectral mínima e máxima, ou seja, “a” e “b” conforme observado na tabela 5.

Tabela 5 - Coeficientes de Calibração

Banda	Δλ	λ min	λ max	ESUN λ
Banda 05	0,45 - 0,52	35,3	344,4	1985
Banda 06	0,52 - 0,59	25,7	361,8	1852
Banda 07	12,9 0,63 - 0,69		352,3	1559
Banda 08	0,77 - 0,89	8,9	275	1091

Fonte: Adaptado de INPE (2018).

A radiância monocromática, resultado da conversão, será utilizada na equação de Bastiaanssen (1995) e o resultado irá corresponder a uma nova imagem de reflectância monocromática. Segundo Pereira et. al. (1996), com o valor da reflectância é possível analisar e monitorar o comportamento de uma determinada cobertura vegetal a partir das respostas espectrais fornecidas devido às variações da estrutura vegetal (equação 2).

$$\rho\lambda i = \frac{\pi . L\lambda i}{k\lambda i . \cos(Zdr)} \quad (2)$$

onde:

ρλi= reflectância monocromática de cada banda;

Lλ= radiância espectral monocromática;

kλi= irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera;

Z = ângulo zenital solar no momento da aquisição e dr= quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r0) e a distância Terra-Sol em dado dia do ano.

A imagem de reflectância monocromático resultado deste processo apresenta valores físicos que serão utilizados na determinação dos índices de vegetação.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) apresenta uma variação entre -1 e +1, pela Equação 1, de Rouse *et al.* (1973) é obtido por (equação 3):

$$NDVI = \frac{p^*_{nir} - p^*_{red}}{p^*_{nir} + p^*_{red}} \quad (3)$$

Em que $p_{nir}{}^*$ e $p_{red}{}^*$, corresponde à reflectância na faixa do infravermelho próximo e vermelho, respectivamente.

O índice de vegetação realçado (EVI) é um NDVI modificado, é óbito pela equação 4 (FONSECA,2018):

$$EVI = G\ \frac{p_{nir} - p^*_{red}}{p^*_{nir} + C_1 p^*_{red} + C_2 p^*_{blue} + L} \quad (4)$$

Esse índice possui um fator de reajuste para solos (L) e dois coeficientes (C_1 e C_2) que descrevem o uso da banda azul para a corrigir a banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis.

Esses coeficientes (L, C_1 e C_2) são empiricamente determinados (assumindo valores de 6,0; 7,5 e 1,0 respectivamente). O G é um fator de ganho ajustado em 2,5. A utilização desse algoritmo tem melhora a sensibilidade para alta biomassa, permitindo melhor desempenho do monitoramento da vegetação através da influência do sinal proveniente do substrato abaixo do dossel através da reduz da influência atmosférica (Huete,1997).

O índice de Vegetação Verde-Vermelho (GRVI) permite a detecção do dossel em diferentes níveis de coloração da folha, obtida pela equação 5.

$$GRVI = \frac{\rho\ green - \rho\ red}{\rho\ green - \rho\ red} \quad (5)$$

Os índices são uteis para o monitoramento das condições e saúde da vegetação, a utilização da banda verde ($\rho\ green$) possibilita uma detecção melhorada quando a coloração da folha estiver alterada.

Foi elaborado mais 3 índices físicos a partir do NDVI, GRVI e EVI. A combinação dos índices segue a sequência abaixo:

$$NDVI - GRVI \quad (6)$$

$$EVI - NDVI \quad (7)$$

$$NDVI + GRVI \quad (8)$$

A combinação final dos índices tem como finalidade aumentar a sensibilidade dos alvos, uma vez que, as junções de dois resultados com suas respectivas respostas podem resultar em uma análise mais precisa.

Vários fatores podem contribuir para a resposta baixa da água, dentre elas podemos destacar a quantidade de resíduos, a profundidade, a presença de vegetação dentro dos corpos hídricos e sua extensão.

Para determinar a acurácia na classificação e determinar a área em Km² usouse a ferramenta Aca Tama. A avaliação qualitativa da classificação aplicada na imagem, pode apresentar-se satisfatória quanto à análise visual, porém, não é suficiente quando se deseja avaliar corretamente o resultado dos índices. Assim, foram escolhidos parâmetros estatísticos com a finalidade de avaliar o resultado da classificação, ou seja, foi aplicada uma avaliação quantitativa para reforçar a análise visual. Para esta análise utilizou-se o cálculo do coeficiente Kappa (^ k), como principal informante sobre discrepâncias ou similaridades entre os produtos cartográficos.

A partir do trabalho de Congalton e Mead (1983), a aplicação da estatística Kappa foi difundida nas linhas de pesquisa em Sensoriamento Remoto, com a finalidade de verificar similaridades entre fotografias aéreas classificadas e verdade terrestre, e também comparações entre diferentes classificações de fotografias aéreas. Como exemplo de utilização pode-se verificar o trabalho de Moreira filho (2012).

Para Filho (2012), o cálculo de Kappa é necessário construir a matriz de confusão que exibe a quantificação de acertos e erros quanto à classificação realizada para cada alvo, sendo expostos os valores de verdade do terreno como colunas e a classificação nas linhas.

A matriz de erros ou confusão apresenta de forma resumida os resultados da classificação digital ou fotointerpretação em relação à imagem referência, onde

teremos então uma distribuição binomial. Cada frequência observada na matriz corresponderá também a uma frequência esperada, a qual é calculada sob uma determinada hipótese de acordo com as regras da probabilidade (PRINA,2015).

A frequência observada na diagonal (Xii) apresenta a concordância entre o esperado e observado em cada categoria, ou seja, aqueles corretamente classificados.

Após a construção da matriz de confusão, torna-se possível o cálculo de Kappa, por meio da Equação 6.

$$\hat{k} = \frac{n\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r} x_{i+}x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^{r} x_{i+}x_{+i}}$$

(6)

Onde,

K é uma estimativa do coeficiente Kappa; xii é o valor na linha i e coluna i ; x i+ é a soma da linha i; e x+i é a soma da coluna i da matriz de confusão; n é o número total de amostras e c o número total de classes.

n : tamanho da amostra; r é o número de alvos;

Para auxiliar a interpretação dos valores de acurácia das classificações, foram utilizados como limiares dos índices Kappa, os intervalos definidos por Landis e Koch (1977), expressos na tabela abaixo, mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Limiares do Kappa

Valor Kappa	Interpretação do resultado
≤ 0,00	Péssimo
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Bom
0,61 a 0,80	Muito Bom
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de INPE (2018).

O resultado obtido pelo coeficiente Kappa, varia no intervalo de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo a 1, melhor a qualidade dos dados classificados.

Para ter maior acurácia e por representar uma área grande foram geradas 100 amostras em todas as imagens, divididas entre as classes de solo exposto e vegetação, geradas de forma automática pelo programa.

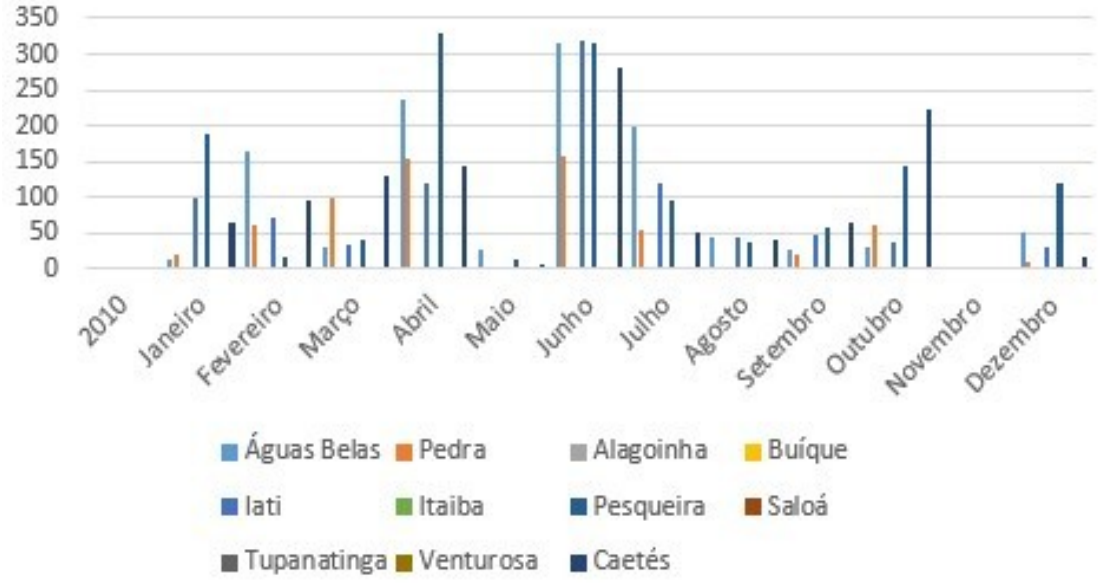
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O conhecimento da precipitação durante o ano é um fator determinante para estimar a necessidade de irrigação de culturas, abastecimento de água doméstico e industrial. Tornando assim, o conhecimento sobre a precipitação um requisito fundamental, socioeconômico de uma região ou bacia hidrográfica.

Como a bacia hidrográfica do rio Ipanema está inserida com maior abrangência no estado de Pernambuco, buscou-se considerar os dados de temperatura e pluviometria da zona do Agreste que corresponde a sua localização (FONSECA, 2018).

Sendo a erosão hídrica a forma mais intensa de degradação do solo no Brasil, é de fundamental importância conhecer a pluviometria para avaliar o solo sem a erosão e com menos nuvens, proporcionando assim uma maior sensibilidade para os índices. Para um estudo completo, foi estudado a pluviometria no intervalo entre os anos de 2010 e 2020. A ausência de informações pluviométricas de algumas cidades se deve ao fato das mesmas não disponibilizarem as informações, variando em alguns meses e anos, mostrados na Figura 5 a precipitação para 2010.

Figura 5 - Precipitação de 2010



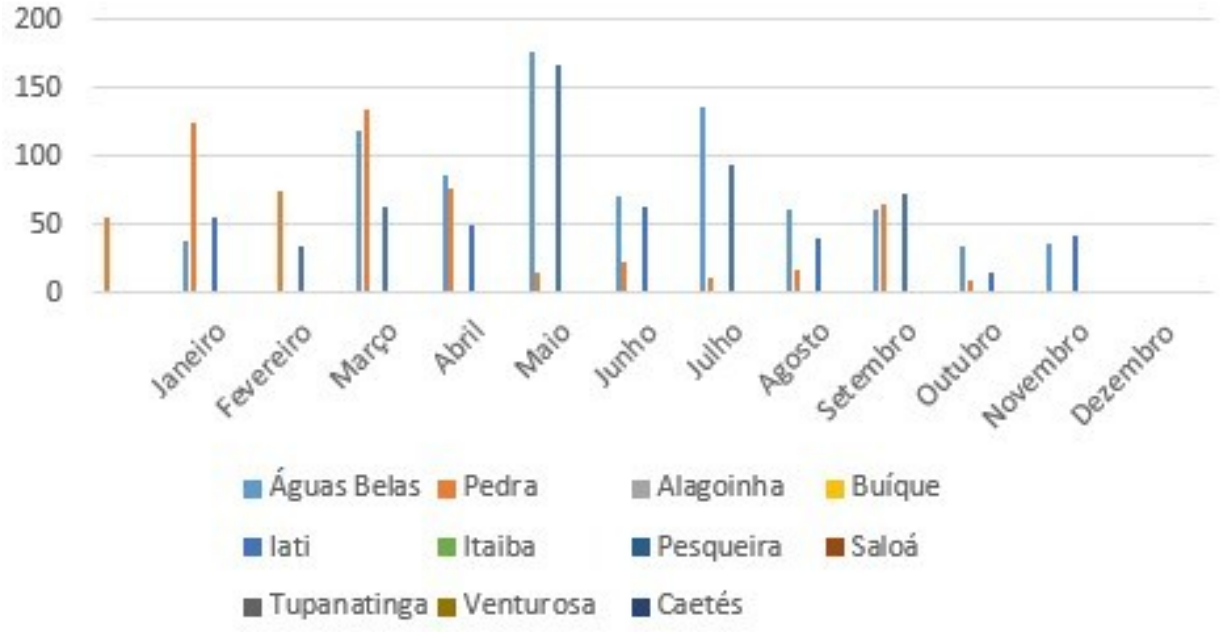
Fonte: APAC, 2020.

Foi observado que no ano de 2010, o mês de maio apresentou um baixo valor em milímetros de chuva, e em apenas duas cidades, Águas belas, Iate, Pesqueira e

Caeté. Os últimos meses do ano apresentaram valores baixos, com ênfase no mês de novembro, onde não se tem registo de nenhuma chuva.

O volume de chuva do ano de 2011 está expresso na Figura 6.

Figura 6 - Precipitação de 2011

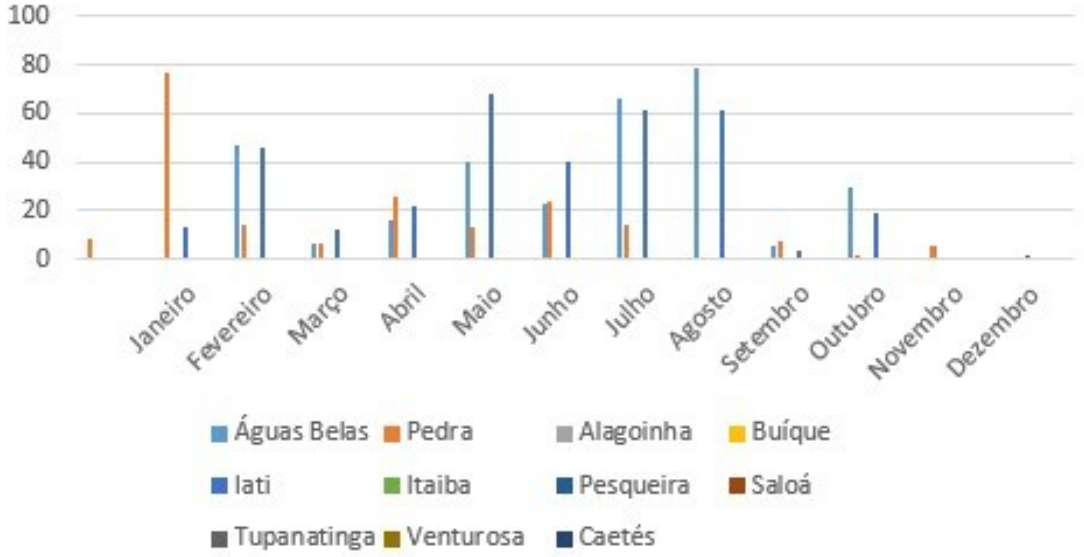


Fonte: APAC, 2020.

A precipitação do ano de 2011 apresenta uma constância entre as cidades que apresentaram chuvas durante o ano. As cidades de Águas Belas, Iati e Pedra apresentaram chuvas em quase todos os meses, com ênfase nos meses de maio e junho, em que Águas Belas e Iati apresentaram quase 200 milímetros de chuvas.

A maior precipitação apresentada pelo município de Pedra foi durante o mês de março, aparentando 147 milímetros de chuvas. Os valores de precipitação revelam uma estação menos chuvosa, que corresponde aos meses de agosto, setembro, outubro, novembro e em especial à dezembro, que não apresentou nenhum evento ou nenhuma informação pluviométrica desse mês para nenhum município listado. Os eventos do ano de 2012 estão listados na Figura 7.

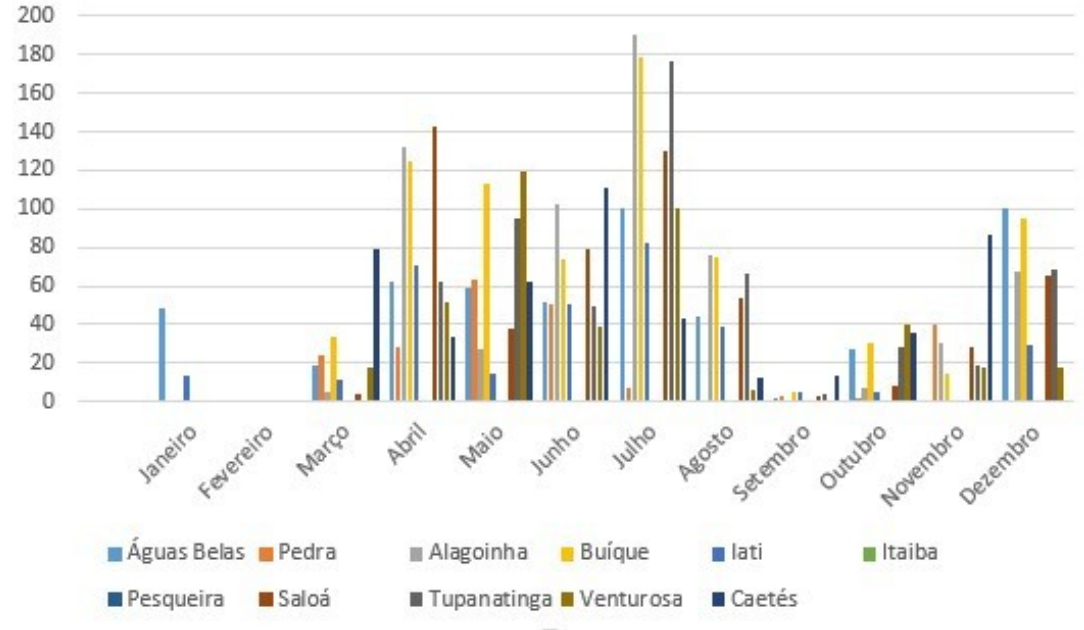
Figura 7 - Precipitação de 2012



Fonte: APAC, 2020.

A precipitação do ano de 2012 apresentou variação entre Pedra, Águas Belas e Iatí. Em janeiro o município de Pedra apresentou 78 milímetros de chuva e em agosto o município de Iatí obteve 79 milímetros. As leituras milimétricas do ano de 2013 está expressa na Figura 8.

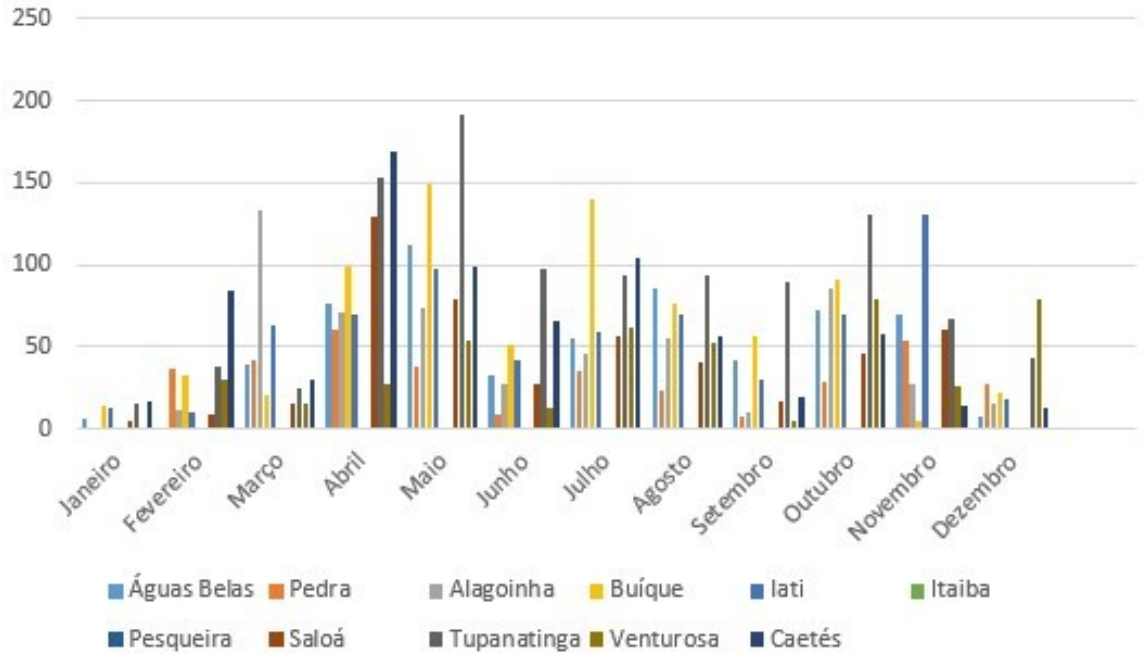
Figura 8 – Precipitação de 2013



Fonte: APAC, 2020

A precipitação do ano de 2013 aprestou uma anormalidade no mês de fevereiro, não parentando nenhum valor de precipitação. A cidade de Alagoinha apresentou a maior precipitação do ano, 146 milímetros de chuva no mês de julho. Os eventos chuvosos para o ano de 2014 estão expressos na Figura 9.

Figura 9 - Precipitação de 2014



Fonte: APAC, 2020.

Utilizando os dados da APAC, no agreste a predominância da chuva está entre os meses de março e agosto, com maior quantidade de chuva em mm nas cidades de Pedra e Buíque. Os dados pluviométricos de 2014 se mostram mais completos, a importância da coleta e disponibilidade das informações nesse ano foram evidentes.

A média de precipitação do período úmido, considerado neste estudo, foi de 149,7mm, compreendendo os meses de março a agosto. Já o período seco, possui uma média de precipitação pluviométrica de 38,4mm, compreendendo os meses de novembro a janeiro. Já a precipitação média mensal de todos os meses do ano, é de aproximadamente 85,6mm.

Os dados do ano de 2015 foram mais detalhados, pois foi o ano de escolha das imagens para a pesquisa. A Tabela 7 abaixo apresentam algumas das cidades que compõem a bacia e no qual constam os dados pluviométrico.

Tabela 7 – Precipitação anual de 2015

Cidade	Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Águas Belas	2015	10,7	51	17,6	51,6	34,6	197,3	130,3	30,4	18,2	3,9	-	36,2
Pedra	2015	-	65	25,4	7,7	18	25,9	42,9	5,2	7	-	-	17
Alagoinha	2015	-	92	78	19	10	25,5	82,4	16	3	0,5	-	14
Buíque	2015	6,2	17,3	102,3	22,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Iati	2015	12,7	24,4	7,4	33,2	7,2	70,1	80,2	5,9	-	-	-	-
Itaiba	2015	10	3	5,6	15,2	22	72	108	34	16	-	-	10
Pesqueira	2015	18	64,3	3,7	54,2	5	59,2	70,1	30,6	7,2	2,4	-	21
Saloá	2015	-	48,8	10	18	6,5	59,5	86,7	17,6	8	2,4	-	36,2
Tupanatinga	2015	10	18	27	63	118	173	88,3	36,2	4,6	4,6	-	92,4
Venturosa	2015	12	85	48	36	29	30	72	10,3	1,2	-	-	18,5
Caetés	2015	11,5	25,4	9,1	55,2	32	69,8	118,7	22,1	11,4	6,2	1,1	37,7

Fonte: APAC, 2020.

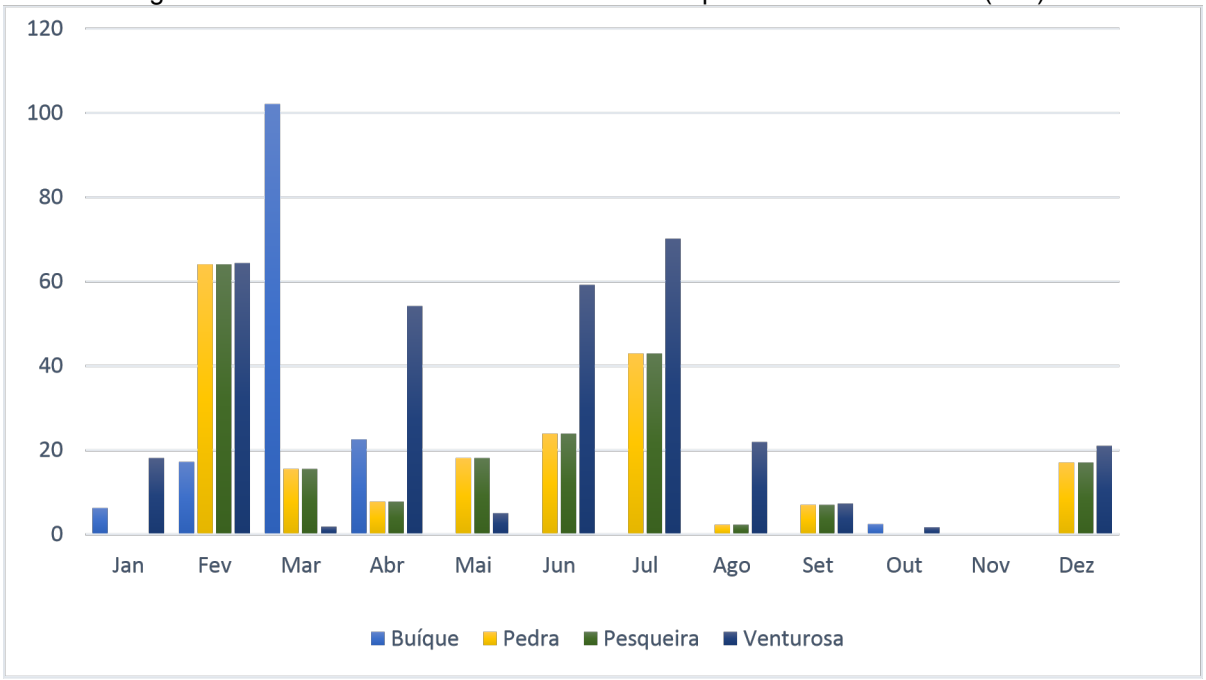
A distribuição espacial dos totais mensais de chuva, representam uma menor incidência nos meses de outubro, novembro e dezembro. O mês de novembro aponta apenas 1,6 mm de chuvas em duas cidades da bacia, no entanto com cobertura de 40% de nuvens nas imagens, tornando-as inviáveis para estudos em sensoriamento remoto.

Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), os municípios pernambucanos totalmente inseridos na bacia são Águas Belas e Pedra. Aqueles que apresentam sua sede na bacia são Alagoinha, Buíque, Iatí, Itaíba, Pesqueira, Saloá, Tupanatinga e Venturosa, enquanto os parcialmente inseridos na mesma são Arcoverde, Bom Conselho, Caetés, Ibimirim, Manari e Paranatama. Para aquisição confiável dos dados pluviométricos, foi analisado a precipitação diária de chuvas durante os meses de novembro e dezembro em todas as cidades inseridas na bacia para explanar a escolha correta da data da imagem.

A compreensão do ritmo climático se completa com a análise do regime pluvial, ou seja, da distribuição mensal das chuvas. Na análise das condições pluviométricas da bacia do Rio Ipanema, publicado pela APAC para o ano de 2015 informa a situação dos principais reservatórios da bacia do Rio Ipanema, que são os açudes de: Arcoverde, Ingazeira, Ipaneminha, Mororó e Mulungu, situados nos

municípios de Venturosa, Pesqueira, Pedra e Buíque, respectivamente, mostrado na Figura 10.

Figura 10– Pluviometria mensal da Bacia do rio Ipanema o ano de 2015 (mm)

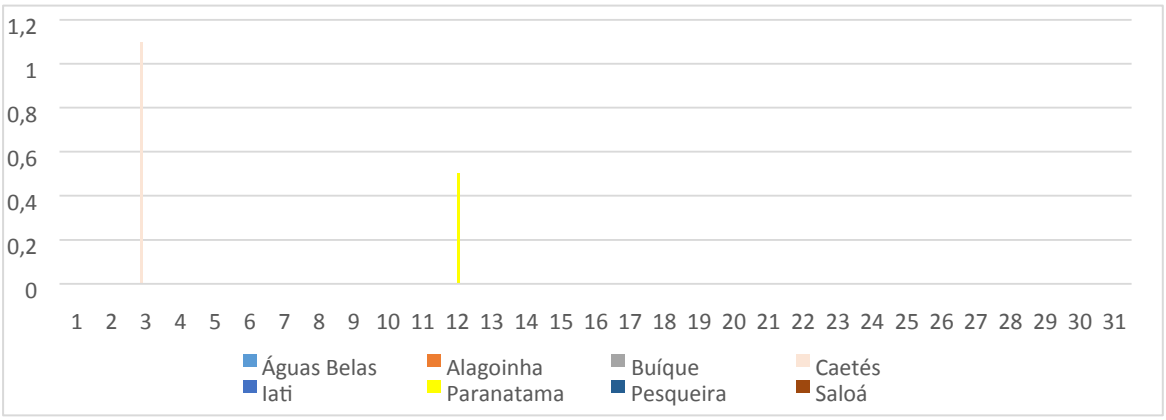


Fonte: APAC, 2019.

Apenas Caétes e Paranatama apresentaram valores pluviométricos, de 1,1 mm e 0,5 mm nas cidades de Caetés e Paranatama respectivamente representado na Figura 11. Os resultados, como um todo, indicam modificações nos volumes acumulados mensais de chuva.

Uma vez que o clima está presente no cotidiano da sociedade e influencia diretamente a maioria de suas ações, estas modificações podem implicar em impactos nas atividades sociais, econômicas e até culturais.

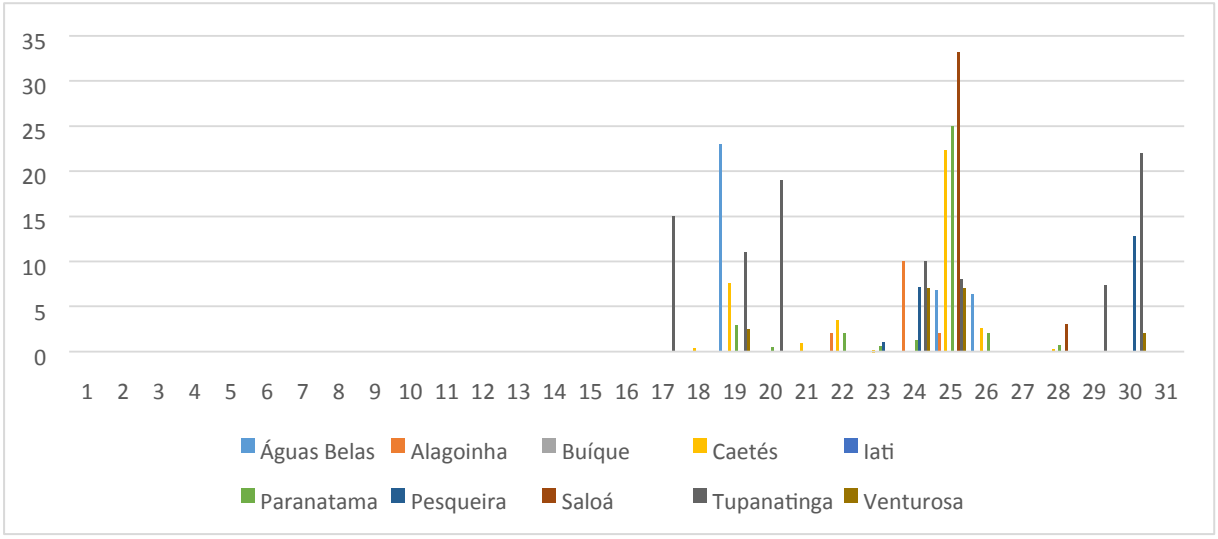
Figura 11 - Precipitação do mês de novembro de 2015



Fonte: APAC,2020.

No mês de dezembro foi observada uma precipitação média de 19,9 mm, nas cidades de Águas Belas, Alagoinha, Caetés, Paranatama, Pesqueira, Saloá, Tupanatinga, Venturosa conforme observado na Figura 12, não afetando o resultado da pesquisa, já que a ocorrência desse evento foi após a data das imagens usadas nesse estudo.

Figura 12 - Precipitação do mês de dezembro de 2015



Fonte: APAC,2020.

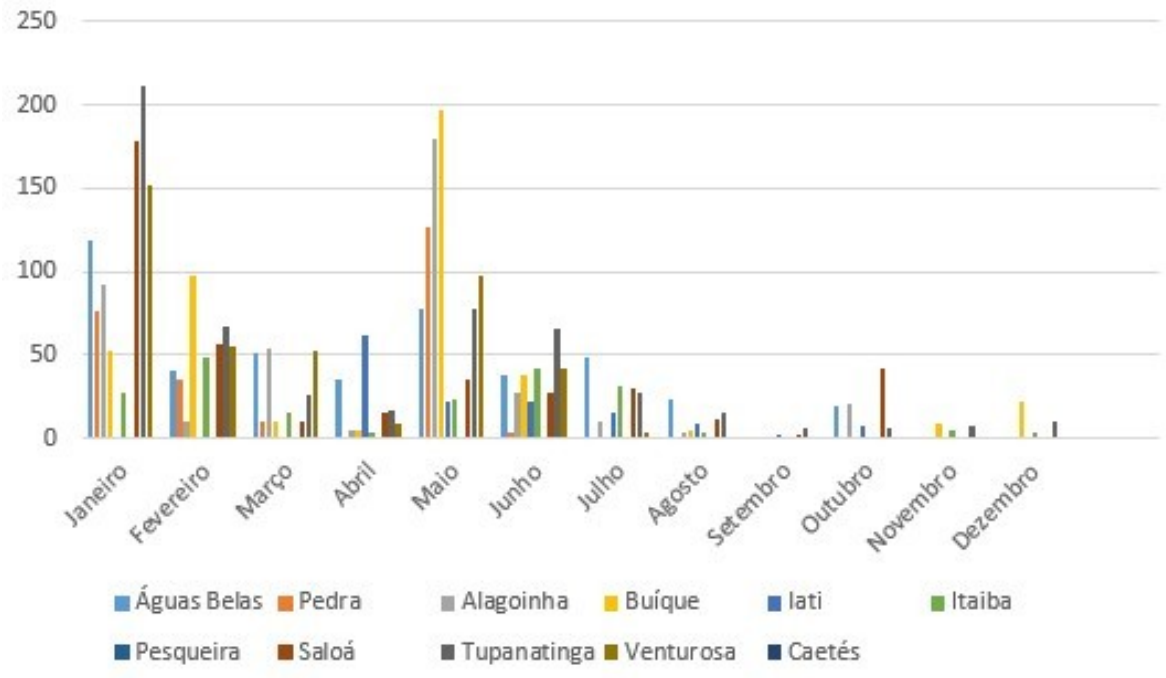
Sem a umidade no solo pela ausência de chuvas dos dias 13/11/2015 à 06/12/2015 (25 dias) e com cobertura inferior a 20% de nuvens torna a escolha da imagem do dia 07/12/2015 a melhor opção para o estudo.

Avaliando a Pluviometria é possível entender o comportamento e as respostas dos índices de vegetação utilizados, pois estes são influenciados pela presença de umidade no solo.

O agreste, por ser considerado uma região intermediaria, entre climas úmidos e secos, apresenta disparidade entre áreas, pode em algumas vezes aparentar duas características,

Uma particularidade é observada nos dados do ano de 2016, a maior contração de chuvas está entre os meses de janeiro e junho, com média de 102,92 mm, expostos na figura 13.

Figura 13– Precipitação entre os anos de 2016

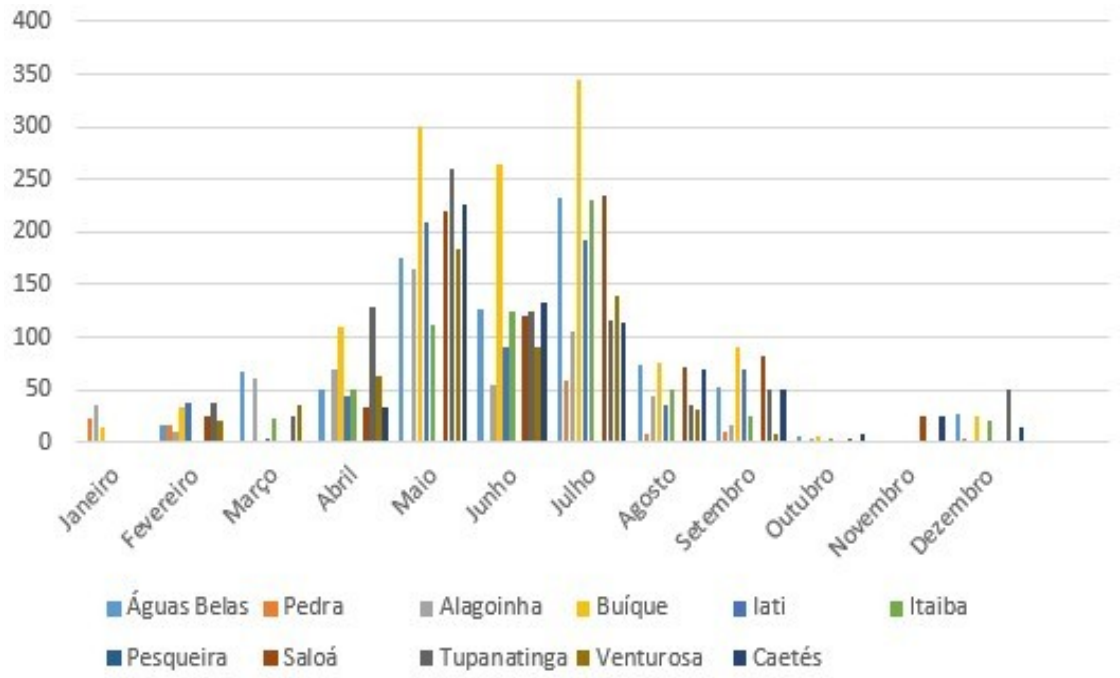


Fonte: APAC, 2020.

Os dados pluviométricos do ano de 2016 expõe o município de Tupanatinga com maior pluviometria, 213 milímetros de chuvas durante o mês de janeiro. A segunda maior pluviometria pertence ao município de Buíque durante o mês de maio. Verificou-se um média de 42 milímetros de chuvas entre os meses chuvosos e

apenas 7 milímetros entre os meses de setembro e dezembro. As chuvas referentes ao ano de 2017 foi exporta pela Figura 14.

Figura 14 - Precipitação de 2017



Fonte: APAC, 2020.

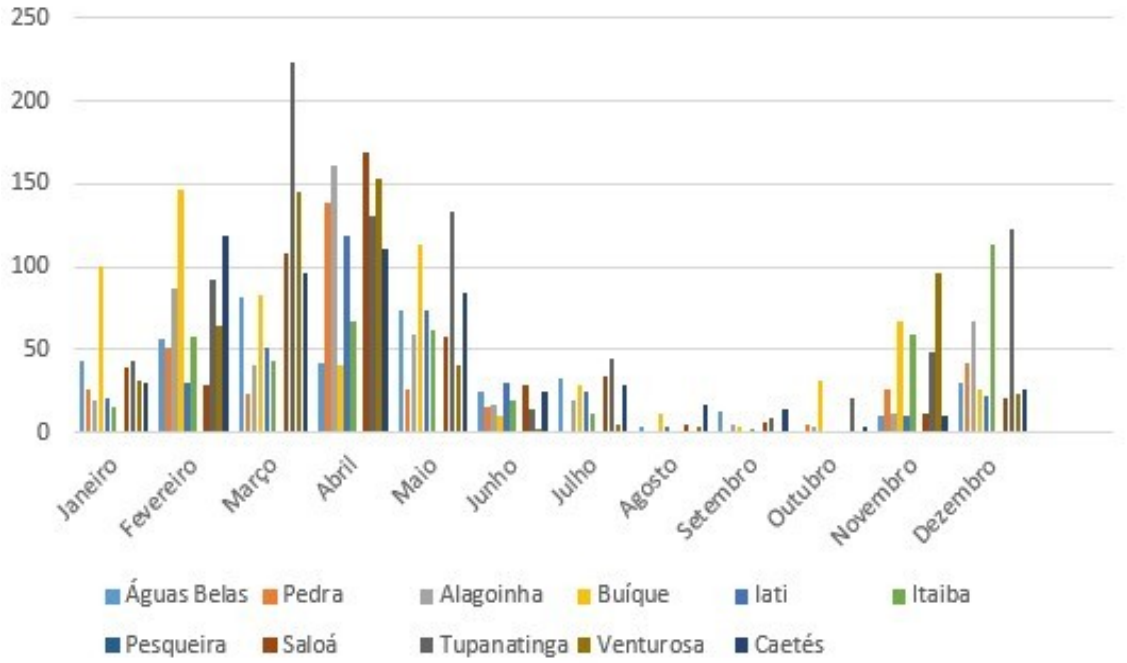
As maiores diferenças dos resultados pluviométricos ocorreram nos meses de abril a setembro, visto que ocorrem maior umidade e aumento da temperatura durante esta época do ano, que por sua vez possibilita a maior ocorrência de chuvas.

A cidade de Buíque merece destaque, apresentado a maior pluviometria nos meses de abril a setembro, com valores de 349,8 milímetros no mês de junho. Apenas o município de Saloá expõe valores pluviométricos no mês de novembro.

O município de Caétes apresentou uma pluviometria de 254 milímetros durante o mês de maio, possuindo eventos chuvosos com baixas leituras pluviométricas em quase todos os meses do ano de 2017.

Os valores pluviométricos do ano de 2018 estão expostos na Figura 15.

Figura 15 - Precipitação de 2018



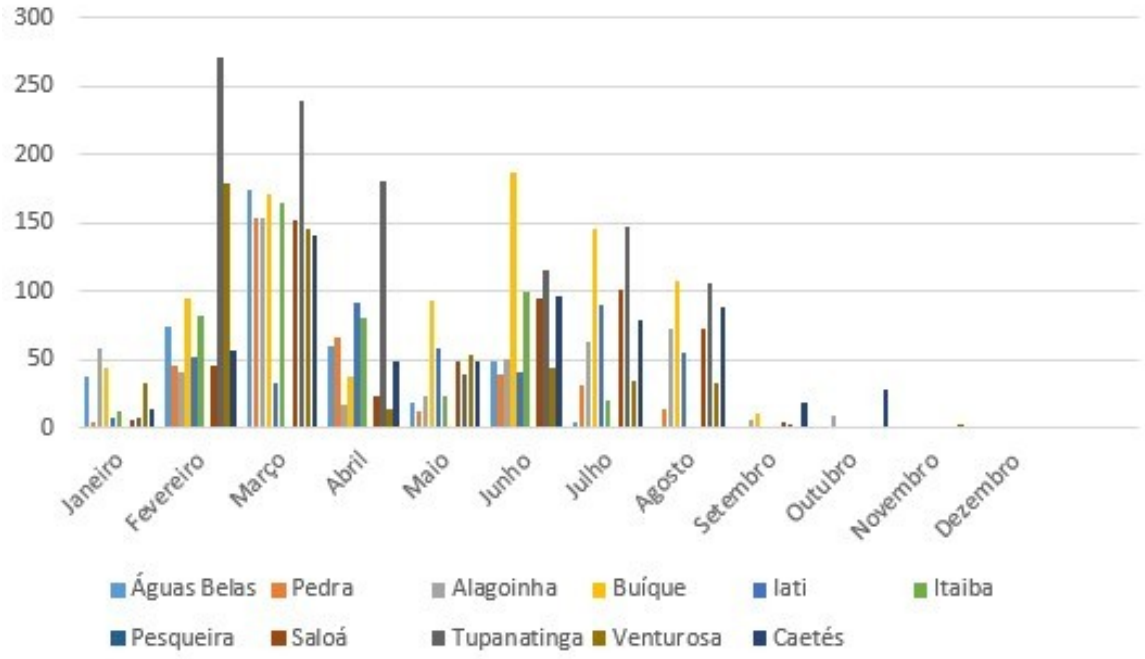
Fonte: APAC, 2020.

A análise exploratória dos dados revelou que a precipitação mensal que se comporta de forma diferenciada entre os meses do ano, definindo claramente um período seco, com precipitação abaixo de 50 milímetros por mês, e um período chuvoso, com precipitação acima de 100 milímetros por mês.

A maior leitura registrada durante o ano pertence ao município de Caetés, apresentando 229 milímetros durante o mês de março. Quase todos os municípios representados na figura apresentaram eventos chuvosos durante os meses de janeiro a julho, observando uma redução nos meses de agosto, setembro e outubro dos eventos chuvosos.

Os dados do ano de 2019 estão expostos na Figura 16.

Figura 16 - Precipitação de 2019



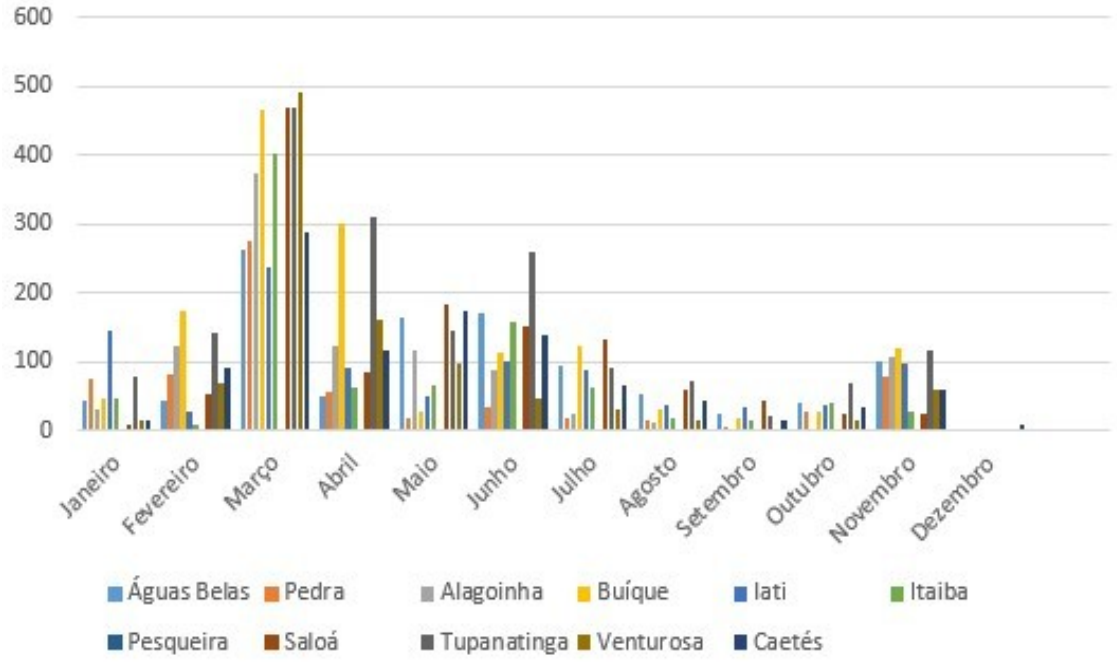
Fonte: APAC, 2020.

A análise dos dados pluviométricos do ano de 2019 determinou que o período mais chuvoso foi registrado nos meses de fevereiro, março, abril, maio, junho, julho e agosto ocorrendo chuvas acumuladas acima de 50 milímetros em quase todos os munícipios expostos na figura.

O mês de março se mostrou mais chuvoso. O mês apresentou mais de 150 milímetros em quase todos os munícios, apenas Iatí aparentou chuva acumulada inferior a 30 milímetros. Durante os meses de setembro, outubro novem e dezembro, obteve baixas ou total ausência de leituras pluviométricas durante o ano.

A análise dos valores pluviométricos do ano de 2020 está expresso na Figura 17.

Figura 17 - Precipitação de 2020



Fonte: APAC,2020.

As leituras permanecem semelhantes entre os anos de 2017 e 2020, tento o período chuvoso entre os meses de março e agosto. A média de precipitação do entre os meses de março e agosto, considerado neste estudo, foi de 122,4mm, menor que os anos de 2010 até 2014. Para o período de estiagem, a média de precipitação pluviométrica de 57,2mm, para o período que compreende os meses de novembro a janeiro. Já a precipitação média mensal de todos os meses do ano, é de aproximadamente 93,1mm.

5.1 ÍNDICES FÍSICOS

Os resultados desta pesquisa seguiram o fluxo de atividades presentes na Figura 4. Através desta metodologia foi possível classificar as 6 composições formadas a partir das 3 bandas do sensor MUX, que possibilitou a análise visual das definições das classes, a análise visual, e numérica por meio do cálculo dos índices Kappa. Cada índice apresenta valores diferenciados, uma vez que cada um deles possuem formulação e utiliza diferente bandas.

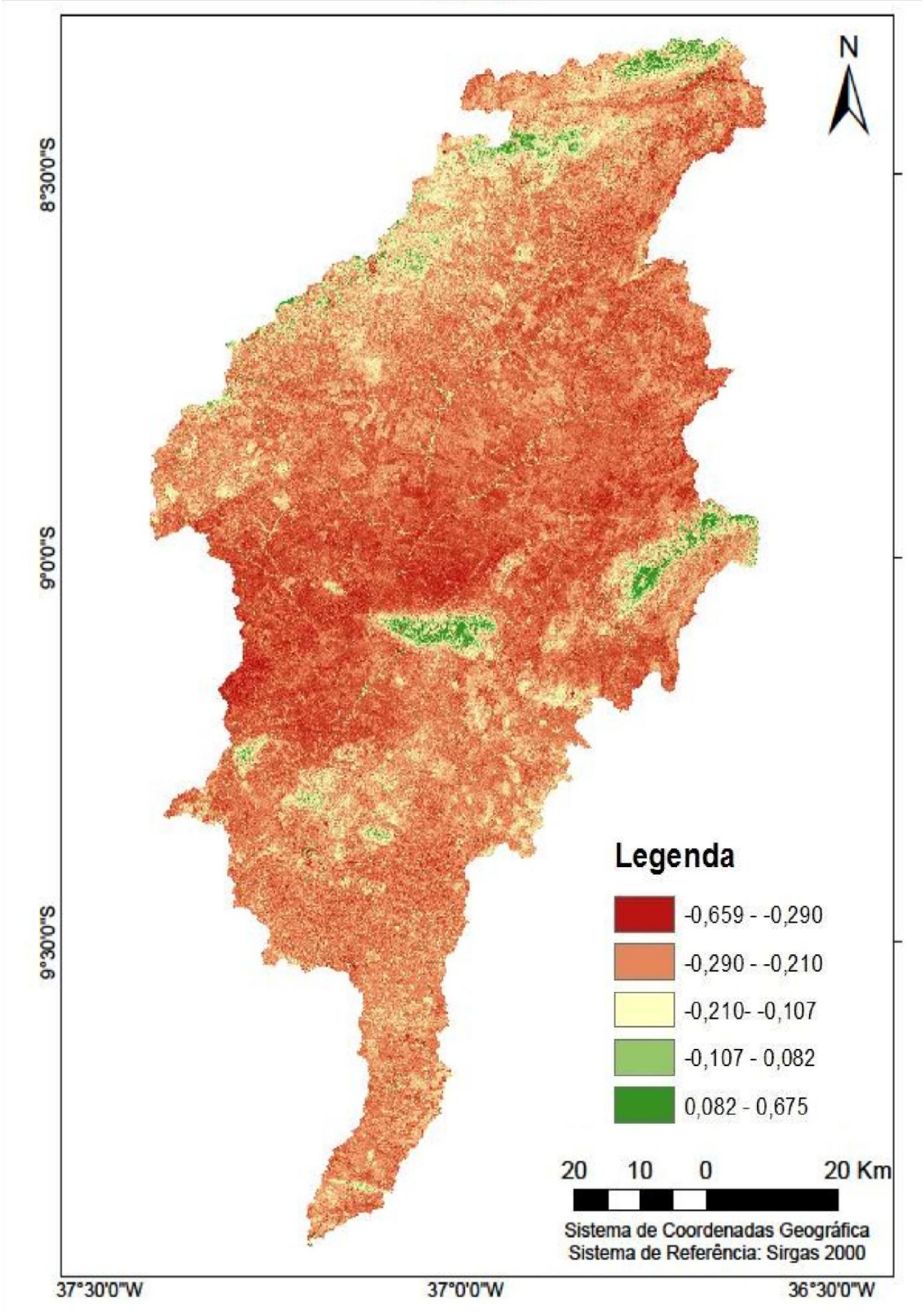
O objetivo entre as comparações é expor a discrepância entre os índices em uma mesma região. As classes temáticas escolhidas para a representam visual foram: solo arenoso, solo rochoso, vegetação densa, vegetação gramínea. Para o NDVI, seu principal destaque está nas áreas vegetadas, assim como no entorno do rio e dos açudes e em regiões onde a presença de vegetação está aparente. Ainda sobre este, as repostas espectrais apresentam níveis de cinza elevados nos corpos hídricos o que indicaria presença vegetal dentro da mesma.

O resultado apresentado no IV NDVI destaca que a mata ciliar está bastante degradada por toda a extensão do curso principal com piora significativa nas áreas centrais da bacia. Isto pode ser justificado pela baixa precipitação, retirando toda a umidade do solo contribuído para a perda de vegetação, aliados a pouca quantidade de corpos hídricos na região, o que influência diretamente na cobertura vegetal somada a estação climática, pois as imagens usadas para esse estudo correspondem ao mês de dezembro que está inserido no período de estiagem do agreste.

Em um ambiente natural, o ciclo da água vai desde as chuvas, amortecidas pelas folhas, seguido pela penetração mais lenta no solo, para abastecimento infiltrando e fazendo a recarga de mananciais e do sistema superficial hídrico local, mas no agreste isso não acontece. A falta de amortecimento faz a água escorra superalimente, sem pouca penetração no solo, com essa rasa permeabilidade o solo perde essa umidade assim que as temperaturas sobem.

Para esse estudo o NDVI apresentou seus valores de máximo e mínimo variando entre: 0,675 e -0,659 respectivamente, sendo classificados em cincos intervalos. Para os resultados entre 0,107 e 0,675 destacou-se a vegetação característica na bacia hidrográfica do Rio Ipanema e entre 0,082 à -0,659 têm-se os diferentes níveis de solo exposto. A figura 18 abaixo apresenta o resultado gerado pelo IV NDVI.

Figura 18 – NDVI da Bacia de Ipa



Fonte: A autora (2020).

Usando a ferramenta de Aca Tama no programa Qgis, determinou-se a acurácia da fotointerpretação de uma amostra de 100 pontos. As amostras foram determinadas de forma aleatória para 4 categorias, vegetação arbórea, vegetação gramínea, e diferentes tipos de solo exposto.

A leitura dos pixels no NDVI nas determinadas classes evidenciou que a maior porcentagem da bacia é de solo exporto, com valores de pixels entre 0,0311 – 0.819 e médio exposto na Tabela 8. Uma vetorização manual foi necessária para determinar a área em quilômetros de todos os índices, tornando o resultado mais preciso.

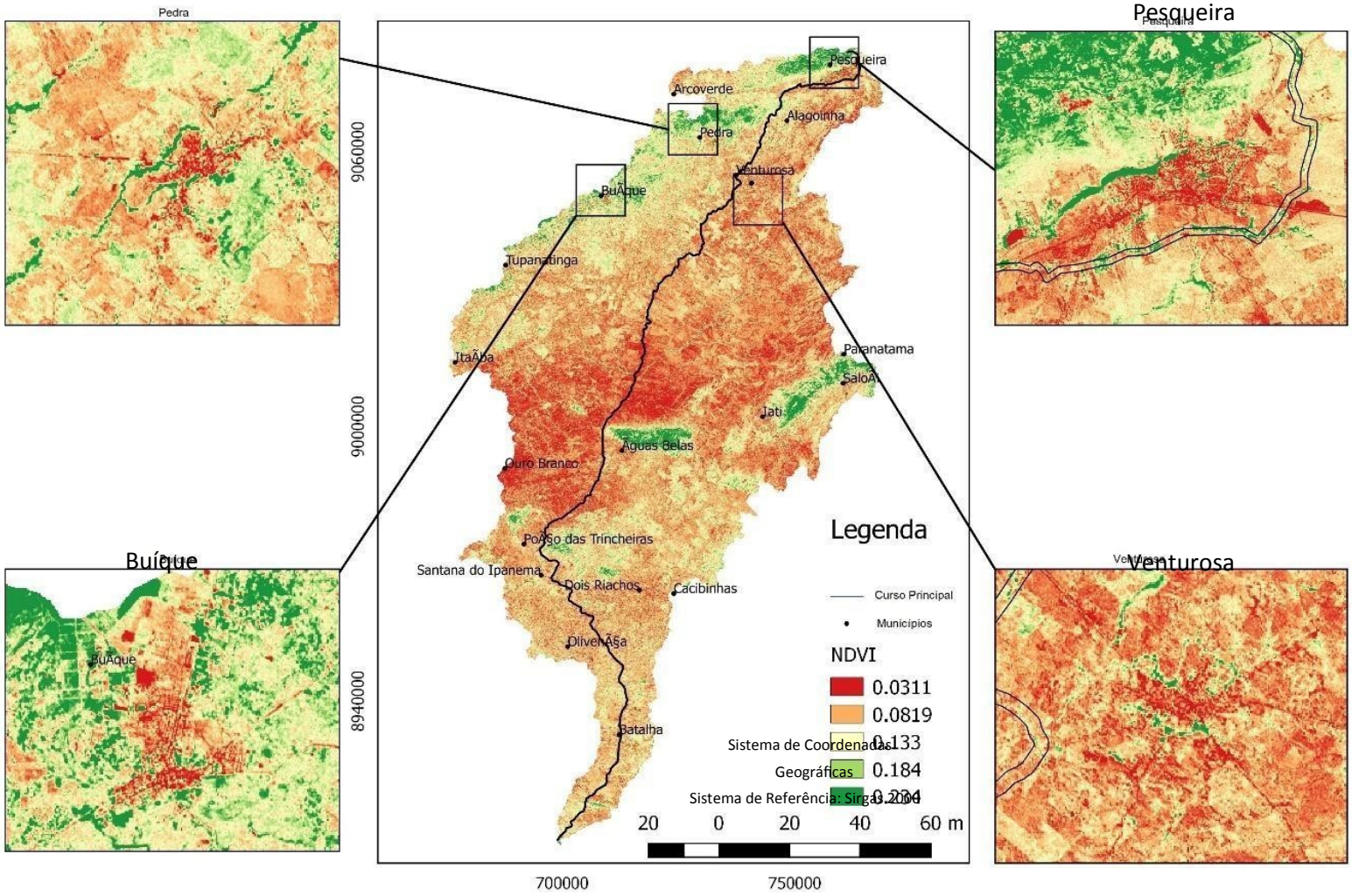
Tabela 8 - Histograma de classes do NDVI

Classes	Valor do NDVI	Quantidade de Pixels	Área em Km² da APP
Solo exposto	-0,659 à -0,290	2533964	106,5
Solo de média exposição	-0,291 à -0,210	64126578	98,14
Solo menos denso	-0,209 à -0,107	53876548	85,25
Vegetação graminea	-0,106 à 0,082	33125698	24,15
Vegetação arbórea	0,083 à 0,675	966543	7,2

Fonte: A autora (2020).

É importante salientar as respostas das cidades que mais contribuem com a lâmina d'agua do rio Ipanema são: Venturosa com o rio Cordeiro e principal tributário do rio Ipanema, a cidade de Pesqueira com o reservatório Ipaneminha, A cidade de Pedra com o reservatório de Mororó e Buíque como o reservatório de Molungu, possuem valores variados. Esses municípios se encontram no norte da bacia, como exposto pela Figura 19. Venturosa apesar de ser a maior contribuinte com a vazão do rio e apresentou os menores valores. As respostas visuais para os municípios de Pesqueira e Venturosa foram satisfatórias, podendo inclusive visualizar o açude evidenciado pelo IV NDVI. Já para as cidades de Pedra e Venturosa foi observado apenas manchas verdes nos centros urbanos e indivíduos isolados de vegetação

Figura 19 – Cidades com principais reservatórios da bacia do Rio Ipanema Pedra



Fonte: A autora (2020).

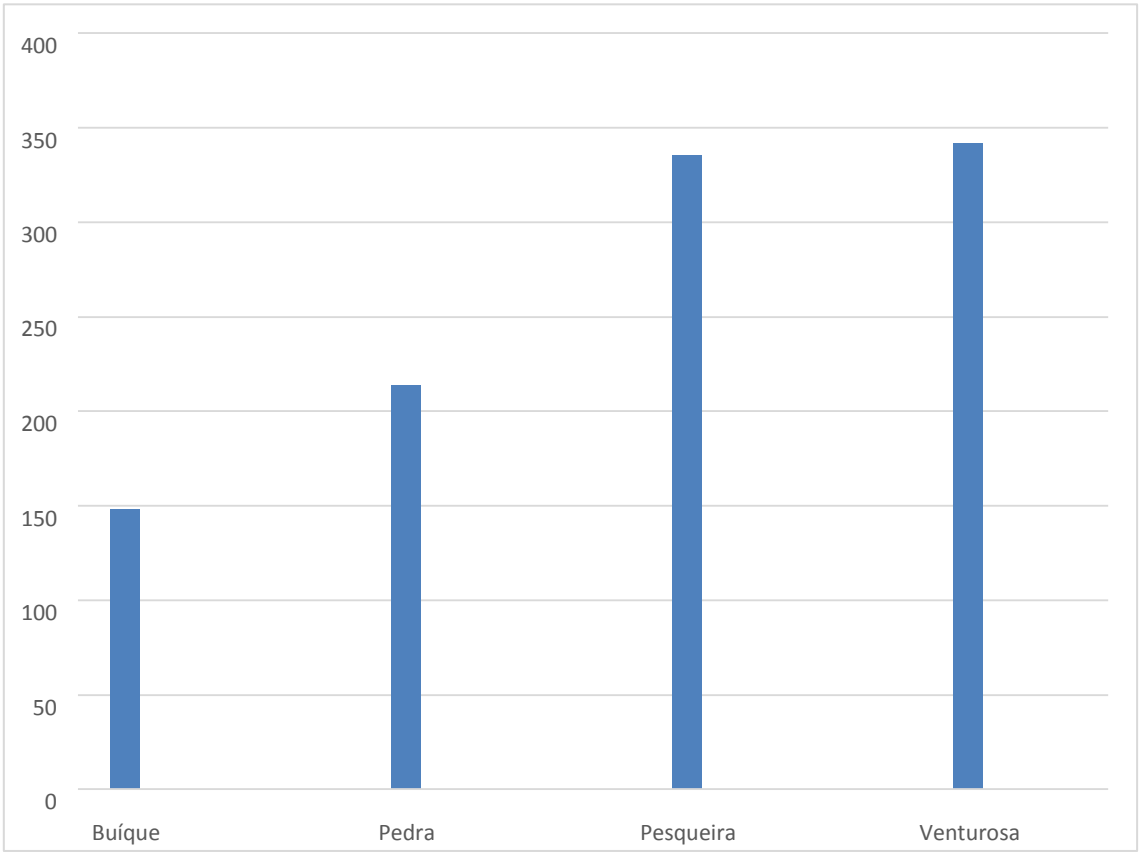
O NDVI evidenciou que Buíque apresenta maior quantidade de vegetação densa, se comparado a Venturosa, Pesqueira e Pedra. Isso ocorre porque este município apresenta um reservatório com capacidade de 16.800 m³, maior que o somatório das outras 3 cidades, conforme se observa na Tabela 9. Mesmo Buíque possuindo o menor percentual de anual de precipitação representado na Figura 20, explicado pelo a existência de vários riachos, lagoas e o açude Mulungu.

Tabela 9 – Capacidade em M³ dos reservatórios

Cidade	Volume do Açude
Buíque	16.800,000 m³
Venturosa	4.800,000 m³
Pesqueira	3.900,000 m³
Pedra	2.929.682 m³

Fonte: APAC,2020.

Figura 20 – Precipitação anual (mm)

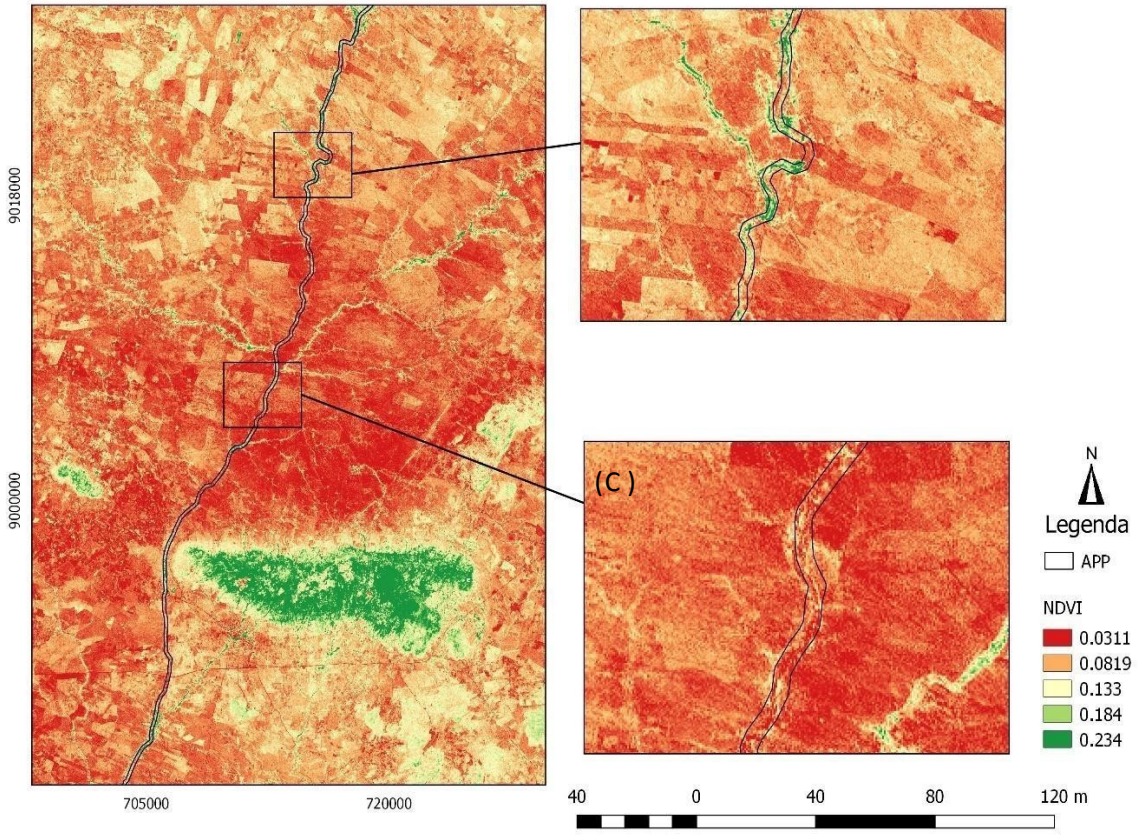


Fonte: APAC,2020.

Visualmente nesse trecho do rio é possível observar algumas correspondências entre as feições apresentadas na imagem 10 e as respostas espectrais da Figura 19 acima. Nelas são observadas uma possível concordância entre a imagem e as respostas espectrais resultantes pelo NDVI, em destaque para as classes de cobertura vegetal e solo exposto.

O comportamento espectral da região central da bacia é bem evidente, com os valores mais próximos a -1. A baixa umidade característica da região do agreste, somado a época de estiagem afeta o crescimento vegetativo como mostra a Figura 21. Os valores predominantes são 0,0311 e 0,0819, representando solo exposto e solo de média exposição respectivamente. O Solo exposto representou 28,1 km² bem definido pela figura 21 c, exibindo um trecho rio sem vegetação aparente.

Figura 21 – Região central da Bacia de Ipanema



Fonte: A autora (2020).

A Figura 21 mostra eventos isolados de vegetação em vários pontos da bacia. Na figura 21(A) tem uma extensão considerável de vegetação densa dentro do limite da área de preservação permanente pela presença de uma serra.

Na 21 (B) expressou uma presença de vegetação no leito do rio e solo exposto e em alguns pontos no centro devido à ausência de chuvas e a diminuição significativa da lâmina d'agua indicado na Figura 22, abaixo.

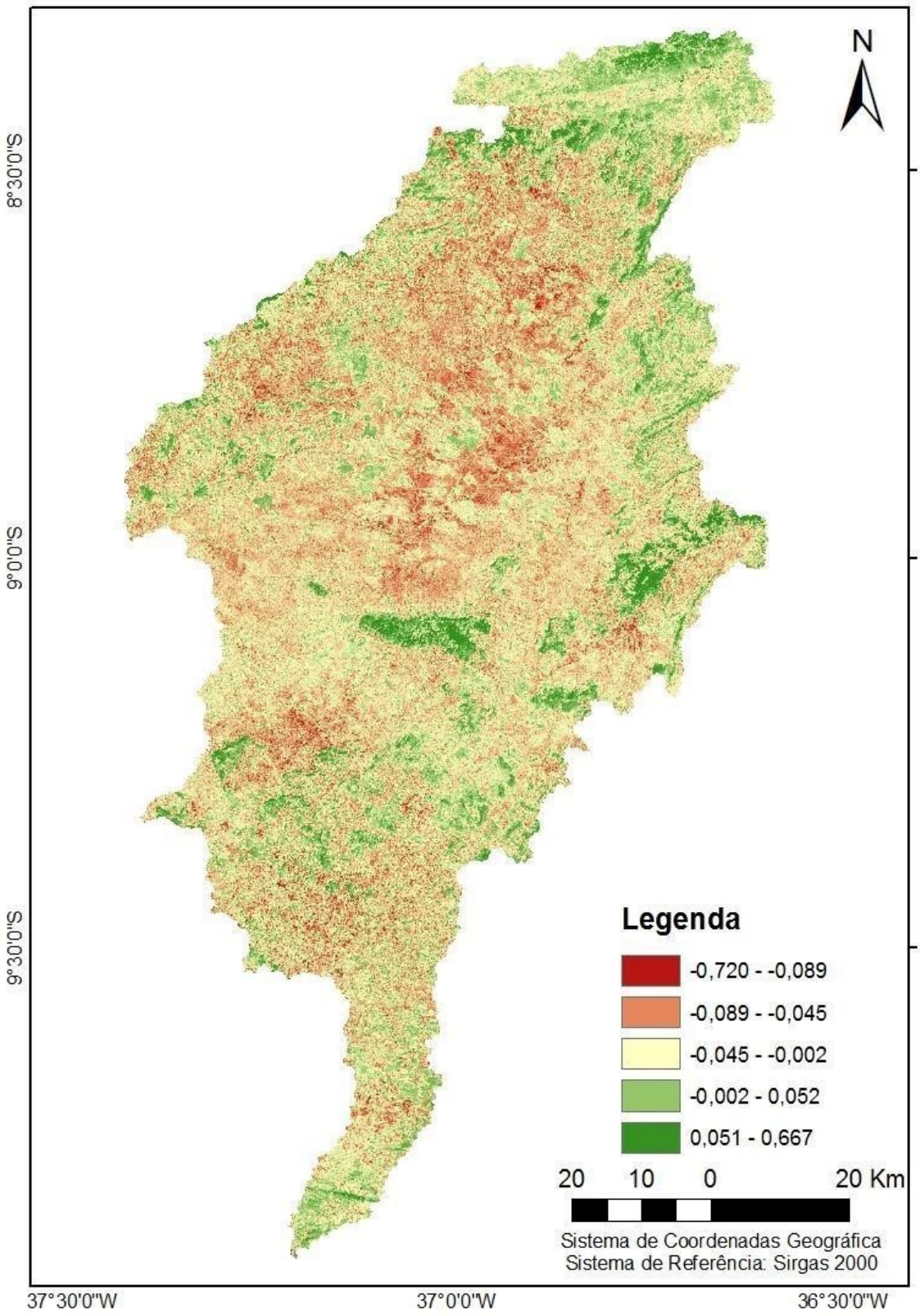
Figura 22 – Curso do rio principal da Bacia de Ipanema

Fonte: Google Earth de 2015.

Em relação ao índice GRVI os valores de máximo e mínimo ficaram compreendidos entre 0,667 e -0,720, respectivamente. Os valores entre -0,667 e 0,002 evidenciam a vegetação predominante da área. Os valores entre 0,089 – 0,045 compreendem os valores para solo exposto. Para Manzano (2019), o GRVI determinou a eficiência na refletância da vegetação, mostrou que o índice apresentou bons resultados para avaliações temporais da vegetação.

O GRVI se mostrou mais sensível a detecção devido aos baixos valores da vegetação do agreste. Com isso pode-se observar uma maior distribuição da bacia e uma notável diminuição do solo exposto. A Figura 23 apresenta o IV GRVI.

Figura 23 – GRVI da Bacia de Ipanema



Fonte: A autora (2020).

O índice Kappa para o IV GRVI está dentro dos valores considerados excelentes de 0,95. Com cobertura vegetal em toda a sua extensão, variando entre vegetação arbórea e vegetação gramínea. No buffer de 100 m com área de 320,89 km² o IV GRVI apresenta 36,57 km² de cobertura vegetal, representando um percentual 11,39 % da área de app. A distribuição no histograma das classes atestou maior porcentagem de pixels na classe solo de média exposição e solo menos denso exposto. A distribuição atestou maior porcentagem de pixels na classe solo de media exposição e solo menos denso exposto na Tabela 10, relevando maior sensibilidade se comparado ao NDVI.

Tabela 10 – Histograma de classes do GRVI

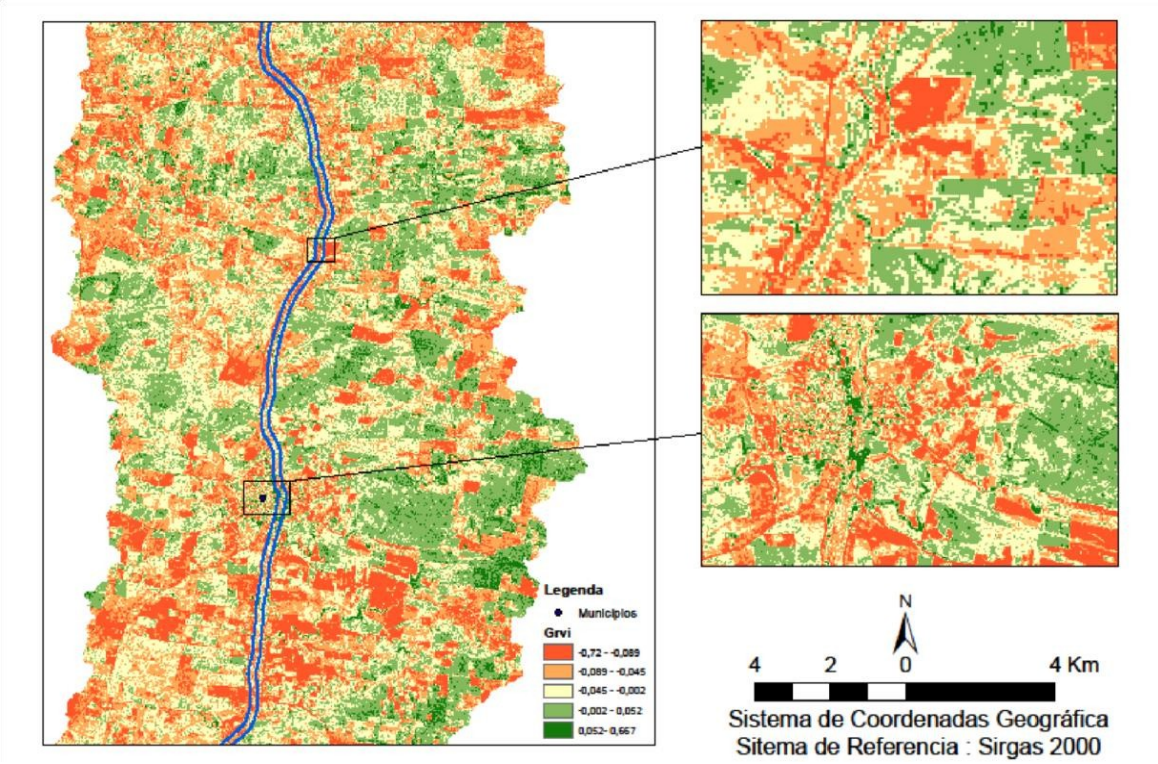
Classes	Valor do GRVI	Quantidade de Pixels	Área em Km² da APP
Solo exposto	- 0,720 – 0,089	2845973	106,15
Solo de médio exposição	0,090 – 0,045	6113702	90,14
Solo menos denso	0,046 – 0,002	5589974	85,03
Vegetação menos densa	0,003 – 0,052	3799664	24,59
Vegetação densa	0,053 – 0,667	1266938	14,98

Fonte: A autora (2020).

Confrontando as respostas visuais entre NDVI e GRVI, o GRVI apresentou vegetação na mesma área em que o NDVI apresentou solo exposto, demostrando uma maior sensibilidade na determinação da vegetação do agreste, mostrado pela Figura 24. A cidade de Batalha apresenta vegetação na área de preservação permanente enquanto o ponto mais acima marcado em uma fazenda apresenta poucos eventos isolados.

É possível reconhecer nessa porção da bacia diversos pontos com valores baixos e medidas dimensionais que sugerem retirada da cobertura vegetal, localizados nas margens do rio e no limite da bacia.

Figura 24 –Região central da Bacia de Ipanema

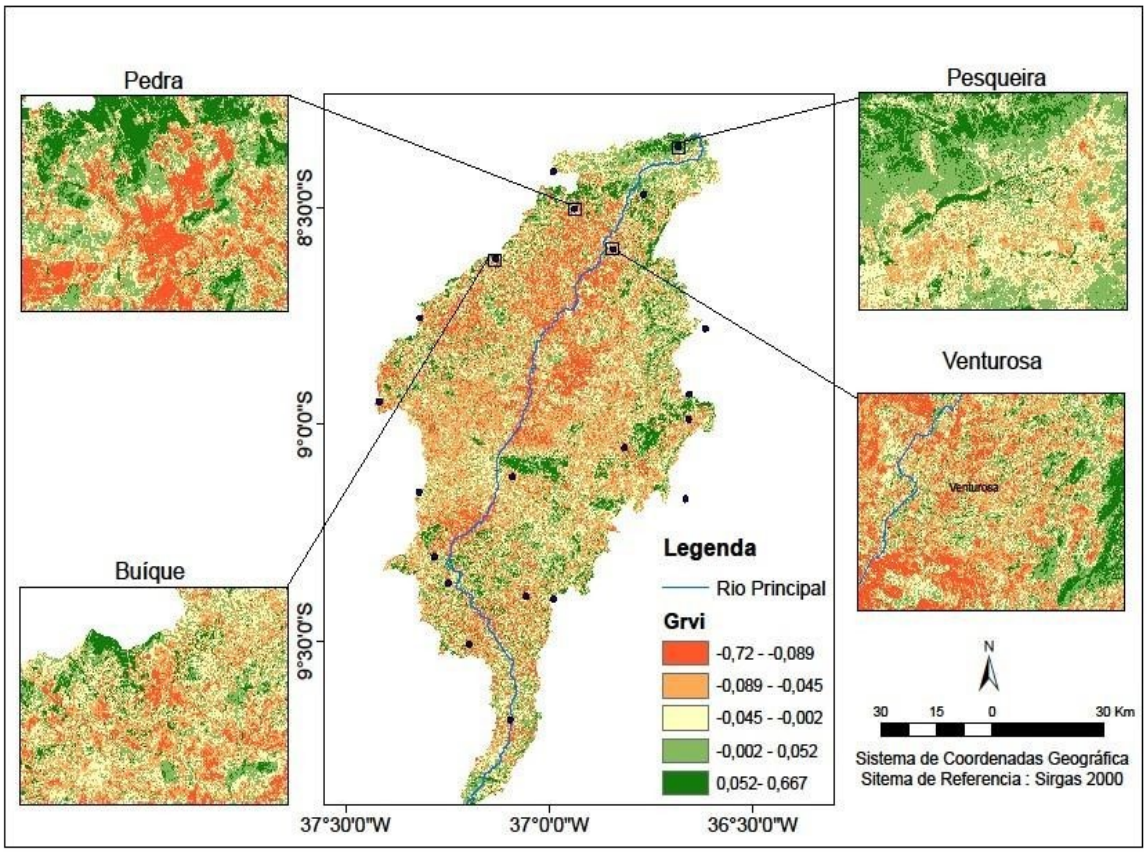


Fonte: A autora (2020).

A cidade de Venturosa apresenta leituras semelhantes no NDVI e GRVI, devido aos afloramentos rochosos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal . A cidade possui um açude com finalidade para piscicultura e agropecuária descritas pela ANA (Agência Nacional das Águas), não identificadas pelos índices.

A cidade de Pesqueira revelou uma grande área nos limites municipais com cobertura média e densa, valores esses que se mante na app. Os valores mais baixos se encontram no centro urbano. O mesmo resultado pode ser visto no município Pedra, que possui valores muito baixos no centro urbano, sugerindo pequenos e poucos espações de área verde. O índice não reconheceu o reservatório Mororó. Os valores da cidade de Buíque seguem uma simetria, não possuem grandes extensões territoriais com valores que se enquadrem em solo exposto e solo de média exposição. Apresenta uma apenas uma porção no limite da bacia que indica vegetação densa, exporto pela Figura 25.

Figura 25 –Principais Açudes da Bacia de Ipanema

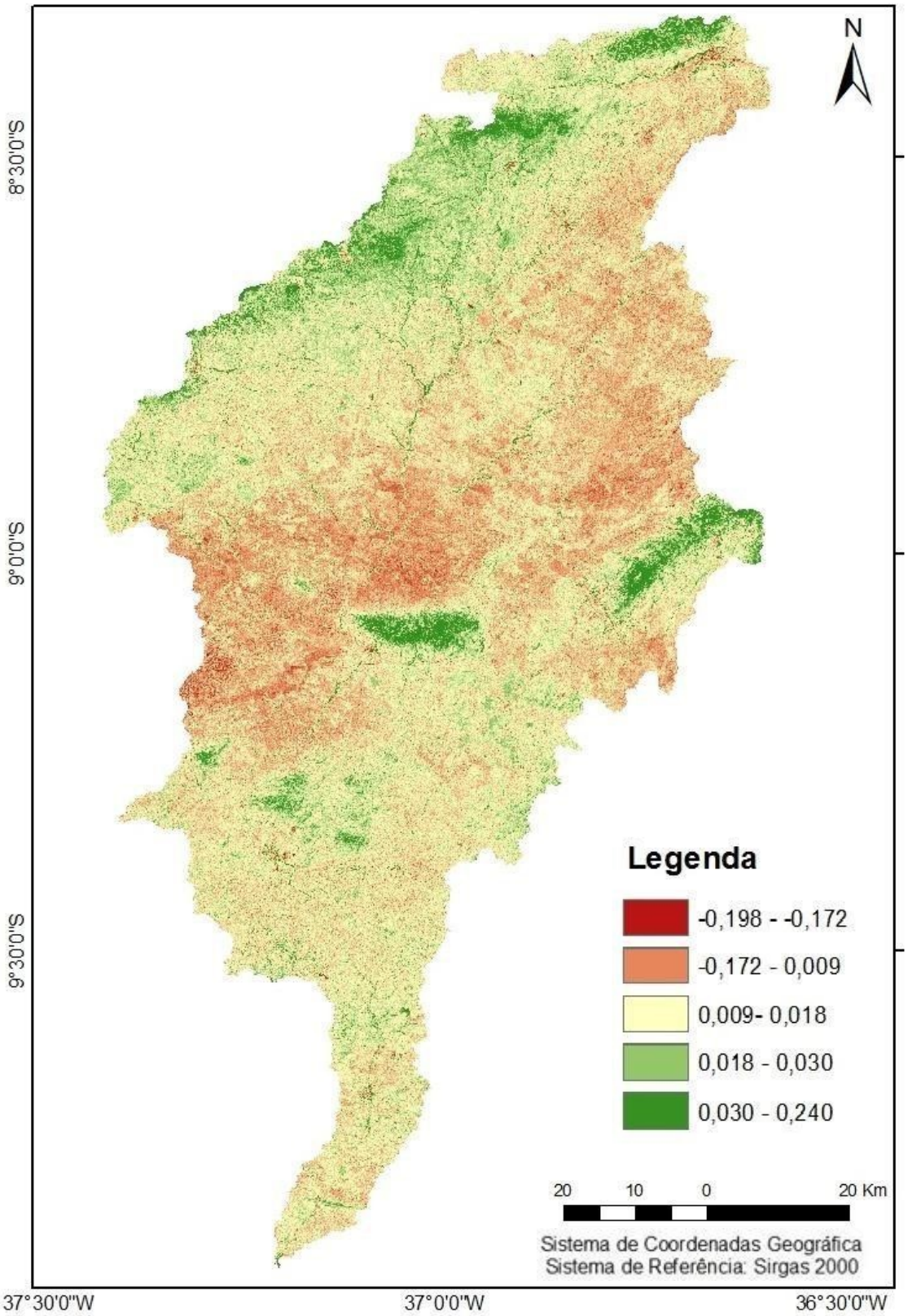


Fonte: A autora (2020).

Analisando os resultados obtidos com os índices, percebe-se que existem regiões com coincidência de respostas espectrais, em exemplo as cidades de: Pesqueira, Pedra e Buíque, que apresentam áreas com vegetação que variam de densa a menos densa. O estado debilitado das plantas do agreste no período de estiagem associadas a ausência de chuvas tornou o GRVI mais sensível, uma vez que ele se utiliza de um algoritmo para detecta a vegetação nos seus estágios de seca.

Para o índice EVI exposto pela Figura 26, apresenta os valores de máximo e mínimo ficaram compreendidos entre 0,240 e -0,172, respectivamente. Os valores entre -0,240 e 0,019 evidenciam a vegetação predominante da área. Enquanto que os valores entre 0,018 – -0,198 compreendem os valores para solo exposto. O EVI se mostrou mais suave entre as transições dos diferentes índices.

Figura 26- EVI da Bacia de Ipanema



Fonte: A autora (2020).

Apresentando uma grande área sem cobertura vegetal na área central que se estende para o nordeste da bacia, sendo em menor proporção que as áreas apresentadas pelo NDVI e GRVI. Isso ocorre porque o EVI foi desenvolvido para promover a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação, ou seja, desenvolvido visando otimizar o sinal da vegetação, apresentando melhores resultados que os índices anteriores. A análise da figura 16 acima ilustra a distribuição das classes na área da bacia de Ipanema. A região norte apresenta vários riachos que contribuem na vazão do rio, por esse motivo apresenta maiores respostas espectrais, portanto melhores resultados. Enquanto que a porção sul da bacia, localizada no estado de Alagoas apresenta uma grande porção da área destinada a pastagem, apresentando assim valores médios nas respostas espectrais. Em relação a área de preservação permanente (APP) é a maior nesse IV, apresentando 100,5 km² contando entre vegetação densa e menos densa. A distribuição no histograma das classes atestou uma maior regularidade entre as classes exposto pela Tabela 11.

Tabela 11 – Histograma de classes do EVI

Classes	Valor do EVI	Quantidade de Pixels	Área em Km² da APP
Solo exposto	-0,198, – -0,172	1913567	108,15
Solo de médio exposição	-0,173 – 0,009	5819750	89,14
Solo menos denso	0,010 – 0,018	6094876	62,03
Vegetação menos densa	0,019 – 0,030	4295268	30,98
Vegetação densa	0,031 – 0,240	1953686	30,59

Fonte: A autora (2020).

No buffer de 100 m com área de 320,89 km² o IV EVI apresenta 61,57 km² de cobertura vegetal, representando um percentual 16,07 % da área de app.

A extração de argila e consequentemente desmatamento decorrente dessa atividade na cidade de Buíque pode ser um dos fatores para representar o valor baixo nas repostas para a vegetação.

Os valores médios entre vegetação menos densa e solo de media exposição representam 78% da cobertura do solo da bacia, um total de 3 das 5 classes. Apesar de uma melhoria considerável, a vegetação densa ocupa apenas 14% da superfície da bacia.

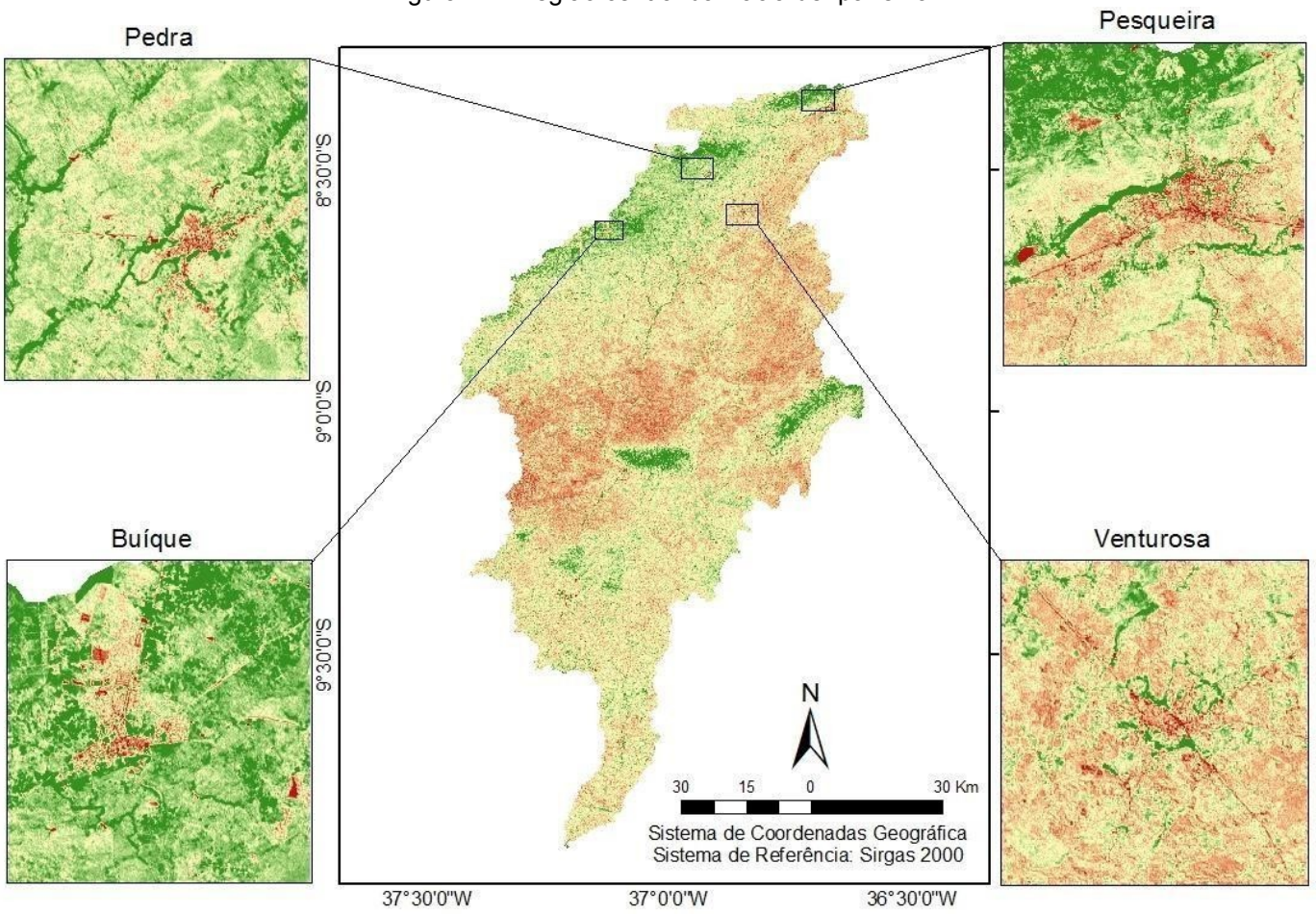
A cidade de Venturosa expõem valores baixos devido aos afloramentos rochosos da região, impossibilitando que a vegetação prospere. Possui também em seu território um importante parque, o Parque Pedra Furada com diversas inscrições rupestres e atividades como trilha e rapel.

A região central, nordeste e sudoeste da Bacia apresentam menores valores, entre -0,198 e 0,009, possuindo afloramentos naturais, uma exposição da rocha correspondente à ação de processos naturais, como erosão e deslizamentos de solos.

O produto obtido por meio de processamento digital de imagens pode variar em função do foco. As cidades em geral apresentam pouca cobertura vegetal, uma vez que os centros urbanos possuem poucas áreas verdes.

A região Noroeste expõe a maior concentração de vegetação densa, incluído as cidades de Pedra e Buíque. A drenagem na cidade de pedra é bem evidente, assim como os baixos valores no centro urbano. As demais áreas da Bacia possuem valores médios, variando entre -0,173 a 0,030, entre solos de media exposição a vegetação menos densa. Nas cidades que cediam os principais reservatórios, os resultados do EVI são superiores representado pela Figura 27.

Figura 27 –Região central da Bacia de Ipanema



Fonte: A autora (2020).

5.2 ÍNDICES FÍSICOS COMBINADOS

Os Índices físicos são valores que tentam representar as condições físicas de um solo no estado em que ele se encontra. São de fácil determinação e podem servir como dados valiosos para identificação e previsão do comportamento mecânico do solo. A combinação desses resultados visa melhorar e facilitar ainda mais esses resultados.

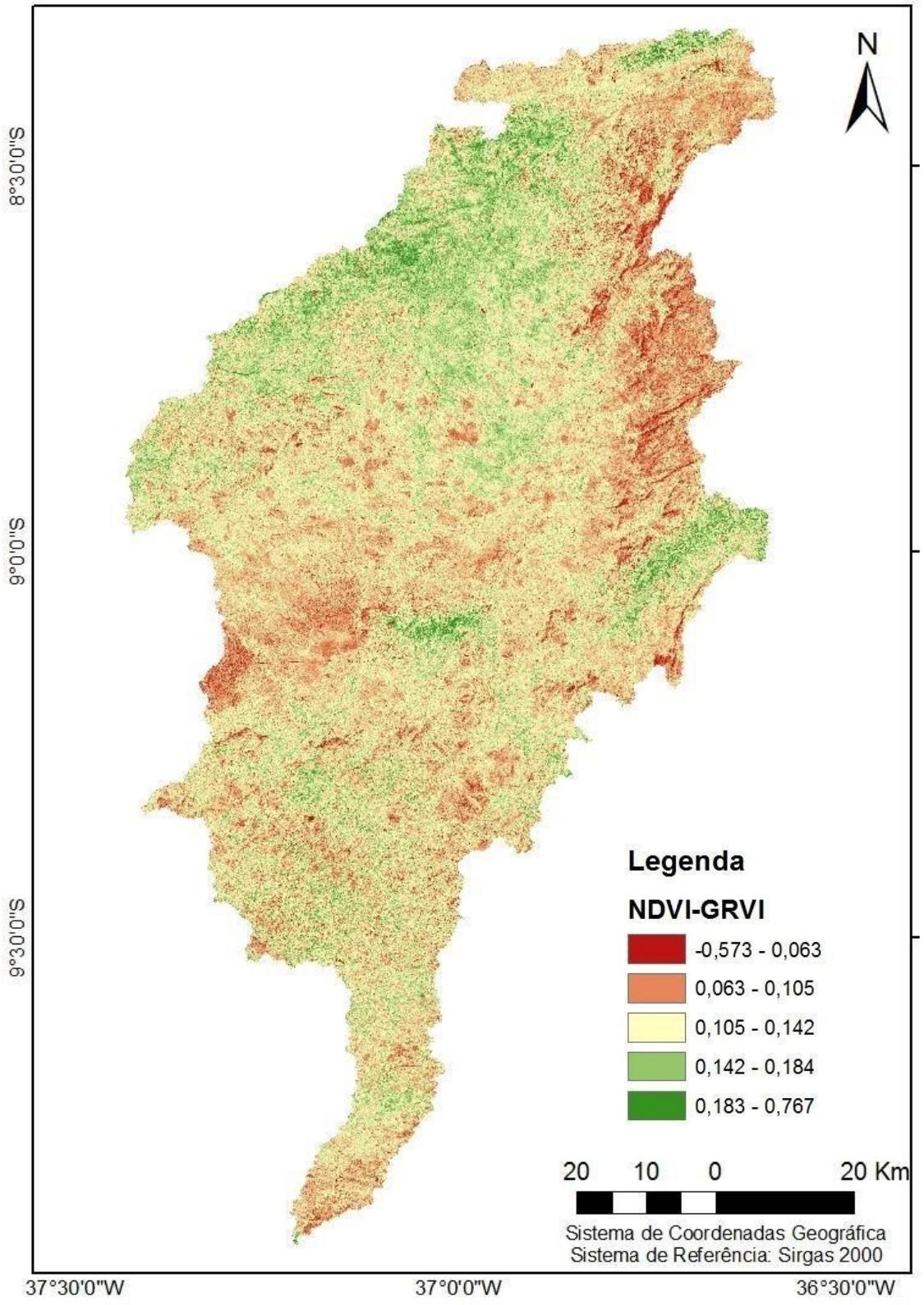
Alguns autores defendem que a combinação de diferentes índices que representam um melhoramento no estresse da vegetação, o déficit de água e o estado de umidade do solo podem descrever melhor a gravidade e as mudanças na degradação que cada índice isoladamente. A integração desses elementos possibilita obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da vulnerabilidade dos ambientes naturais, frente aos diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio que o meio está submetido.

A combinação dos índices visa obter melhores resultados da vegetação escassa do agreste em relação os valores dos índices isolados, principalmente na vegetação do agreste por apresentar grande diversidade de paisagens, principalmente quanto à densidade e ao porte das plantas.

A época da coleta dos dados foi no período seco, em 07 dezembro de 2015, ocasião em que a vegetação está sem folhagem, condição que uniformiza comparativamente as unidades de observação, e o manto herbáceo-graminóide está bem reduzido, facilitando o deslocamento e a visualização do conjunto arbustivo e arbóreo. Por outro lado, neste período a identificação de algumas espécies fica dificultada pela ausência das folhas e flores, órgãos característicos identificadores das plantas.

A primeira combinação é o resultado da correlação dos dados do NDVI e GRVI (NDVI+GRVI), para esse estudo a combinação apresentou seus valores de máximo e mínimo variando entre: 0,767 e -0,573, respectivamente, sendo classificados em cincos intervalos, onde para os resultados entre 0,767 e 0,142, destacaram-se a vegetação característica na bacia hidrográfica do Rio Ipanema, enquanto que para o intervalo 0,105 à -0,573 tem-se os diferentes níveis de solo exposto como mostra a Figura 28.

Figura 28 – NDVI+GRVI da Bacia de Ipanema



Fonte: A autora (2020).

Os resultados obtidos acima, destaca que com o novo índice a mata ciliar está bastante degradada por toda a extensão do curso principal, representando piora significativa nas áreas do Nordeste que limitam a bacia, onde se concentra o maior percentual de solo exposto. Podendo ser justificado pela maior quantidade de afluentes pelo do rio se concentrar no Oeste. Esse resultado se assemelha muito ao EVI E NDVI, ambos representaram solo exposto no centro e nordeste da bacia, porém, o GRVI apresentou vegetação menos densa apenas no nordeste e concordância na área central. As respostas de todos os índices são bem semelhantes na parte sul da bacia, inserida dentro do estado alagoano.

No buffer de 100 m com área de 320,89 km² o IV EVI apresenta 61,57 km² de cobertura vegetal, representando um percentual 16,07 % da área de app.Visualmente se assemelha ao resultado da EVI, com semelhanças nas áreas centrais, nordeste, oeste e sul. As pastagens áreas de pastagens se mistura cm vegetação de meio porte em toda extensão.

Na distribuição do histograma das classes se atestou maior porcentagem de pixels na classe centrais, de solo de media exposição e solo menos denso exposto na Tabela 12.

Tabela 12 – Histograma de classes do NDVI+GRVI

Classes	Valor do GRVI	Quantidade de Pixels	Área em Km² da APP
Solo exposto	-0,573 – 0,062	3334563	22,8
Solo de médio exposição	0,063 – 0,104	5713947	75,8
Solo menos denso	0,105 – 0,142	5389744	83,4
Vegetação menos densa	0,142 – 0,182	4089663	71,9
Vegetação densa	0,183 – 0,767	1565906	34,4

Fonte: A autora(2020).

Para essa combinação, os valores médios de vegetação densa a solo de media exposição representam 84% da bacia e a vegetação densa representa 9%. O

crescimento da área urbanizada e deterioração da fauna pela atividade antrópica contribui para a diminuição da área de vegetação densa, aliados ao período de estiagem.

O resultado obtido dessa combinação se mostrou muito sensível as repostas espectrais se mostrado eficaz para o aprimoramento da análise da condição da vegetação. As respostas espectrais alcançadas evidenciaram suas capacidades de redução de possíveis por usar apenas os resultados outros índices e melhoramento do sinal das plantas.

Muitos trabalhos que correlacionam índices espectrais com biomassa da vegetação de caatinga têm adotado o período seco para coleta de informações (Maldonado, 1999; Guimarães, 2009; Francisco 2013).

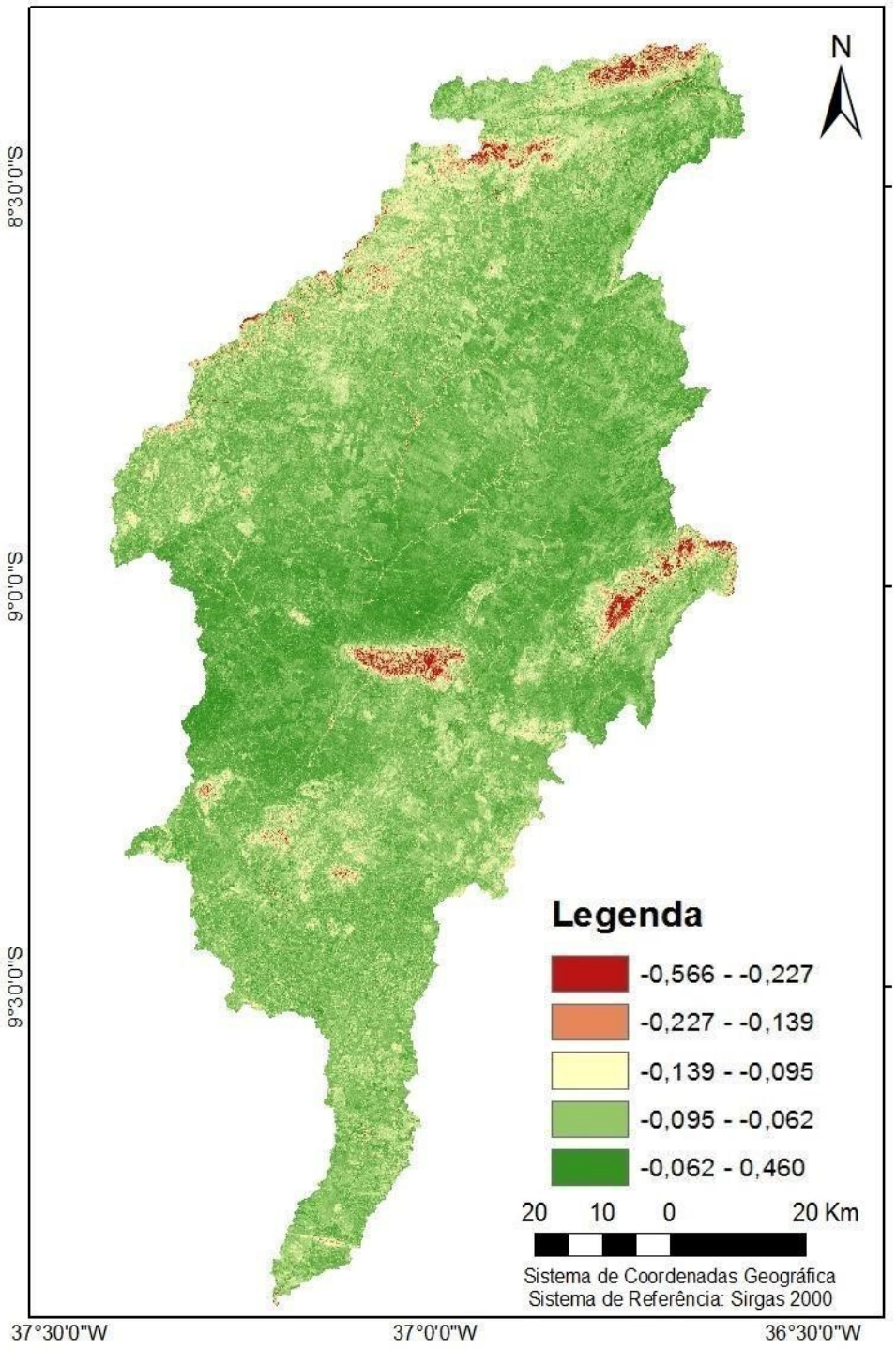
Francisco et al. (2012) observaram, numa análise temporal da vegetação na bacia do rio Taperoá, falsas mudanças influenciadas pela variação das condições de umidade. Neste sentido, qualquer trabalho com vegetação do agreste deve ter um rigoroso controle dos dados de umidade, por isso fez uso dos dados pluviométricos disponibilizados pelas cidades dentro da bacia. Quanto maior a área de estudo, mais difícil torna-se este controle, uma vez que os postos de registros pluviométricos são normalmente esparsos e é alta a variabilidade da distribuição espacial das precipitações.

Da mesma forma, as precipitações dos meses antecedentes as datas da imagem foram, em muitos postos, insignificantes, o que garantiria certa uniformidade da condição de umidade para a bacia.

A segunda combinação é o resultado da correlação dos dados do EVI e NDVI (EVI-NDVI), para esse estudo a combinação apresentou seus valores de máximo e mínimo variando entre: 0,460 e -0,566, respectivamente, sendo classificados em cincos intervalos, onde para os resultados entre 0,460 e -0,095, destacaram-se a vegetação característica na bacia hidrográfica do Rio Ipanema, enquanto que para o intervalo -0,139 à -0,566 têm-se os diferentes níveis de solo exposto.

As categorias de maior frequência, identificadas e descritas na área de estudo, foram as subclasses: vegetação densa e vegetação menos densa, ocupado 87% da superfície da Bacia, como mostra a Figura 29.

Figura 29 – EVI – NDVI da Bacia de Ipanema



Fonte: A autora (2020).

Nessa correlação de índices, o histograma das classes se concentrou em valores negativos, se mostrando insatisfatório. Determinou que a maior porcentagem da bacia é de vegetação, esse valor é refutável em todos os 5 resultados anteriores exposto pela Tabela 13.

Tabela 13 – Histograma de classes do EVI-NDVI

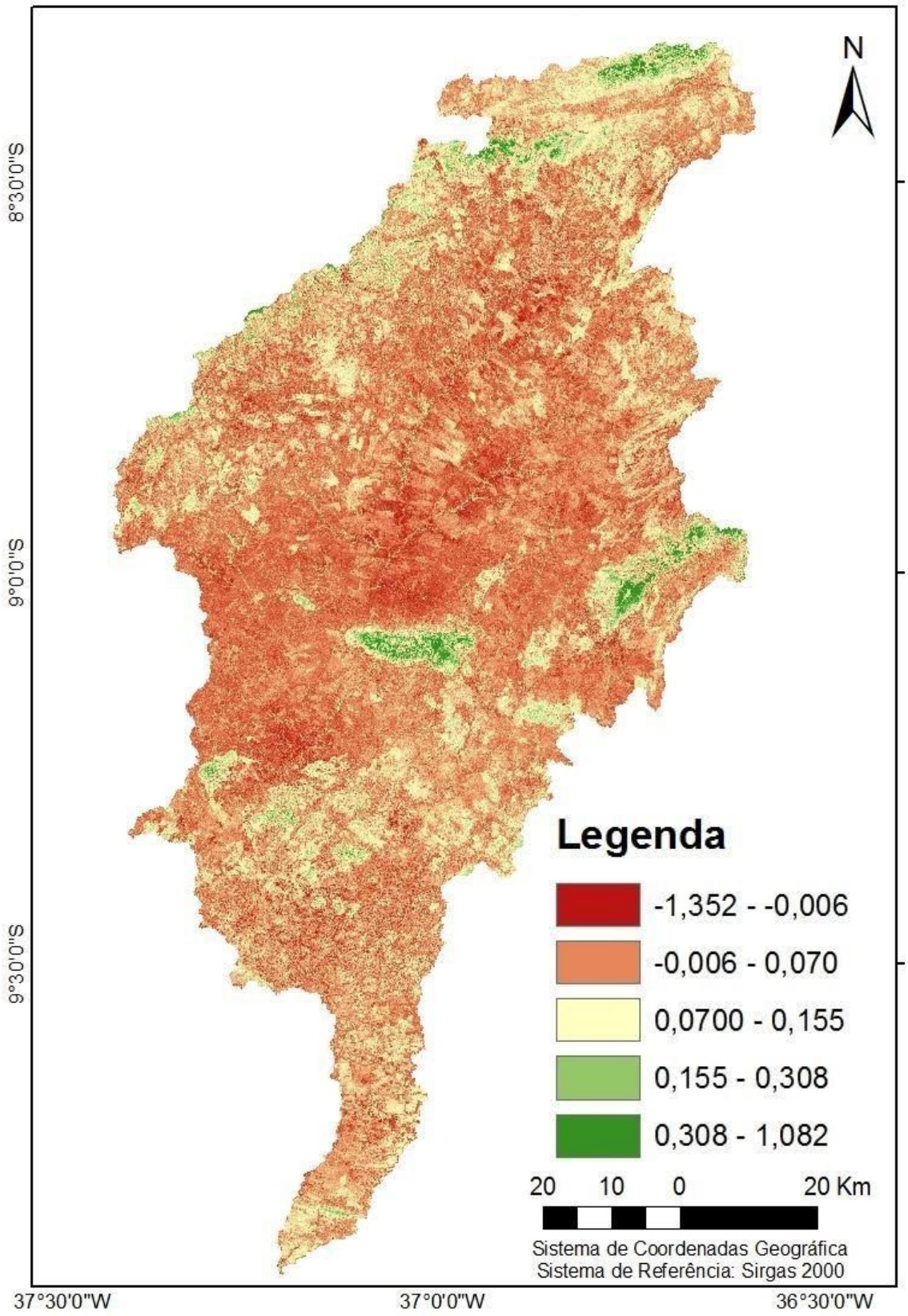
Classes	Valor do GRVI	Quantidade de Pixels	Área em Km² da APP
Solo exposto	-0,573 – 0,062	1015548	35,7
Solo de médio exposição	0,063 – 0,104	2167947	25,8
Solo menos denso	0,105 – 0,142	1767037	31,2
Vegetação menos densa	0,142 – 0,182	7006876	91
Vegetação densa	0,183 – 0,767	6589976	74,3

Fonte: A autora (2020).

Essa combinação de IV apontou discrepâncias, os valores mais baixos taxados para os solos expostos nesse IV representa solo exposto na mesma área que todos os IV apresentaram vegetação densa, apresando um conflito de dados.
O resultado obtido dessa combinação se mostrou ineficaz.

A terceira combinação é o resultado da correlação dos dados do NDVI e GRVI, já utilizados em subtração, agora em somatório (NDVI+GRVI), para esse estudo a combinação apresentou seus valores de máximo e mínimo variando entre: 1.082 e 1,325, respectivamente, sendo classificados em cincos intervalos, onde para os resultados entre 1,082 e 0,156, destacaram-se a vegetação característica na bacia hidrográfica do Rio Ipanema, enquanto que para o intervalo -1,325 à 0,070 tem-se os diferentes níveis de solo exposto como mostra a Figura 18. No buffer de 100 m com área de 320,89 km² o IV apresenta 68,7 km² de cobertura vegetal, representando um percentual 18,64 %, como mostra a Figura 30.

Figura 30 – NDVI-GRVI da Bacia do Rio Ipanema



Fonte: A autora (2020).

Nessa correlação de índices, o histograma das classes se concentrou em valores negativos, se mostrando insatisfatório excedendo os valores -1 e 1, valores base para a avalição o NDVI. Determinou que a maior porcentagem da bacia é de baixos valores, determinado solo exposto, determinado pela Tabela 14.

Tabela 14 – Histograma de classes do NDVI-GRVI

Classes	Valor do GRVI	Quantidade de Pixels	Área em Km² da APP
Solo exposto	-1,352 – -0,006	5597599	35,7
Solo de médio exposição	-0,005 – 0,070	8353749	81,8
Solo menos denso	0,105 – 0,142	6889845	22,2
Vegetação menos densa	0,070 – 0,308	4089663	23,8
Vegetação densa	0,307 – 1,082	1565906	35,9

Fonte: A autora (2020).

Os valores mais altos avaliados e expressados dentro dos intervalos para determinar a vegetação somam 59,7 km² da área total, representando apenas 18,6% da área de APP.

Percebe-se que houve um aumento gradativo nas áreas das classes definidas como solo exposto e solo de média exposição com a combinação entre esses IV, se mostrando insatisfatório. O somatório adicionou os valores tornando seus resultados superiores aos intervalos aceitáveis dos IV.

5.3 ÍNDICE KAPPA

A fim de avaliar a acurácia da classificação para a bacia de Ipanema foram selecionadas amostras de referência de forma aleatória e estratigráfica na imagem classificada.

Geralmente, a verificação é realizada em campo, no entanto devido a inviabilidade de acesso à área de estudo para identificar 100 pontos selecionados

aleatoriamente a verificação foi efetuada por um mosaico da imagem da bacia em RGB.

Após a formulação da matriz de erros é possível, de diversas formas, estimar a exatidão temática de um mapa. Uma das maneiras é através da estimação do parâmetro Kappa (^ k), utilizado como medida de concordância entre o mapa e a referência adotada como verdade terrestre, para estimar a exatidão. O valor de Kappa expressa a concordância entre a classificação e a realidade encontrada no local de estudo.

Cada frequência observada na matriz corresponderá também a uma frequência esperada, a qual é calculada sob uma determinada hipótese de acordo com as regras da probabilidade (SPIEGEL, 1993).

A frequência observada na diagonal apresenta a concordância entre o esperado e observado em cada categoria, ou seja, aqueles corretamente classificados. A coluna marginal é o número total de elementos de imagem para cada classe. A linha marginal o número de pontos atribuídos a cada classe.

A avaliação da acurácia através de diferentes tipos de coeficientes de concordância permite obtenção de um grau de confiabilidade das categorias classificadas na imagem, sob diferentes perspectivas e metodologias.

Com base na matriz de erros pode então ser calculada o índice de acurácia total. Na tabela 15 estão apresentados os índices de acurácia para o NDVI.

Tabela 15 – Matriz de confusão do NDVI

	1	2	3	4	Total	Acurácia	Área total (M²)
	10	0	0	0	10	1.0	3105337200.0
	2	33	0	0	35	0.94286	3264553200.0
	0	0	34	1	35	0.97143	1338358400.0
	0	0	0	20	20	1.0	178153600.0
Total	12	33	34	21	100		7886402400.0
Acurácia	0.83333	1.0	1.0	0.95238		0.97	

1 solo rochoso, 2 solos arenoso, 3 vegetações gramínea, 4 vegetações arbórea.

Fonte: A autora (2020).

A acurácia total do mapa expressa pela razão entre total de pontos de referência e os pontos corretamente classificados foi de 97%. O Kappa total para o mapa foi 0.9715, em porcentagem representa o mesmo que a acurácia Total, pois o seu cálculo levou em conta todos os elementos da matriz de erros.

Através da tabela, nota-se que as classes vegetação e solo arenoso e vegetação gramínea sofrem influência de outras classes, determinando uma mínima confusão espectral em uma amostra de cada uma das classes. Vegetação arbórea e solo rochoso não apresentaram confusão dentro das amostras selecionadas.

Para o GRVI, a acurácia total do mapa foi de 96%. O Kappa total para o mapa foi 0.95532, menor que a acurácia Total, pois o seu cálculo levou em conta todos os elementos da matriz de erros exposto na Tabela 16.

Tabela 16 – Matriz de confusão do GRVI

	1	**2**	**3**	**4**	**Total**	**Acurácia**	**Área Total (m²)**
	9	1	0	0	10	0.9	1469790800
	1	34	0	0	35	0.97143	3109333600
	0	1	34	0	35	0.97143	2279152400.
	0	0	1	19	20	0.95	1028125600
Total	10	36	35	19	100		7886402400.0
Acurácia	0.9	0.94444	0.97143	1.0		0.96	

.Fonte: A autora (2020).

1 solo rochoso, 2 solos arenoso, 3 vegetações gramínea, 4 vegetações arbórea

A apresentação da matriz de erros para o usuário é fundamental, pois através desta é possível visualizar as confusões ocorridas entre as classes, expondo nesse IV uma confusão de apenas 4 das 100 amostras.

Para o IV, a variação impõe que, quanto maior seu valor de discrepância, menor é a relação entre a avaliação dos índices Kappa e Exatidão Global de uma composição analisada, ou seja, esta composição não é tão relevante a ser escolhida. Para o IV EVI, a exatidão global foi de 98%. O Kappa para esse IV foi de 0.98037. O maior para os índices isolados nessa pesquisa, como mostra a Tabela 17.

Tabela 17 – Matriz de confusão do EVI

	1	2	3	4	Total	Acurácia	Área total M²
	10	0	0	0	10	1.0	3105337200.0
	2	33	0	0	35	0.94286	3264553200.0
	0	0	34	1	35	0.97143	1338358400.0
	0	0	0	20	20	1.0	178153600.0
Total	12	33	34	21	100		7886402400.0
Acurácia	0.83333	1.0	1.0	0.95238		0.97	

solo rochoso, 2 solos arenoso, 3 vegetações gramínea, 4 vegetações arbórea.

Fonte: A autora (2020).

O EVI apresentou confusão em apenas 3 amostras. Duas amostras da classe de solo arenoso apresentaram confusão com a classe de solo rochoso e apenas uma de vegetação gramínea com vegetação arbórea.

Para as classes de composição de IV, a mesma metodologia e forma de avalição foram aplicadas. Visto que a amostragem possuía muitos pontos considerouse a distribuição normal dentro de uma certeza 0,97, como mostra a Tabela 18.

Tabela 18 – Matriz de confusão do NDVI+GRVI

	1	2	3	4	Total	Acurácia	Área Total (m²)
	9	1	0	0	10	0.9	1469790800.0
	1	34	0	0	35	0.97143	3109333600.0
	0	1	34	0	35	0.97143	2279152400.0
	0	0	1	19	20	0.95	1028125600.0
Total	10	36	35	19	100		7886402400.0
Acurácia	0.9	0.94444	0.97143	1.0		0.96	

Fonte: A autora (2020).

1 solo rochoso, 2 solos arenoso, 3 vegetações gramínea, 4 vegetações arbórea

A exatidão global é calculada dividindo a soma da diagonal principal da matriz de erros, pelo número total de amostras coletada, e para essa combinação é de 96%. Apenas uma amostra de cada uma das classes apresenta confusão com classe mais próxima.

O Segundo IV de avaliado é considerado inviável. As repostas expectrais expostas por esse índice em solo exposto apresentava vegetação densa em os outros índices dessa pesquisa, nos índices físicos calculados separadamente e nas combinações. O valor de acurácia para esse índice é 0.97493, dentro do intervalo de 0,81 à 1, tendo uma interpretação mostrado na Tabela19.

Tabela 19 – Matriz de confusão do EVI-GRVI

	1	**2**	**3**	**4**	**Total**	**Acurácia**	**Área total M²**
	10	0	0	0	10	1.0	713765200.0
0	9	1	0	35	0.9	1848420000.0	
0	1	43	1	35	0.95556	3010203600.0	
0	1	34	35	20	0.97143	2314013600.0	
Total	10	10	45	35	100		7886402400.0
Acurácia	1.0	0.9	0.95556	0.97143		0.97	

Fonte: A autora (2020).

solo rochoso, 2 solos arenoso, 3 vegetações gramínea, 4 vegetações arbórea.

A combinação entre o NDVI e GRVI (NDVI-GRVI) apresenta uma um valor dentro do intervalo excelente, a tabela 18 mostra os resultados da matriz de confusão para esse IV. Não houve confusão não amostras para solo arenso, porem uma amostra para cada outra classe apresentou divergência. A acurácia foi de 0.97308, e exatidão global de 97%, expressado na Tabela 20.

Tabela 20 – Matriz de confusão do NDVI-GRVI

	1	2	3	4	Total	Acurácia	Área total Km²
	19	0	1	0	20	0.95	7.326.244
	0	30	0	0	30	1.0	26.218.252
	0	0	29	1	30	0.96667	30.571.844
	0	0	1	19	20	0.95	14.747.684
Total	19	30	31	20	100		7.886.402
Acurácia	1.0	1.0	0.93548	0.95		0.97	

Fonte: A autora (2020).

1 solo rochoso, 2 solos arenoso, 3 vegetações gramínea, 4 vegetações arbórea.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que a metodologia proposta nesta pesquisa para avaliar a classificação temática de IV e combinações, se mostrou adequada, apresentando bons resultados no avaliador estatístico Kappa obtendo valores entre 0,95 e 0,98, estando entre os intervalos considerados excelentes. Para uma boa interpretação dos resultados, faz-se necessário o cálculo de acurácia (resultados numéricos), para cada um dos índices apresentados, e também a análise visual.

O uso de IV combinados destacaram valores negativos para as classes de vegetação, sinalizando dificuldades para reconhecer a cobertura vegetal rarefeita com destaque para as combinações EVI-NDVI e NDVI+GRVI se mostrando insatisfatórias. O índice EVI foi o que mais se destacou entre os índices físicos utilizados na pesquisa.

Obtendo o valor de índice Kappa de 0,97. Em relação a área de preservação permanente (APP) é a maior nesse IV, apresentando 61,57 Km² contando entre vegetação densa e menos densa. Apresentou mais vegetação por possuir fatores de reajuste, se adequando ao tipo de vegetação espaçada de baixo e médio porte do agreste fortalecendo a importância em escolher um índice que mais se adeque as condições da região de estudo e com o objetivo da pesquisa.

As áreas apontadas como perda de vegetação (vermelho) tiveram redução considerável entre os índices. No IV NDVI a app ocupara uma área de 31,05 km² da área de total de preservação de 320,89 km².

Para o GRVI, o percentual foi de apenas 32% de comprometimento da APP, representando 61,57 km². O índice Kappa para o IV GRVI está dentro dos valores considerados excelentes, com resultado de 0,95.

Nos IVs combinados, o melhor resultado foi exporto NDVI+GRVI apresenta um valor de 0,98 estando dentro dos valores considerados excelentes. No buffer de 100 m com área de 320,89 km² o IV EVI apresenta 61,57 km² de cobertura vegetal, representando um percentual 16,07 % da área de app.

Neste contexto, esta modificação pode ser caracterizada pela retirada da cobertura vegetal natural para a introdução de áreas de pastagens, agricultura e

outras aplicações e condições climáticas da região durante o período em estudo enfatizando a presença de solo exposto.

Em relação a área da nascente do Rio Ipanema, no qual segundo os informativos da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) está localizada no município de Pesqueira, tanto o NDVI, GRVI, EVI e o NDVI-GRVI destacaram a presença de vegetação densa e menos densa o que pode indicar sinais de conservação das margens e pouco impacto nessa área do rio. Se comparados ao município de Venturosa, que apresenta os piores resultados visuais para a presença de cobertura vegetal em todos os índices para as 4 cidades que se destaca como maiores colaboradoras do rio Ipanema.

Ficou evidenciado que os índices combinados não apresentaram a mesma eficiência na identificação da vegetação arbustiva levando em consideração as variações da exposição do terreno, quando comparados com os índices NDVI, GRVI e EVI, como melhor restado no EVI, uma vez que esse último apresenta o fator de ajuste do solo específico para esse tipo de bioma.

A degradação da vegetação pode ser considerada como um parâmetro quantitativo importante para medir o grau de intervenção humana e o estado de conservação da app uma bacia hidrográfica.

Embora os resultados obtidos tenham mostrado um sucesso relativo na avaliação quantitativa da biomassa do agreste, é importe salientar a escolha correta do índice para cada estudo, com seus respectivos ajustes para as regiões e objetos estudados.

De forma geral, considera-se de grande importância a metodologia de avaliação da classificação digital de imagens exposta neste trabalho, pois, por meio da comparação visual e numérica pode-se quantificar e avaliar o resultado da classificação de diferentes índices e verificar a sua adequação em áreas especificas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA – APAC. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em 23/07/2019.

ALVES, A.K.; COSTA, M.V.C.V. Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal da bacia do Ribeirão Santa Juliana no Triângulo Mineiro - MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. *Anais...*p. 2267-2274, 2007.

ALVES, G*. B. M. Loverde-Oliveira, S. M.* Uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Distribuição e Vigor da Vegetação no Pantanal Norte. Geografia (Londrina). v. 29, n. 1, 2020

ARAÚJO, E.L., U.P. ALBUQUERQUE, E C.C. CASTRO. Dynamics of Brazilian caatinga - a review concerning the plants, environment and people. Functional Ecosystems and Communities 1:15-29. 2007.

Araújo, M. G. S. Araújo, S. R. Souza, L. S. Freire, A. A. P. NDVI COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA EM ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE BELÉM-PA. Revista (Londrina). v. 8, n. 4. 2019.

ARAÚJO, E.L., E E.M.N. FERRAZ. Processos ecológicos mantenedores da diversidade vegetal na caatinga: estado atual do conhecimento. Pages 115-128 in V. ClaudinoSales, editor. Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação. Expressão Gráfica, Fortaleza, Brasil. 2013.

ARAUJO, M.G. Matas ciliares da Caatinga: florística, processo de germinação e sua importacia na restauração de áreas degradadas. Dissertação de mestrado, Recife2009.

Arruda. R. C. Comportamento espectral das fitofisionomias do Cerrado na estação ecológica do jardim botânico de BRASÍLIA- DF.2018.

CASTELLETTi, C. H. M. SANTOS, A. M. M. TABARELLI, M. SILVA, J. M. C. Quanto Ainda Restada caatinga? Uma Estimativa Preliminar. In: Leal IR, TABARELLI M, SILVA JMC, Ecol. E Conserv. Da Caatinga. Fisrt Edit. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.

CARVALHO, D; N. Efeito da Restauração Ecológica na Recuperação e Conservação da Avifauna em Fragmentos de Mata Ciliar no Rio Uberabinha, em

Uberlândia, MG. 2020. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em:<http://doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2597>. Acesso em 17 de Fev 2020.

CHA NG, S. WU. B. YAN, N. DAVDAI, B. NASANBAT, E. Suitabilility Assessment of Satelite-Derived Drought for Mongolian . Remote Sensing. 9 (7), 650.2017.

CRUZ, C.B.M. et al. Classificação Orientada a Objetos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal. *Anais...* p. 77897796. 2009.

DANTAS, M. J. F .ARRAES, F. D. D. SOUSA, D. C. B. FERREIRA, J. J. Análise da variabilidade do índice de vegetação ndvi em diferentes tipos de cobertura vegetal na bacia do riacho Jardim/CE.III Simpósio Brasileiro de Salinidade. 2017.

DIAS, V. S. B., SILVA, A. de B. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA). Revista Brasileira de Cartografia, 66(6),1363–1377. 2014.

DIAS, N. W. Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagem. Notas de Aula. Universidade Tiradentes: Aracaju, SE. 2015.

EASTMAN, J.R. *IDRISI for Windows.* Editores da versão em português:

HASENACK,H.; WEBER, E. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos IDRISI, 1996 Disponível em:<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/downloads>. Acesso em: 13 de outubro 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA

MONITORAMENTO POR SATÉLITE. Satélites de Monitoramento. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 2 outubro 2018.

FERREIRA, A. B. FILHO, W.P. Avaliação da refletância espectral de corpos d'agua em Santa Maria-Rs por meio de um espectrorradiometria de campo. 2, 194-207, 2009.

FIGUEIREDO, D. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm .p df >. Acesso em: 14 abr. 2017.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2002. 98p.

FLORENZANO, T.G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 2° ed. do Imagens para Estudos Ambientais. Oficina de Textos, São Paulo, 2007.

GEORGE AIM, S. A. VAIPOULOS, K.G. Testing the performance of the MNDVI vegetation index.2009.

GALVANIN E. A. S. NEVES, S. M. A. S. CRUZ, C. B, M. NEVES, R. J. H .JESUS, H.KREITLOW, J. P. Avaliação dos índices de vegetação ndvi, sr e tvi na discriminação de fitofisionomias dos ambientes do pantanal de Cáceres/Mt.Revista Ciência Florestal. Santa Maria, v 24, n.3. p. 707-715. 2014.

GEORGE, C. T., HAYMAN, G., WEEDON, G. P., AND GERARD, F. F., CEH LEAF phenology amplitude derived from MODIS NDVI and EVI: Maps of leaf phenology synchrony for Meso - and South America. 2020. Disponivel em: < https://doi.org/10.1002/gdj3.87>

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. Editora: Pearson Prentice Hall, 3 ed., New Jersey, 2008. Disponível em: < http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro_refs/Digital_Image_Processing_3 rdEd_truncated.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2017.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos. S. Geomorfologia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.192. 2006.

GUO, Q., FU, B., SHI, P., CUDAHY, T., ZHANG, J., XU, H. Satellite monitoring the spatial-temporal dynamics of desertification in response to climate change and human activities across the Ordos Plateau, China. Remote Sensing, 9(6), 1–20, 2017.

HUETE, A.R. et al. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sens. Environ., New York, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997.

HUETE, A.R. et al. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. Geophys. Res. Lett., Washington, D.C., v. 33, n. L06405, p. 1-4, 2006.

HUETE, A.R. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sens. Environ., New York, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

Humbolt Sate University. LiDAR - Light Detection and Ranging. Revista Online. Disponívelem:<http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson21/ve getation.html>. Acesso em 21 de out 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. 2017-. Disponível em: < http://www.cbers.inpe.br/lancamentos/cbers4.php>. Acesso em: 14 abr. 2017.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. Prev. Vet. Med., Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 185-200, 1991.

JENSEN, J. R. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. 2a. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1996.

LACERDA, A.V., N. NORDI, F.M. BARBOSA, E T. WATANABE. Levantamento florístico do componente arbustivo-arbóreo da vegetação ciliar do rio Taperoá, PB, Brasil. Acta Botanica Brasilica 19:647-656. 2005.

LEAL, I. R., TABARELLI, M., SILVA, J. M. C.Ecologia e conservação da caatinga – Recife : Ed. Universitária da UFPE, 822 p. : 2003.

_____. Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o plano de proteção a vegetação. 2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20112014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em 20 out. 2018.

LIMA, E.N., E.L. ARAÚJO, E.M.N. FERRAZ, E.V.S.B. SAMPAIO, K.A. SILVA, E R.M.M. PIMENTEL.. Fenologia e dinâmica de duas populações herbáceas da caatinga. 2007. Revista de Geografia 24:124-141.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. Recursos Hídricos. 1. ed. São Paulo:

MALHEIROS EDITORES, 2002.

MARIANO, D.A., SANTOS, C.A., WARDLOW, B.D., ANDERSON, M.C., SCHILTMEYER, A.V., TADESSE, T., SVOBODA, M.D., 2018. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and humaninduced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. Remote Sensing of Environment 213, 129-143. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.048>. Acesso em: 24 Fev. 2020.

MASCARENHAS, L. M. A. FERREIRA, M. E. DR. FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. 2009. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 21.

MANZANO, J. M.; NARVAEZ, J. G.; CASTILLO, J.G. Analysis of Normalized Vegetation Index in Castile Coffee Crops, Using Mosaics of Multispectral Images Acquired by Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Conferência internacional de aplicações em geotecnologia. p 546-559. 2019.

MATOS, R. C. M. CANDEIAS, A. L. B. AZEVEDO, J. R. G. HATTERMANN, F. F. KLEINSCHMIT, B. KOCH, H. Analise multitemporal do Albedo, Mndvi e temperatura do Entorno do Reservatório de Itaparica – PE. Anos de 1985 e 2010. Anos de 1985 e 2010. Revista Brasileira de Cartografia. 545- 554. 2015.

MELO, E. T. SALES, M. C. L. OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos Cavalos, Crateús-ce. Ra´e ga 23 (2011), p. 520-533. Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, 2011.

MENESES, P. R., ALMEIDA, T. DE, NUNO, A., SANTA, D. C., SANO, E. E., SOUZA,E. B. DE, BRITES, R. S. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília, 2012.

MORAES, A.C.R. Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. 2. ed. São Paulo: Annablume, v. 01. 232 p. 2007.

MOLIN. P. G. Sensoriamento remoto introdução e índices de vegetação. Disponível em:<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4097918/mod_resource/content/1/4_Ind ices%20de%20Vegeta%C3%A7%C3%A3o2017.pdf.> Acesso em 15 out 2018.

MOREIRA, A. A. Análise da seca no norte do estado de minas gerais a partir de modis dados. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pós-graduação Programa em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre. 124f. 2016

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa, MG: UFV, 3ª edição, 320 p. 2007.

ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DA AERONÁUTICA E ESPAÇO - NASA. Disponível em:< https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/index.html>. Acesso em 12 de nov de 2018.

NASCIMENTO, D. M. Desenvolvimento de um sistema de estimativa de biomassa vegetal através de sensores remotos para o semiárido pernambucano. Tese de doutorado, Recife, 72 f. : il. 2019.

NASCIMENTO, S.P. G. SANTOS, J. R. U. SANTOS, E. O. PINTO, J. S.S. Fatores da degradação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Ipanema. 4 Simpósio sobre as geotecnologias e geoinformação, Maceió-AL, Brasil, 19 a 21 de setembro de 2016.

NOVO, E. M. L. de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4ª ed. 387 p.Blucher. São Paulo, 2010.

PAIVA, P, G, S.; ARCOVERDE, G, F, B. IDENTIFICAÇÃO DE PROXIES DE DEGRADAÇÃO PELA ANÁLISE DA RESPOSTA VEGETACIONAL, HÍDRICA E TERMAL, NOS BIOMAS CAATINGA E CERRADO. in: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Santos-SP, Brasil, INPE, 14 a 17 de abril de 2019

PEREIRA, L. R.; de Andrade, A. P.; Araújo, K. D. COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLÓGICA DE UM FRAGMENTO DE CAATINGA EM MONTEIRO, PB HOLOS, vol. 6, 2012, pp. 73-87. Disponível em: < https://www.redalyc.org/pdf/4815/481549280005.pdf>. Acesso em: 16 de fev de 2020.

PEREIRA, J. A. S. DIAS, C. C. F. FRANÇA, L. M. A. LINS, T. M. P. SANTOS, M. S. GALVÍNCIO, J. D. Estudo da alteração da vegetação a partir do NDVI e do Albedo de Superfície na Bacia do Rio Garça-PE in: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, INPE, 25 a 29 de abril de 2015.

PINHO, C. M. D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. J. H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos - SP, 2005. Disponível em <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.20.14/doc/4225.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2007.

PONZONI, F. J., SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos, SP. Ed: A. Silva Vieira. 2009.

PONZONI, F. J. SHIMABUKURO, Y. E. KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. 2º ed, 176 f, São José, dos Campos, SP. Ed: A. Silva Vieira. 2012.

PRINA, B. Z. TRENTIN. R. GMC: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015.

RAMOS, R. R. D.; LOPES, H. L.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; CANDEIAS, A. L. B.; Siqueira Filho, J. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Avaliação de Áreas Degradadas e Potenciais para Unidades de Conservação. III Simpósio de Brasileiro de Ciência Geodésicas e Tecnologias da Informação. Recife PE. 27 30 de julho de 2010.

ROSA, R. Introdução Ao Sensoriamento Remoto. Editora EDUFU. 7ª Ed. UBERLÂNDIA, 2009.

RÊGO, P. L. Regeneração Natural em matas ciliares na bacia do rio Goiania-PE. 2008.108 f. Dissertação (mestrado em ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco.

ROCHA, J. S. M.- Manual de Manejo Integrado de Bacia Hidrográfica. Universidade Federal de Santa Maria, 1991.

ROY, D. P., et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. Remote Sensing of Environment, v. 145, p. 154-172, 2014.

SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian caatinga. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. (Ed.). Seasonally dry tropical forests. Cambridge: Cambridge University Press, p. 35-63. 1995.

SAMPAIO, E.V.S.B.; GIULIETTI, A.M., VIRGÍNIO, J. et al. Vegetação e flora da caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, 2002.

SOARES, D. B., NÓBREGA, R. S., FILHO, F. de O. M., PASSOS, C. R., FILHO, E. F. de A. B. Degradação dos Solos por Sais em Pernambuco, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, 7(6), 1621–1628. 2016.

SILVA, E. T. J. B. Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e estratégias. Dissertação (Mestrado em Geologia) –Universidade de Brasília, Brasília, 146 f. 2004.

SILVA, L.R., I.M.J. MEUNIER, E A.M.M FREITAS. Riqueza e densidade de árvores, arvoretas e palmeiras em parques urbanos de Recife, Pernambuco, Rev. SBAU 2:3449, Brasil.2007.

SOUZA, G. F. Compreensão auto-adaptativa de imagens coloridas. Dissertação de Mestrado em Ciências - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal RN, 58f, 2005.

SOUSA JR, J. G. DE A., DEMATTÊ, J. A. M., GENÚ, A. M. Comportamento Espectral Dos Solos Na Paisagem A Partir De Dados Coletados Por Sensores Terrestre E Orbital. Revista Brasileira de Ciência Do Solo, (3), 727–738, 2008.

SOUZA, J. A. N. RODAL, M. J. N. Levantamento florístico em trecho de vegetação ripária de caatinga no rio Pajeú, floresta/Pernambuco-brasil. Revista Caatinga. V23 n 4. 2010.

SOUSA, M. A .; SAUSEN, T. M .; LACRUZ, M. S. P. Monitoramento da seca na região sul do Brasil usando EVI / MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009. São José dos Campos: [s.] 136 p.1-15, 2010.

SPIEGEL, M. R. Estatística. McGrawhill, 3ºedição, 1993.

TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. Áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da caatinga. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. (Eds) Ecologia e Conservação da caatinga. Recife, Editora Universitária. p. 777-796. 2003.

TEIXEIRA, C. M. B. Comportamento e integração de indicadores espectrais da Desertificação. Dissertação de mestrado. Universidade Federal e Pernambuco. 2018.

TONG, X., WANG, K., BRANDT, M., YUE, Y., LIAO, C., FENSHOLT, R. Assessing future vegetation trends and restoration prospects in the Karst regions of Southwest China. Remote Sensing, 8(5), 1–17, 2016.

WANG, T., YAN, C. Z., SONG, X., XIE, J. L. Monitoring recent trends in the area of aeolian desertified land using Landsat images in China's Xinjiang region. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 68(1), 184–190, 2012.

TONG, X., WANG, K., BRANDT, M., YUE, Y., LIAO, C., FENSHOLT, R. Assessing future vegetation trends and restoration prospects in the Karst regions of Southwest China. Remote Sensing, 8(5), 1–17, 2016.