

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

ANDERSON FILLIPE DA SILVA SANTANA

**EXTRAÇÃO DE CONTORNOS DE RESERVATÓRIOS A PARTIR DE INDICES
BIOFÍSICOS E SUA COMPARAÇÃO QUANTITATIVA COM EXTRAÇÃO
MANUAL: CASO ALTO PAJEÚ**

RECIFE

2018

ANDERSON FILLIPE DA SILVA SANTANA

**EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES PARA MAPEAMENTO DE RESERVATÓRIOS USANDO
ÍNDICES BIOFÍSICOS: CASO ALTO PAJEÚ - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenheiro Cartógrafo.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

RECIFE

2018

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

N232e Santana, Anderson Fillipe da Silva.

Extração de contornos de reservatórios a partir de índices biofísicos e sua comparação quantitativa com extração manual: caso Alto Pajeú / Anderson Fillipe da Silva Santana. – 2018.

52 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Alto Pajeú. 3. Reservatórios. 4. Índices radiométricos. 5. Classificação. 6. Extração de contornos. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra. (Orientadora). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-289

ANDERSON FILLIPE DA SILVA SANTANA

**EXTRAÇÃO DE CONTORNOS DE RESERVATÓRIOS A PARTIR DE INDICES
BIOFÍSICOS E SUA COMPARAÇÃO QUANTITATIVA COM EXTRAÇÃO
MANUAL: CASO ALTO PAJEÚ**

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito básico para obtenção do grau de bacharel (a) em Engenharia Cartográfica, defendida no Departamento de Engenharia Cartográfica, em 03 de julho de 2018.

Aprovado em: 03 de julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Profa Dra Ana Lúcia Bezerra Candeias

Universidade Federal de Pernambuco (Orientadora)

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior

Universidade Federal de Pernambuco

Profª Rafaella Chrystiane de Moura Matos

Faculdade Integrada de Pernambuco

RECIFE

2018

Aos meus maiores incentivadores, meus pais, Gilson e
Marta. E a todos os meus familiares e amigos que
acreditaram desde o inicio neste sonho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, a quem agradeço em tudo em minha vida e a quem sou grato pelo Dom da vida e por me dar a oportunidade de realizar uma etapa tão importante na minha carreira profissional.

Aos meus pais, Gilson e Marta a quem carinhosamente chamo de tio Gilson e tia Marta vocês são as pessoas que eu tenho como minha referência e que me ensinaram a ser quem eu sou e a nunca desistir dos meus sonhos, Amos vocês.

Ao meu irmão Fernando, obrigado por sempre está me apoiando e que eu consiga sempre ser esse seu irmão que você tem um carinho enorme.

A minha tia Eliane, uma pessoa maravilhosa que me acompanhou em toda essa jornada, todo dia comigo indo para a parada do ônibus e sempre preocupada, tenho a senhora como minha segunda mãe, Amo você.

A todos os meus familiares, a quem eu sei torceram desde meu ingresso em uma Universidade até agora em minha conclusão, gratidão é a palavra mais do que adequada nessa situação.

Aos meus amigos em especial do Busão da Federal, a quem agradeço por todos esses anos de convívio, foram muitos momentos divertidos, felizes. Sempre nos apoiando e torcendo pela conquista de cada um.

Aos meus amigos do Decart, em especial a *Família Decart*, vocês serão para sempre a minha família, sou muito agradecido por todos os momentos que vivemos juntos, e sabem como torço pelo o futuro de cada um de vocês.

A minha Orientadora Dr^a Ana Lúcia Bezerra Candeias, a pessoa mais gentil e de um coração enorme que já conheci, a pessoa que me deu uma oportunidade e que me guiou para o desenvolvimento desse trabalho de Conclusão de Curso. Agradeço do fundo do meu coração.

A professora Rafaella Matos, que me auxiliou no estágio, dando um suporte para o desenvolvimento onde foi base para a escolha da área de estudo do meu Trabalho de Conclusão de Curso. O meu muito Obrigado.

A professora Leidjane Oliveira, a quem me fez conhecer sobre a área de pesquisa que seguir para esse trabalho, e a quem sou muito agradecido.

Aos professores do Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura que souberam em torna minha jornada, me orientar para uma base em minha vida profissional.

Insista, persista e nunca desista.

RESUMO

A automatização da extração de feições auxilia no mapeamento temático, especialmente se a feição em questão possui uma variação de contorno tais como açude ou reservatório. Nesse trabalho tem-se uma aplicação para extração de açude utilizando índices biofísicos. Trabalhou-se nos açudes/reservatórios pertencentes ao Alto trecho do Pajeú, com ênfase no reservatório de Manopla. Com o auxílio dos softwares QGIS versão 2.18.15, Spring 5.2.7 e Google Earth, foi feita uma análise na dinâmica espaço-temporal em três épocas diferentes: 2010, 2013 e 2016. A partir dos índices NDVI (*Normalized Difference Vegetacion Index*) e NDWI (*Normalized Difference Water Index*), aplicados às imagens de satélite LANDSAT 5 TM e LANDSAT-8 sensor OLI, foi feita uma identificação de contornos nos reservatórios e uma análise comparativa com a extração manual obtida a partir do software Google Earth. Utilizou-se os métodos de classificação de dados implementados no software QGIS (versão 2.18.15), e adotou-se o melhor procedimento que se adequa de acordo com as especificações a extração de contorno de reservatórios.

Palavras-chaves: Alto Pajeú. Reservatórios. Índices radiométricos. Classificação. Extração de contornos.

ABSTRACT

The automation of feature extraction helps in thematic mapping, especially if the feature in question has a contour variation such as reservoir or reservoir. In this work we have an application for weed extraction using biophysical indexes. The reservoirs belonging to the upper section of Pajeú, with emphasis on the reservoir of Manopla, were worked. With the help of the software QGIS version 2.18.15, Spring 5.2.7 and Google Earth, an analysis of spatial-temporal dynamics was made in three different periods: 2010, 2013 and 2016. From the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and NDWI (Normalized Difference Water Index), applied to the LANDSAT 5 TM and LANDSAT-8 OLI sensor images, a contour identification was made in the reservoirs and a comparative analysis was made with the manual extraction obtained from the Google Earth software. We used the data classification methods implemented in the QGIS software (version 2.18.15), and adopted the best procedure that conforms to the specifications of reservoir contour extraction

Keywords: Alto Pajeú. Reservoirs. Radiometric indexes. Ranking. Contour extraction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Localização da Área de Estudo	16
Figura 2-	Localização da Bacia do Pajeú	17
Figura 3-	Interface do Software QGIS	19
Figura 4-	Analise espaço temporal dos Reservatórios no Alto Pajeú	20
Figura 5-	Perfil transversal no reservatório de Manopla- Pernambuco.....	26
Figura 6-	Representação dos índices Biofísicos no reservatório Manopla	28
Figura 7-	Mapas temáticos do Índice NDVI da região do Alto Pajeú para os anos 2010 (A), 2013 (B) e 2016 (C).....	29
Figura 8-	Mapas temáticos do Índice NDWI da região do Alto Pajeú para os anos 2010 (A), 2013 (B) e 2016(C)	32
Figura 9-	Localização do Reservatório de Manopla	36
Figura 10-	Recorte da Composição RGB 543 (A) ano de 2010, RGB 654 (B) ano de 2013 e RGB 654 (C) ano de 2016	37
Figura 11-	NDVI e NDWI relacionados a um mesmo ponto, nas épocas 2010 (A), 2013 (B), 2016 (C)	40
Figura 12-	Classificação nos métodos de: Continuo, Intervalo Igual e Quartil em 5,10,15 classes, para as épocas de 2010 (A),2013 (B),2016 (C)	42
Figura 13-	Interface do Google Earth, e ferramenta “Adicionar polígono”	45
Figura 14-	Contornos extraídos no Software Google Earth. Nas épocas 2010,2013 e 2016	45
Figura 15-	Identificação do contorno através da Feição “Água” nas épocas, 2010 (A),2013 (B) e 2016 (C)	47
Figura 16-	Superposição dos métodos: Extração Manual e Automática	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Reservatórios do Alto Pajeú	18
Tabela 2-Descrição das bandas do Mapeador temático (TM) do LANDSAT 5, sensor TM	22
Tabela 3- Coeficientes de Calibração para o ano de 2010	22
Tabela 4- Parâmetros auxiliares para o calculo do NDVI e NDWI no LANDSAT 5, sensor TM	24
Tabela 5- Parâmetros obtidos para o calculo da TOA	25
Tabela 6- Valores máximos e mínimos para os índices biofísicos.....	35
Tabela 7-Analise dos alvos no perfil transversal, 2010 (A), 2013 (B), 2016 (C).....	38
Tabela 8- Informações referentes ao reservatório Manopla	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
4	METODOLOGIA	16
4.1	Área de Estudo	16
4.2	Materiais	18
4.3	Métodos	19
4.3.1	Plano de Informações	19
4.3.2	Analise de Mudanças	20
4.3.3	Processamento de Imagens.....	21
4.3.4	Método de extração Manual de contorno utilizando Google Earth.....	25
4.3.5	Análise dos Alvos nas imagens de satélite.....	25
4.3.6	Classificação	26
4.3.7	Método de extração automática do contorno através do QGIS	27
4.3.8	Análise comparativa entre os métodos de extração de contorno.....	28
5	RESULTADOS E ANÁLISES	28
5.1	Perfil transversal	36
5.2	Representação da Classificação	41
5.3	Extração Manual	45
5.4	Extração Automática	46
5.5	Comparação quantitativa entre os Métodos Manual e Automático	50
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	51
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Os corpos hídricos encontram-se em permanente relação com os elementos do ecossistema que o integram (solo/substrato rochoso, água, ar, cobertura vegetal, atividades produtivas) e com os processos a eles relacionados (BOTELHO; SILVA, 2004). Açudes e reservatórios contidos em regiões que possuem regime de longa estiagem e depois de chuva, podem apresentar alterações significativas de volume e área, e assim podem se tornar bem diferentes ao longo dos anos.

Os índices radiométricos, também chamados aqui de índices biofísicos, são medidas capazes de identificar e realçar em imagens de satélites determinados tipos de informações, tais como áreas edificadas, cobertura vegetal, cursos d'água, solo exposto entre outros, além de a normalização contribuir na redução de ruídos e efeitos de iluminação (FRANÇA et al., 2012). Nesse sentido, a partir de imagens de média e alta resolução, e técnicas de processamento de imagem, o sensoriamento remoto tem sido utilizado para mapeamento e detectar informações que compõem o espaço.

Nesse contexto, este trabalho de conclusão de curso consiste em um estudo com foco nos reservatórios pertencentes ao Alto Pajeú, onde através da utilização de técnicas de processamento de imagens, e com auxílio de softwares, tais como QGIS e Google Earth, fazer-se uma análise quantitativa e a extração do contorno de reservatórios, através desses métodos de processamento e a comparação com a extração manual.

O estudo de índices biofísicos em regiões que apresentam grandes variações de resposta espectral em relação ao tempo vem de grande importância na identificação das feições naturais, e nesse aspecto esse trabalho está na ideia do contorno de reservatórios, utilizando duas formas: Automática e Manual. Obtendo-se assim processos que venham a ajudar na visualização de corpos d'água e na sua representação e qualidade do dado cartográfico. Para o caso de contornos de reservatórios e açudes pode-se utilizar esses índices para automatizar a dinâmica de seus contornos, especialmente quando esses reservatórios e açudes se localizam, por exemplo, no sertão Pernambucano e possuem alterações significativas de área e volume de água armazenados em diferentes épocas do ano.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os contornos gerados utilizando a extração manual e compara-los quantitativamente com o obtido através dos índices biofísicos e assim entender a dinâmica espacial da região em questão.

2.2 Objetivos específicos

- Extração manual do contorno usando o software Google Earth.
- Extração automática do contorno por meio dos índices biofísicos.
- Mapeamento da alteração espacial do reservatório (caso Manopla).
- Comparaçao entre os métodos manual e automático na geração de contornos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

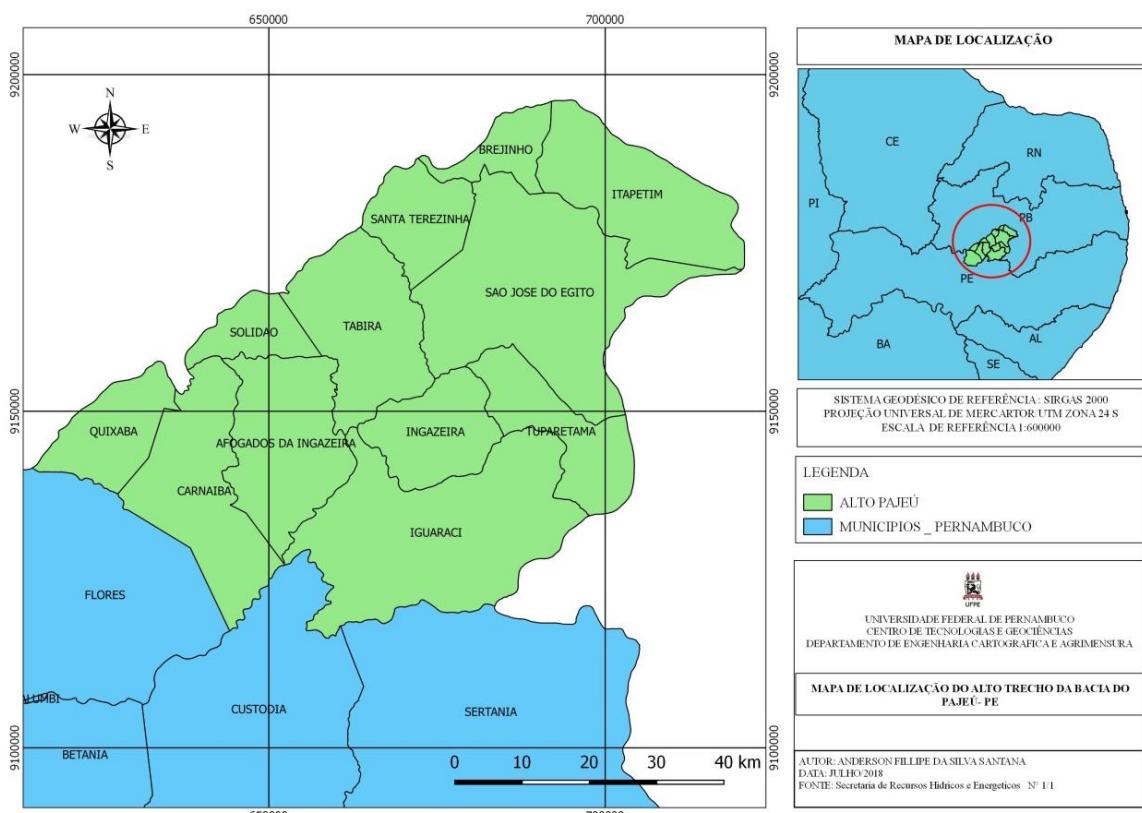
A fundamentação teórica desse trabalho levou em consideração os conceitos de reflectância para a obtenção dos índices biofísicos estudados englobando sensoriamento remoto e processamento de imagem, a contribuição que Google Earth pode fornecer com seu mapeamento em WGS84, e a ferramenta QGIS que possui um módulo de classificação: Intervalo Igual e Quartil (Software QGIS versão 2.18.15). Na seção 4 isso está integrado de forma teórica e prática para esse trabalho que fornece novas possibilidades de extração de dados para a cartografia e mapeamento temático.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

A área de objeto de estudo está localizada no Alto Pajeú, representado pelos municípios de Brejinho, Itapetim, São José do Egito, Santa Terezinha, Tabira, Tuparetama, Iguaí, Afogados da Ingazeira, Solidão, Quixaba e Carnaíba, onde estão localizadas nas nascentes dos primeiros formadores da rede hidrográfica, nesta região encontra-se a nascente principal do Rio Pajeú localizada a uma altitude de, aproximadamente, 800 (oitocentos metros), na serra do Balanço, município de Brejinho, divisa entre os estados de Pernambuco e Paraíba (figura 1).

Figura 1- Localização da Área de Estudo.

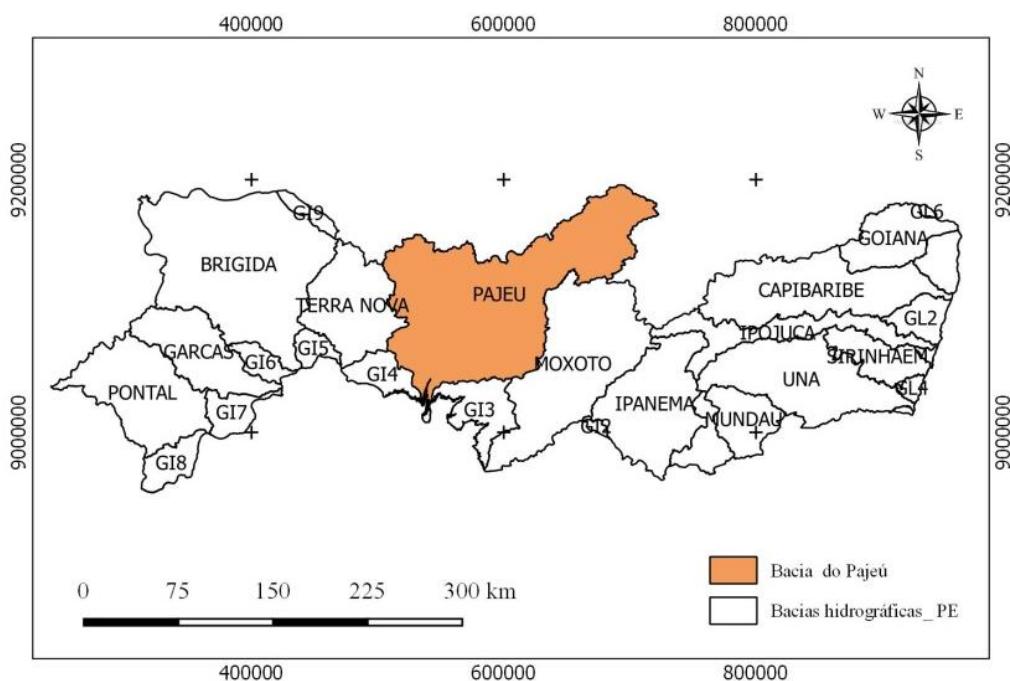


Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

A Unidade hidrográfica Bacia do Pajeú (figura 2), está localizada na porção centro-occidental do Estado de Pernambuco, a mesma constitui a Unidade de Planejamento Hídrico 9 (UP9) e é uma das bacias da vertente pernambucana do Rio São Francisco. É uma das mais extensas bacias hidrográficas de Pernambuco limitada ao norte dos estados do Ceará e Paraíba, e ao sul

com o grupo de bacias de pequenos rios interiores: GI3 (UP22) e a bacia do rio Moxotó (UP8), a leste com a bacia do rio Moxotó e o estado da Paraíba, e ao oeste com a bacia do rio Terra novo (UP10) e o grupo de pequenos rios interiores 4 – GI4 (UP23).

Figura 2- Localização da Bacia do Pajeú



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

O Alto Pajeú se encontra como uma das mais susceptíveis ao processo de desertificação, no contexto geral é uma região que apresenta baixos índices de desenvolvimento humano (IDH). Segundo SECTMA-PE (2006), a bacia possui um clima semiárido apresentando temperaturas medias anuais entre 21,6°C e 24,5°C, e com médias pluviométricas anuais inferiores a 800 mm, concentradas nos meses de fevereiro, março, abril, período no qual as precipitações representam até 70% do total anual. Os reservatórios principais para a área de estudo estão localizados no Alto trecho da Bacia do Pajeú, a tabela 1 mostra as principais informações sobre os mesmos e a sua finalidade.

Tabela 1- Reservatórios do Alto Pajeú.

Reservatório	Capacidade (m³)	Município	Curso d'água	Finalidade Principal	UTM (E)	UTM (N)
Serrinha	1 256 504	Brejinho	Rio Pajeú	Irrigação	628742	9134629
Manopla	1 444 300	Itapetim	Riacho Esperança	Abastecimento	696644	9185015
Boa Vista	16 448 450	Itapetim	Riacho do Belém	Abastecimento	709022	9180963
Açude São Vicente	X	Itapetim	Riacho Cacimba	Abastecimento	709989	9176841
Retiro	1 117 693	São José do Egito	Riacho das Batatas	Irrigação e Abastecimento	693823	9177250

Fonte: Candeias (2016).

Desse modo, um estudo nessa área em épocas diferentes irá nos demonstrar qual a variação na dinâmica espacial do Alto Pajeú e a variação nos contornos dos reservatórios e como ocorreu o resultado de tal procedimento.

4.2 Materiais

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais para a análise e procedimentos de estudo no Alto Pajeú:

- *Software QGIS versão 2.18.15;*
- *Software Spring versão 5.2.7;*
- *Software Google Earth Pro. Lnk;*
- *Notebook ACER-PC Aspire 5750, memória 3GB, Sistema operacional Windows 7 Ultimate 64 bits.*
- Dados do e-book intitulado “Algumas práticas de tecnologias sociais na região do Alto Pajeú” (CANDEIAS, 2015).
- Imagens de satélites LANDSAT 5-TM, na data de 15 de outubro de 2010 e LANDSAT 8 - OLI, nas datas de 07 de outubro de 2013 e 13 de setembro de 2016, obtidas no site da United States Geological Survey (UGGS), na órbita/ponto 215/65.

- Pesquisa bibliográfica a partir de análise de livros, artigos, dissertações, manuais e outras publicações acerca do estudo da região.

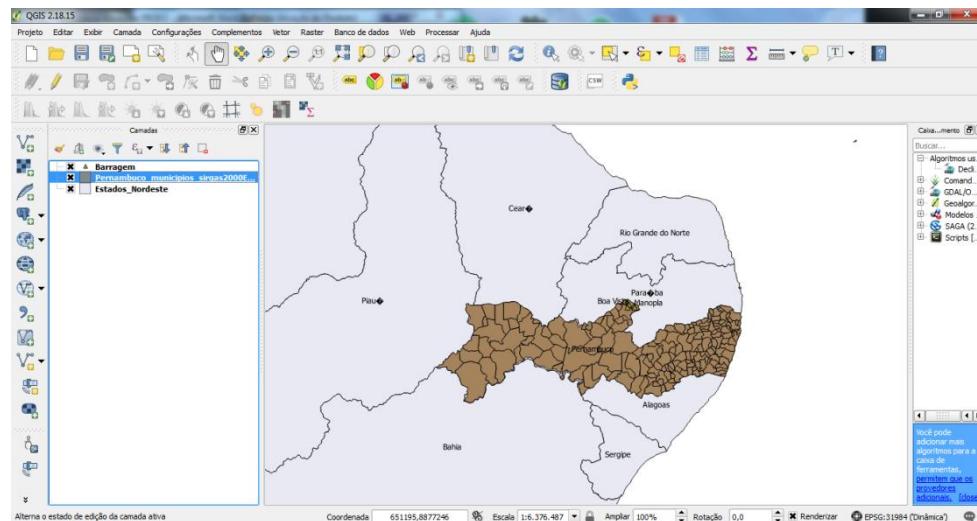
4.3 Métodos

4.3.1 Plano de Informações

A partir dos dados apresentados no e-book intitulado “Algumas práticas de tecnologias sociais na região do Alto Pajeú”, o qual apresenta diversas características acerca da região assim como tabelas e imagens ilustrativas. Informações foram obtidas, como as coordenadas referentes aos reservatórios do Alto Pajeú tal como a sua finalidade.

Com o auxílio do *software* QGIS versão 2.18.15, e com esses dados adquiridos, foram gerados planos de informações (layers) em *Shapefile* desses reservatórios e como também o complemento de informações a tabela na camada (Figura 3).

Figura 3- Interface do Software QGIS.



Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos.

4.3.2 Analise de Mudanças

Os planos de informações gerados no *software QGIS* versão 2.18.15, foram exportados para o formato KML (*Keyhole Markup Language*), formato esse utilizado pelo *software Google Earth*, buscando uma melhor visualização. Através da ferramenta “Imagens Históricas”, foram observadas em três épocas diferentes o comportamento dos cinco reservatórios, levando em consideração a biblioteca de imagens disponibilizadas e a resolução da imagem de satélite que melhor retrata o objeto de verificação no mês.

Com essa análise espaço-temporal (figura 4) é possível verificar a descrição da paisagem em um determinado intervalo de tempo e analisar fatores como: cobertura vegetal, solo, recursos hídricos, dentre outros.

Figura 4- Analise espaço temporal dos Reservatórios no Alto Pajeú.

ANALISE ESPAÇO - TEMPORAL DOS RESERVATÓRIOS			
NOME	fev/11	dez/13	set/16
SERRINHA			
BOA VISTA			
MANOPLA			
AÇUDE SÃO VICENTE			
RETIRO			

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

4.3.3 Processamento de Imagens

Para esse estudo foi utilizado imagens de satélites obtidas no site *United States Geological Survey* (USGS), com órbita 215/65. Foram obtidas imagens de satélite LANDSAT 5 sensor TM na data de 15 de outubro de 2010 e imagens de satélite LANDSAT - 8 sensor OLI nas datas de 07 de outubro de 2013 e 13 de setembro de 2016.

Para a delimitação da área de estudo, foi utilizado o *software QGIS* versão 2.18.15, onde foi realizada a criação de uma camada vetorial com os municípios do Alto trecho (Brejinho, São José do Egito e Itapetim), na extensão *Shapefile*. Este polígono foi introduzido e feito o recorte no plano de informação de modo a fornecer região de estudo.

Para a aplicação dos índices biofísicos, iremos utilizar dois procedimentos: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NDWI (*Normalized Difference Water Index*), para as imagens dos satélites LANDSAT 5, sensor TM, foi utilizado as bandas 3 e 4. Para as imagens de satélites LANDSAT 8, sensor OLI foram utilizadas as bandas 4, 5 e 6, as quais representam o intervalo do vermelho, infravermelho próximo e SWIR1.

Etapas do Processamento

Para as imagens do satélite LANDSAT 5, sensor TM iremos utilizar os seguintes procedimentos para resultar no cálculo do Índice de Vegetação por diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Água por diferença Normalizada (NDWI).

1- Calibração Radiométrica

A calibração radiométrica (equação 1), consiste em uma conversão do número digital (ND) que varia de 0 a 255 e é convertido em radiância espectral de cada banda, sendo assim foi aplicado a equação de Markham & Baker (1987), para as imagens orbitais do satélite LANDSAT 5, sensor TM, para o ano de 2010.

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde temos: L_{λ} = radiância espectral de cada banda ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$); “a” e “b” = radiâncias espectrais mínimas e máximas ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$); ND = Número digital de cada pixel e

$D_{nmáx} = 255$, pois a resolução radiométrica para as imagens de satélite LANDSAT 5, sensor TM é 8 bits.

Os valores utilizados na radiância espectral mínima e máxima, que são respectivamente **a** e **b**, para o ano de 2010 foi retirado em Chander et al. (2009); que consta a descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do LANDSAT 5, na tabela 2 a seguir:

Tabela 2- Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do LANDSAT 5, sensor TM.

Bandas	Comprimento de onda (μm) desde 1994)	Coeficientes de Calibração ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)			Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera – $K_{\lambda i}$ ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)	
		a	b 01/03/1994 a 04/05/2003	b 05/05/2003 a 01/04/2007		
1 (azul)	0,452 – 0,518	-1,52	152,10	193,0	169,0	1983
2 (verde)	0,528 – 0,609	-2,84	296,81	365,0	333,0	1796
3 (vermelho)	0,626 – 0,693	-1,17	204,30	264,0	264,0	1536
4 (IV-próximo)	0,776 – 0,904	-1,51	206,20	221,0	221,0	1031
5 (IV-médio)	1,567 – 1,784	-0,37	27,19	30,2	30,2	220
6 (IV-termal)	10,450 – 12,420	1,2378	15,303	15,303	15,303	-
7 (IV-médio)	2,097 – 2,349	-0,15	14,38	16,5	16,5	83,44

Fonte: Chander et al. (2009).

Os valores dos parâmetros utilizados para as Bandas 3 e 4, nesse estudo podem ser observados na tabela 3 a seguir.

Tabela 3- Coeficientes de Calibração para o ano de 2010.

Parâmetros	2010		
	Banda 3 (Vermelho)	Banda 4 (Infravermelho Próximo)	Banda 5 (Infravermelho Medio)
a	-1,17	-1,51	-0,37
b	264,0	221,0	30,2
Ki	1536	1031	220

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Após o cálculo da radiância para cada banda espectral do satélite LANDSAT 5, sensor TM, é calculada a reflectância monocromática (equação 2) de cada banda, em que corresponde à razão entre o fluxo de radiação refletida por cada banda e o fluxo de radiação incidente, obtida através da equação de Allen et al (2002).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Onde:

$\rho_{\lambda i}$ = reflectância monocromática de cada banda ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$); L_{λ} = radiância espectral monocromática ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$); $k_{\lambda i}$ = irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$); Z = ângulo zenital solar no momento da aquisição e d_r = quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol em dado dia do ano.

Para calcularmos a determinação da razão entre a distância Terra-Sol (d_r) irá utilizar a seguinte equação (3):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DAS \cdot 2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

Onde:

DAS = corresponde ao dia sequencial do ano.

Após o cálculo da reflectância nesse processo, iremos calcular os índices físicos NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o NDWI (*Normalized Difference Water Index*).

Onde para o cálculo do NDVI (equação 4) é dado pela razão da subtração pela soma das reflectâncias das bandas 4 e 3 do LANDSAT- 5, sensor TM.

$$NDVI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_v)}{(\rho_{iv} + \rho_v)} \quad (4)$$

Onde:

ρ_{iv} = Reflectância da banda do Infravermelho próximo (banda 4) e ρ_v = Reflectância da banda do vermelho (banda 3).

O cálculo do NDWI (equação 5), é dado pela razão da subtração pela soma das bandas 4 e 5 do LANDSAT – 5, sensor TM.

$$NDWI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_{mir})}{(\rho_{iv} + \rho_{mir})} \quad (5) \quad \text{On de:}$$

ρ_{iv} = Reflectância da banda do Infravermelho próximo (banda 4) e ρ_{mir} = Reflectância da banda do Infravermelho médio (banda 5).

Estão listados na tabela 4 a seguir, os parâmetros já comentados nessa seção que serviram de auxílio para o cálculo do índice radiométrico NDVI e NDWI.

Tabela 4- Parâmetros auxiliares para o calculo do NDVI e NDWI no LANDSAT 5, sensor TM.

Parâmetros	Valores
E	1,104265964
Cos (Z)	0,89313427
DSA	288
Dr	1,008014041

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Para o cálculo do NDVI para imagens de satélites LANDSAT-8, sensor- OLI, foram utilizadas as informações disponibilizadas pelo site da USGS, no arquivo de texto (*.MTL). Este tipo de sensor é caracterizado por apresentar bandas espectrais com resolução radiométrica de 16 bits, as faixas espectrais utilizadas foram a do vermelho e infravermelho próximo que correspondem as bandas 4 e 5. O primeiro procedimento está na conversão dos valores de numero digital para reflectância do Topo da Atmosfera (TOA), através da equação 6.

$$\rho_{\lambda'} = M\rho Q_{cal} + A\rho \quad (6)$$

Onde:

$\rho_{\lambda'}$ = TOA reflectância planetária sem correção do ângulo solar; $M\rho$: Banda específica multiplicativa de reflectância; $A\rho$ = Banda específica aditiva e Q_{cal} : Quantização e calibração dos valores de pixel (DN).

O resultado obtido para a reflectância planetária ($\rho_{\lambda'}$) é influenciado por fatores externos como o ângulo do sol, onde dessa forma é necessário se fazer a correção com o objetivo de se obter a reflectância do TOA ajustada, aplicado na equação 7 a seguir.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos(\theta_{SE})} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta_{SZ})} \quad (7)$$

Onde:

ρ_{λ} = TOA reflectância planetária; θ_{SE} = Ângulo de elevação solar e θ_{SZ} = Ângulo zenital solar.

Após a correção da reflectância planetária TOA, iremos aplicar a formula do NDVI, onde será utilizado as bandas 4 e 5. E no calculo do NDWI, foi utilizado as bandas 5 e 6, onde a banda 5 vem realçar a vegetação com alto valor de brilho e corpo d'água com baixo valor de brilho. A banda 6 também realiza o corpo d'água com baixo valor de brilho, no entanto nesta banda, os altos valores são produzidos por áreas de solo exposto.

Esse procedimento foi utilizado para duas épocas: 2013 e 2016, os valores disponibilizados nos metadados da imagem estão na tabela 5.

Tabela 5- Parâmetros obtidos para o cálculo da TOA.

Parâmetros	2016		
	Vermelho	Infravermelho Próximo	SWIR 1
M_ρ	2.0000E-05	2.0000E-05	2.0000E-05
Q_{cal}	Banda 4	Banda 5	Banda 6
A_ρ	-0.100000	-0.100000	-0.100000

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

4.3.4 Método de extração Manual de contorno utilizando Google Earth

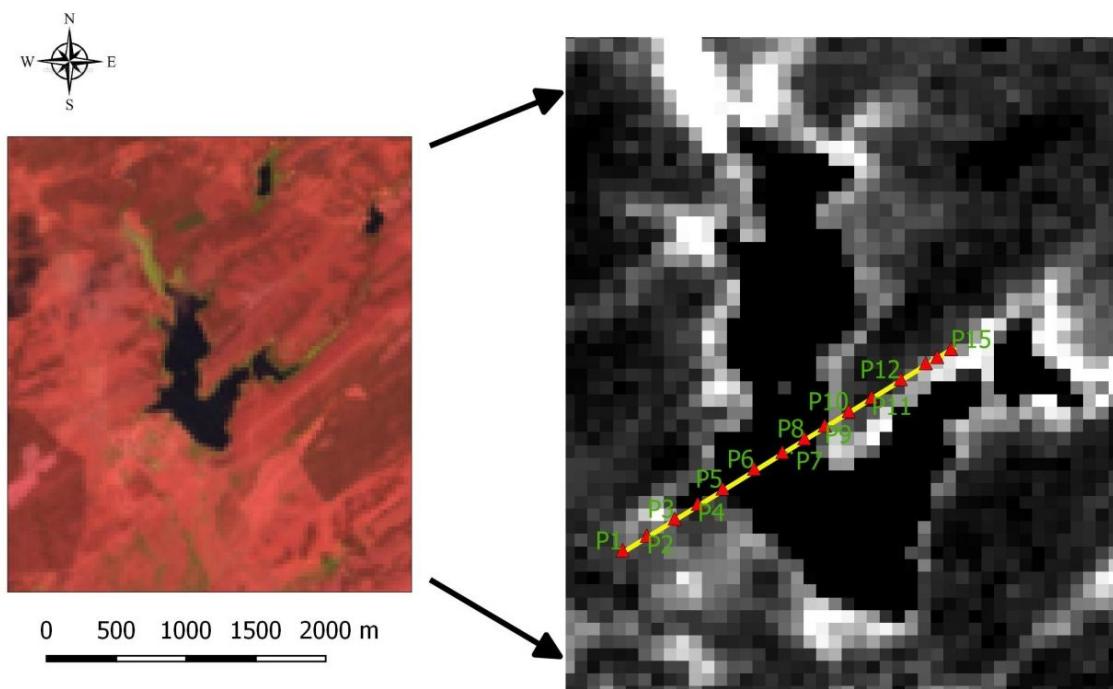
A partir dos planos de informações gerados no *software QGIS*, foi feita a conversão dos shapefile para o formato KML (*Keyhole Markup Language*), de modo a termos uma melhor visualização dos dados em uma plataforma atualizável. O Google Earth adota como seu sistema de referencia o WGS84, onde dentre suas várias funcionalidades do Google Earth, está à ferramenta de geração de polígono, onde foram tomadas as seguintes etapas:

- Aproximação da visualização de modo que não gere distorções na imagem de satélite para uma boa execução do procedimento.
- Execução do contorno, feita através da ferramenta “Adicionar polígonos” com a opção sólido circunscrito de modo para a geração do contorno.
- Conversão do formato KML (*Keyhole Markup Language*) para *Shapefile*, de modo a termos a camada vetorial e adquirir mais informações.

4.3.5 Análise dos Alvos nas imagens de satélite

A realização desse procedimento tem como função a análise dos valores dos pixels como a sua classificação: solo, vegetação e água. Para tal análise foram marcados 15 pontos em um perfil transversal (figura 5), onde com a utilização dos índices biofísicos: NDVI e NDWI foram obtidos os valores referentes a esses pontos e classificá-los de acordo com a composição RGB, referente a cada satélite e a época estudada, compreendida nos anos de 2010 a 2016, também foi feita essa análise através de gráficos de modo a ver o comportamento de um mesmo alvo em ambos os índices biofísicos.

Figura 5- Perfil transversal no reservatório de Manopla-Pernambuco



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

4.3.6 Classificação

Após os processamentos de dados, e gerados os índices biofísicos NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NDWI (*Normalized Difference Water Index*), é feito um estudo de modo a se obter a melhor classificação: continuo, intervalo ou quartil, que represente melhor à área de estudo e termos a obtenção do principal objetivo deste trabalho.

Diversos métodos podem ser utilizados no processo de classificação de dados, dentre os quais foram utilizados nesse trabalho: Continuo, Intervalo Igual e Quartil, métodos esses que estão implementados nas plataformas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como o QGIS utilizado nesse trabalho. Foi analisada a variação dos reservatórios em três situações de

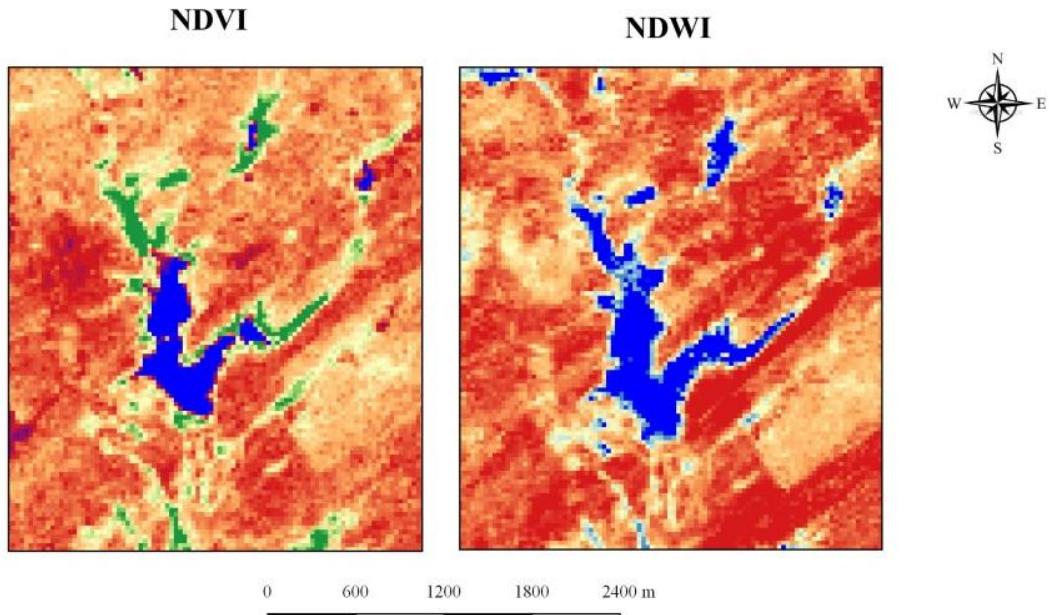
classes: 5,10 e 15 classes. Facilitando na compreensão da análise espacial e qual melhor representará.

4.3.7 Método de extração automática do contorno através do QGIS

Para a obtenção do contorno no *software* QGIS, foram calculados os índices biofísicos citados nesse trabalho de modo a se obter qual melhor representaria o contorno. A figura 6 mostra o resultado obtido dos índices no reservatório de Manopla no ano de 2010, onde é determinado que o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), apresenta um melhor nível de detalhamento para a obtenção do resultado. Dessa forma foram feitas as seguintes etapas nesse processo:

- Aplicação do Índice Biofísico NDVI, no tipo de satélite escolhido e a utilização das bandas necessárias.
- Classificação do range com seis classes de modo que em um dos intervalos sejam valores menos que zero (< 0), pois a mesma representa os pixels referentes à agua, na cor azul.
- Analisar o resultado com a composição colorida (RGB), do satélite escolhido no procedimento.

Figura 6- Representação dos índices Biofísicos no reservatório Manopla



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

4.3.8 Análise comparativa entre os métodos de extração de contorno

Esse processo visa a definir qual o método a ser adotado na geração de contornos de reservatórios, utilizando-se de vários procedimentos descritos anteriormente: índices biofísicos, extração manual, extração automática, analise dos alvos. Determinando por meio dos resultados gerados a relação que existe entre os dois tipos de extração e o modo de como foram geradas.

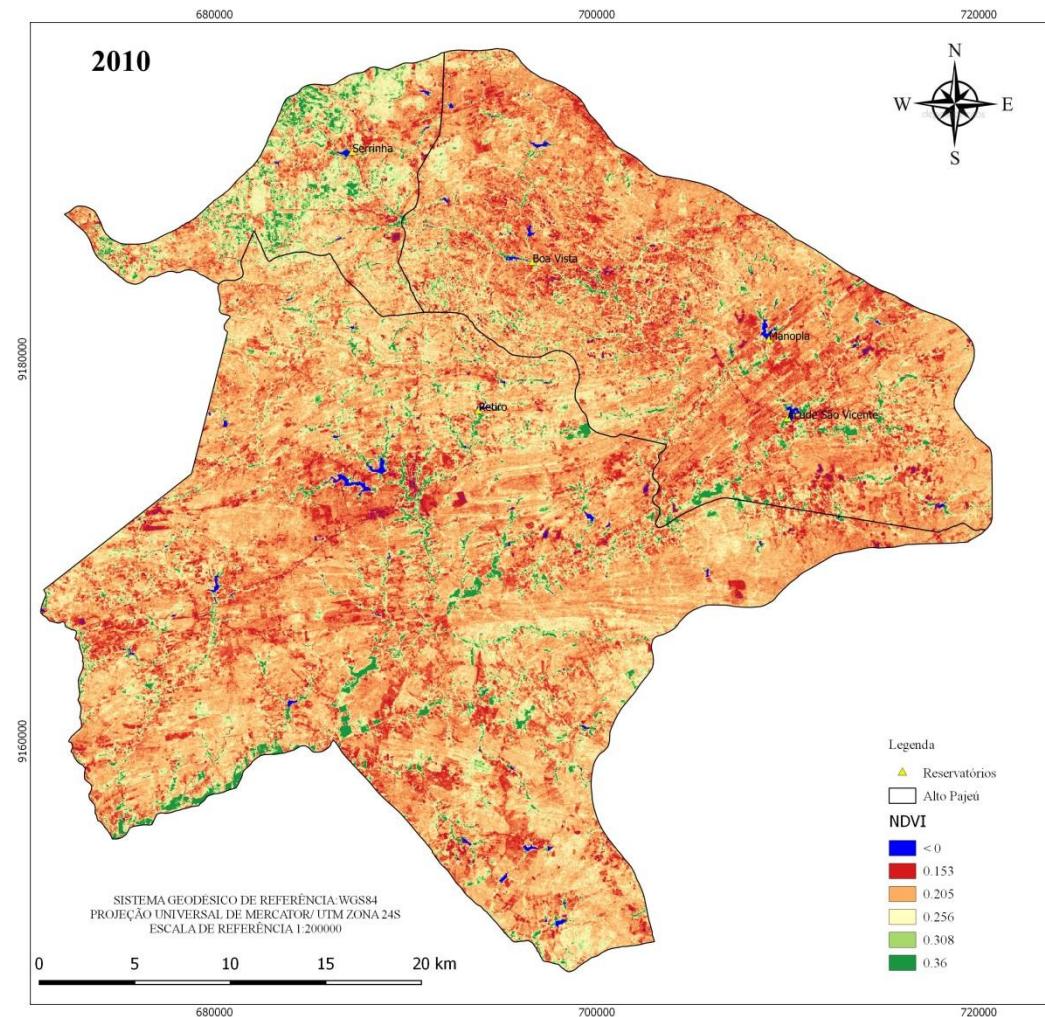
5 RESULTADOS E ANÁLISES

Índices Biofísicos

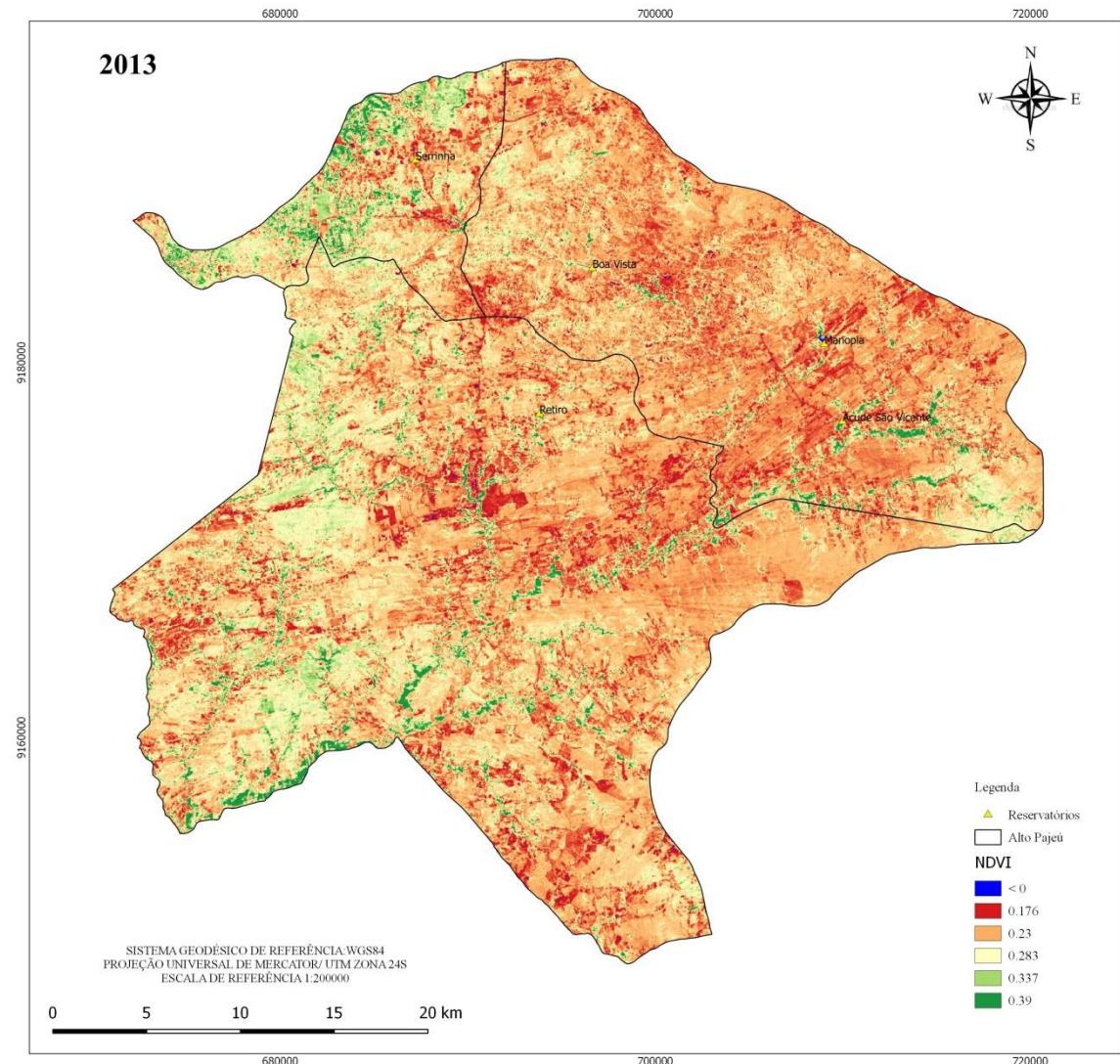
Com o resultado dos procedimentos para o cálculo dos índices biofísicos, das épocas de analise, foram obtidos mapas da região do Alto Pajeú, formado pelos municípios de: Brejinho, São José do Egito e Itapetim. Dessa forma com o recorte feito sobre as imagens de satélites e os cálculos efetuados dos índices, foram obtidos nas três épocas diferentes o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NDWI (*Normalized Difference Water Index*), dessa região demonstrada nas figuras 7 e 8.

Figura 7- Mapas temáticos do Índice NDVI da região do Alto Pajeú para os anos 2010 (A), 2013 (B) e 2016(C).

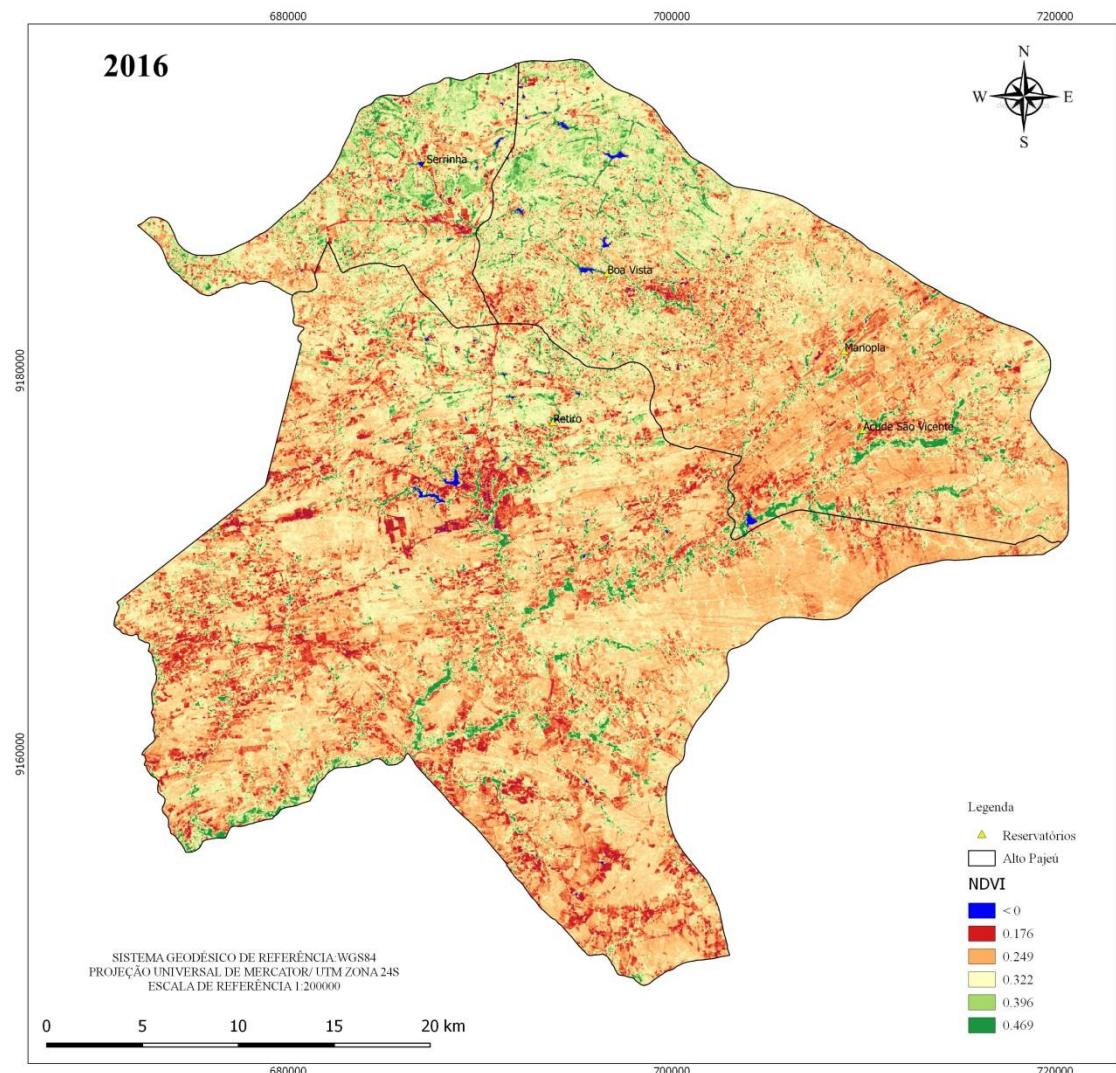
(A)



(B)



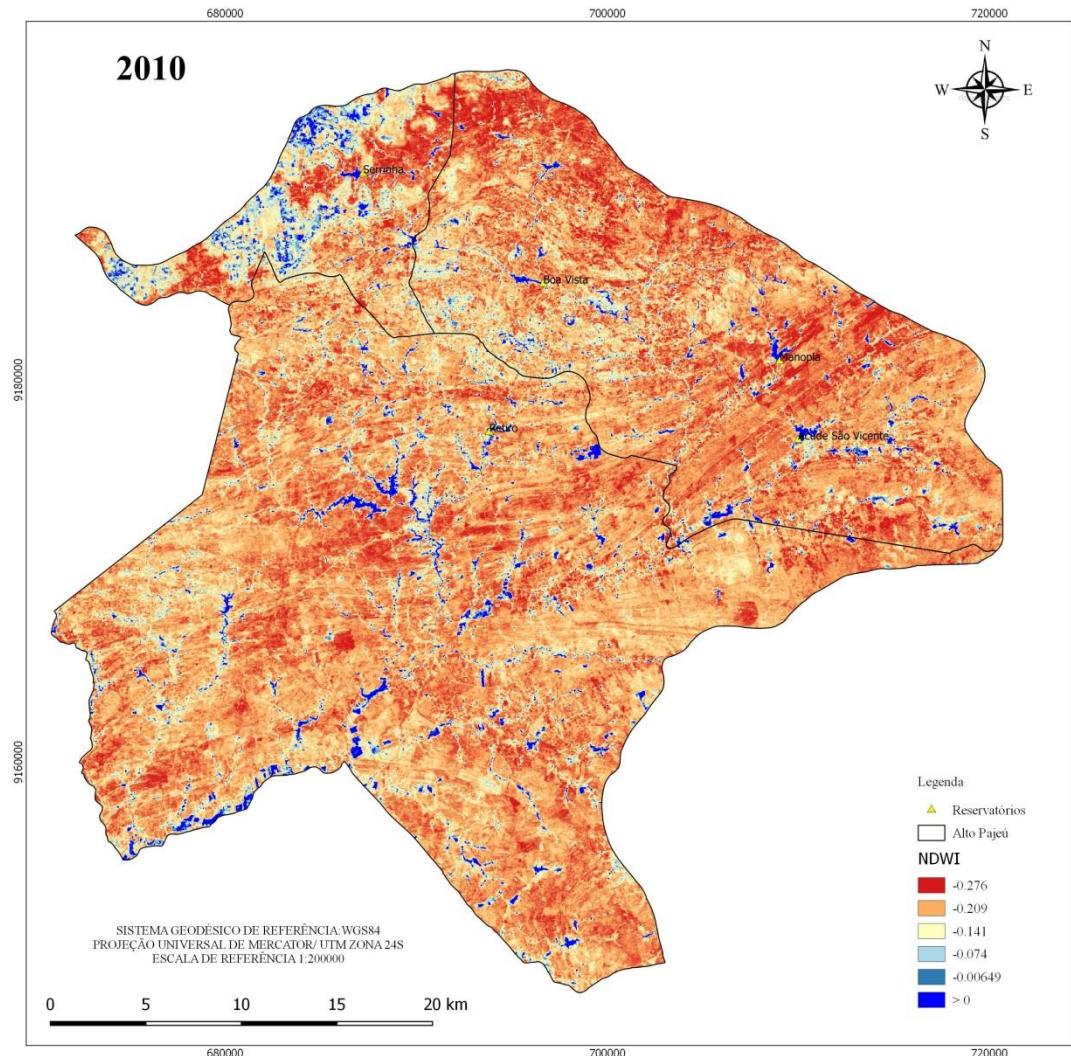
(C)



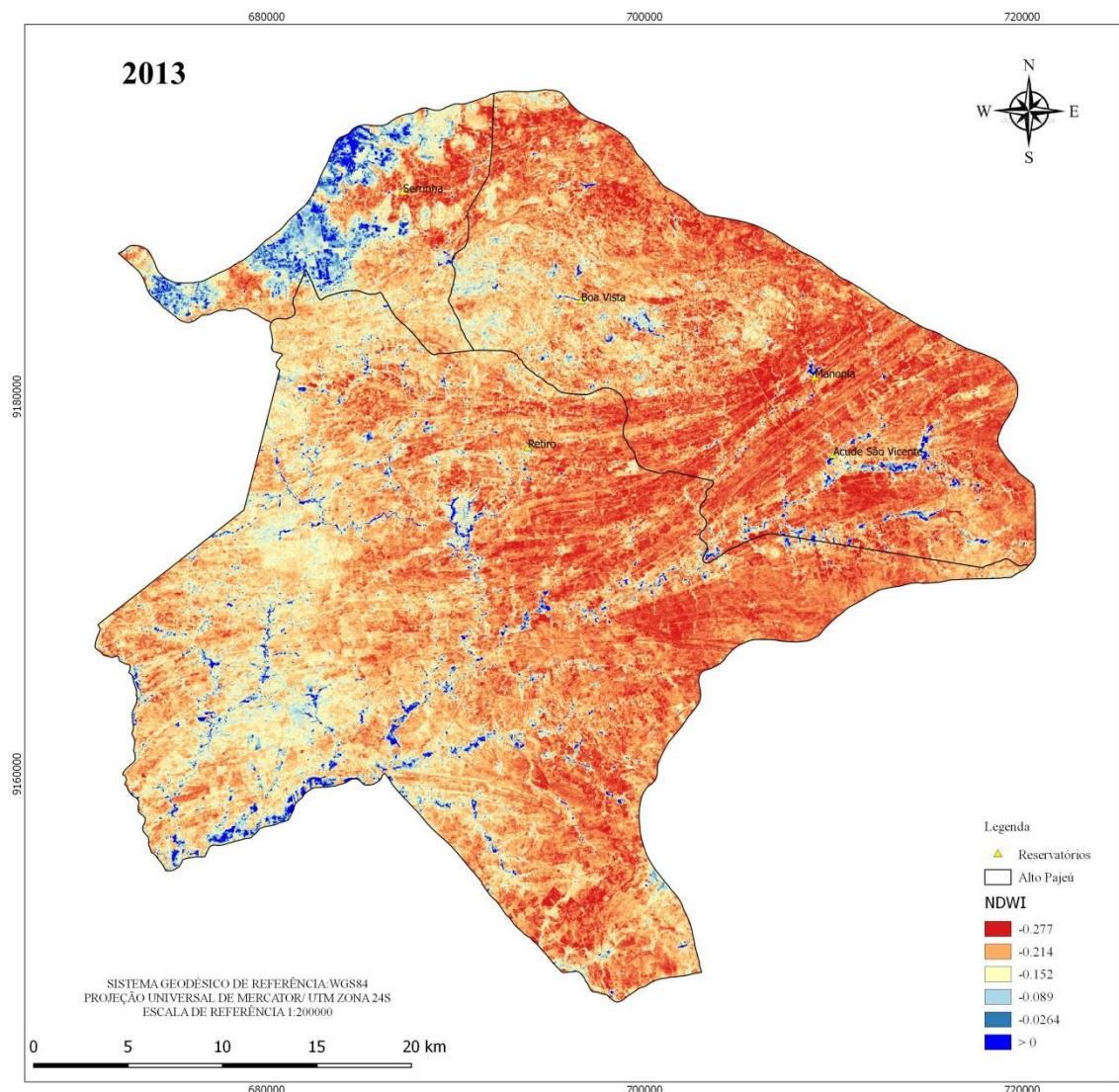
Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

Figura 8- Mapas temáticos do Índice NDWI da região do Alto Pajeú para os anos 2010 (A), 2013 (B) e 2016 (C).

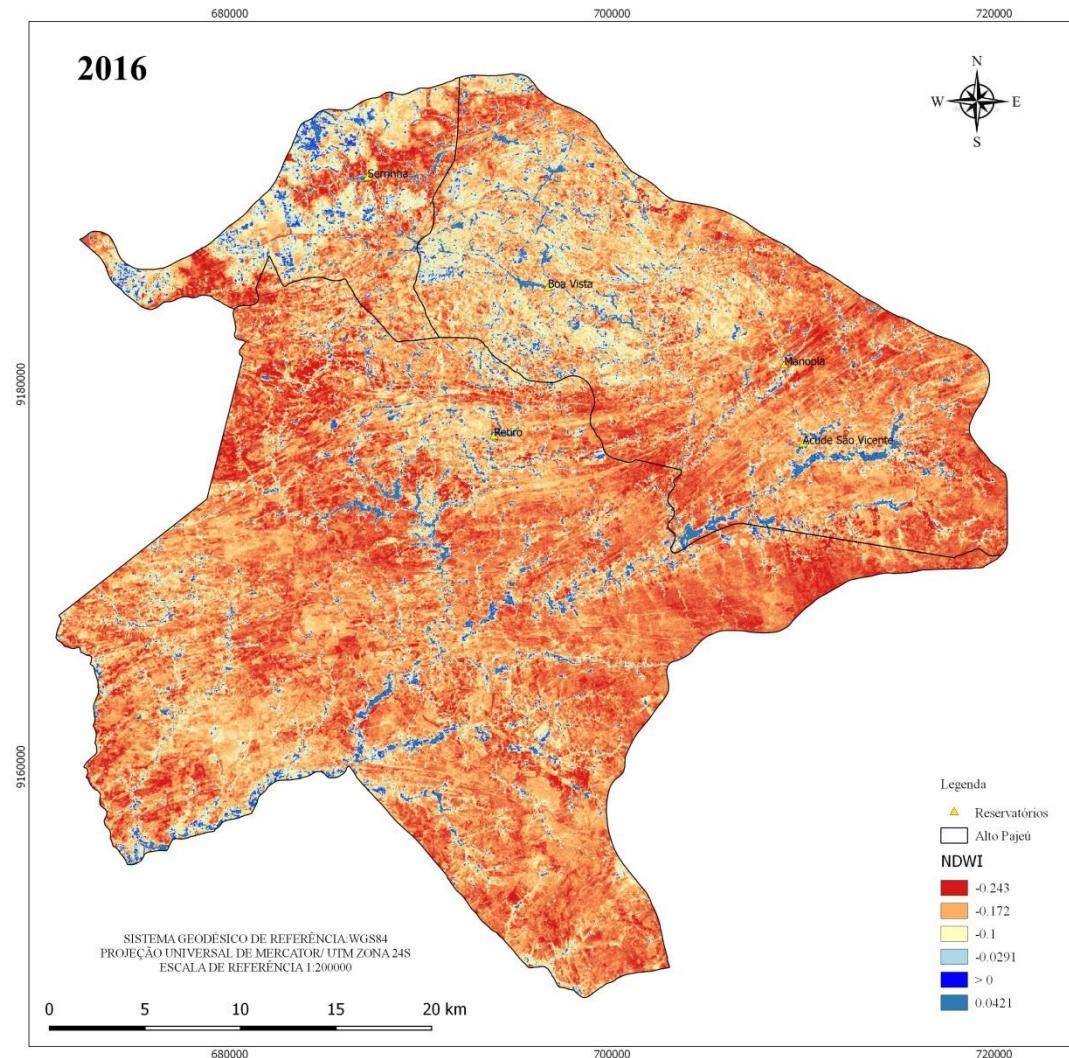
(A)



(B)



(C)



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

Ambos os procedimentos de índices biofísicos, estão de acordo com o que foi detalhado na figura 4, mostrando que a região apresenta grandes diferenças ao decorrer dessas três épocas, o elemento que vem a mais se destacar é a feição “água”, onde foi feito um aumento de classes: (<0 para o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e >0 para o NDWI (*Normalized Difference Water Index*)), seguindo de uma adição de mais uma cor no range, fazendo com que se tenha um maior detalhe de entendimento da dimensão que os reservatórios apresentam.

No entanto, para a geração dos contornos iremos utilizar apenas um dos procedimentos, onde o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) apresentou uma melhor resposta, devido que mostra uma eficiência no que se refere à caracterização de feições naturais (solo, água, vegetação), que compõem a área de estudo, o contorno dos reservatórios apartir das transformações que o mesmo apresenta.

Por meio das analyses foi verificado que ocorreu uma grande variação nos contornos, como também uma perda de vegetação e um aumento de solo exposto e também um aumento significativo da vegetação e das feições de água. A tabela a seguir (tabela 6) mostra os valores máximos e mínimos nas épocas diferentes para o NDVI e NDWI.

Tabela 6- Valores máximos e mínimos para os índices biofísicos.

	NDVI		NDWI	
	Min	Máx	Min	Máx
2010	0,152648	0,360235	-0,27634	-0,00649
2013	0,176169	0,390263	-0,27673	-0,02642
2016	0,175991	0,468768	-0,24277	0,042119

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

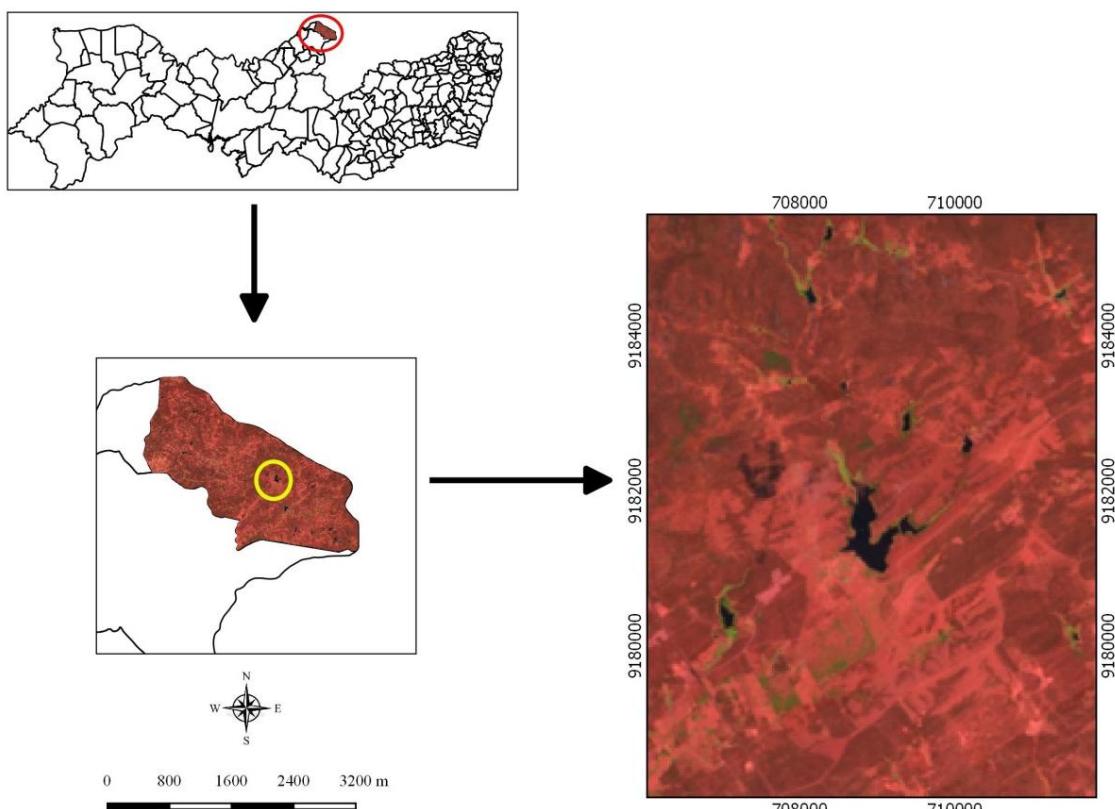
Segundo Huete and Tucker (1991), os números representativos a solos expostos são geralmente, no intervalo de 0,005 a 0,30. A região delimitada entre 0,24 a 0,30 constitui regiões com vegetação estressada pela ação antrópica, e entre 0,60 a 0,70 percebe-se resposta de atividade vegetal com altos índices de clorofila da vegetação nativa. No próximo tópico abordaremos a coleta de dados nos pixels e sua classificação, indo de acordo com Huete and Tucker (1991).

O NDWI, não está adequado para a delimitação do contorno pelo fato de que foi observado que além da representação dos reservatórios, há uma maior ocorrência de uniformidade de cor na mesma linha da agua, um dos fatos que podemos dar como consequência desse caso se deve ao fato de a vegetação que faz parte do contorno do reservatório, apresenta uma alta taxa de umidade e assim se agrupa com o corpo d' água na representação.

5.1 Perfil transversal

Para um maior nível de detalhe, foi criado um arquivo vetorial tipo linha para obter informações em uma determinada parte de um reservatório, onde foi traçado um perfil, e houve a adição de 15 pontos de controle (figura 5). O reservatório escolhido para tal analise foi a Manopla (figura 9), localizado no município de Itapetim, esse reservatório tem capacidade de 1.444.300 m³ e tem como principal finalidade o abastecimento do município, a escolha do mesmo se deve a grande variação que ocorre na região do reservatório e por se uma área critica de acordo com as características da região.

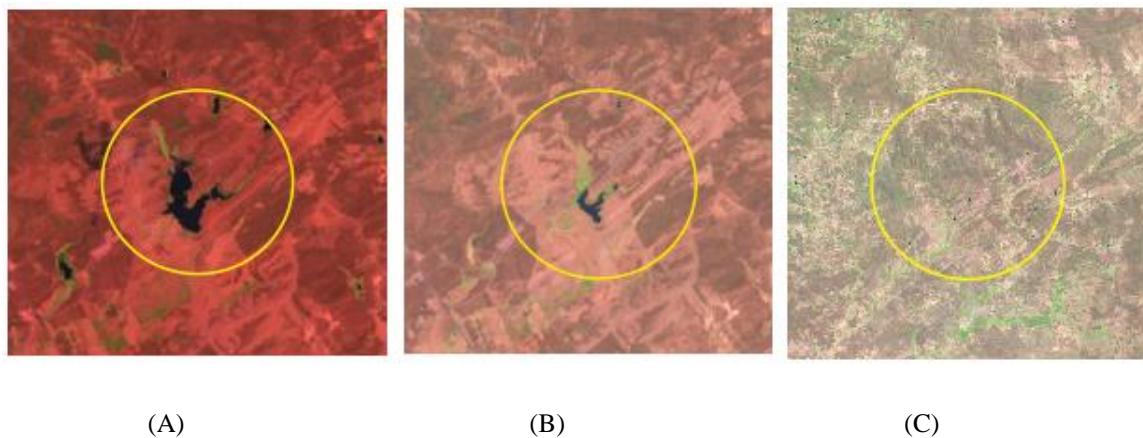
Figura 9- Localização do Reservatório de Manopla.



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

Primeiramente foi realizada a composição colorida das imagens de satélite LANDSAT- 5 sensor TM (RGB 543), e LANDSAT -8, sensor OLI (RGB 654), demostradas na figura seguinte (figura 10), onde nos dão apoio para a identificação dos alvos no perfil traçado em cada época no reservatório de Manopla.

Figura 10 - Recorte da Composição RGB 543 (A) ano de 2010, RGB 654 (B) ano de 2013 e RGB 654 (C) ano de 2016.



(A)

(B)

(C)

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

Dessa forma como já demonstrado na figura 5, foram analisados os valores dos pixels em 15 pontos de controle espalhados por um perfil transversal em três épocas diferentes (tabela 7), como também a classificação do alvo em: solo, vegetação e água. Por meio dessas análises foram extraídos os valores para a identificação dos alvos através, dos Índices Biofísicos NDVI e NDWI, nas três épocas estudadas. Os gráficos da figura 11 representam quantitativamente a representação de uma mesmo ponto aplicando os dois índices e como o mesmo terá a sua resposta espectral para o alvo.

Tabela 7- Analise dos alvos no perfil transversal para anos de 2010, 2013 e 2016

(a) Ano de 2010

PONTOS	ALVO (Composição RGB)	NDVI (0,153/0,360)	NDWI (-0,276/-0,006)
P1	Solo 1	0,204854	-0,2201132
P2	Solo 2	0,21399	-0,170213
P3	Vegetação 1	0,285025	-0,0270355
P4	Água 1	0,139864	-0,0724898
P5	Água 2	-0,0516892	0,00984837
P6	Água 3	-0,0821377	0,136623
P7	Água 4	-0,0821377	0,201702
P8	Água 5	-0,0728447	0,154606
P9	Água 6	0,0674448	0,114102
P10	Solo 3	0,196459	-0,186152
P11	Solo 4	0,175397	-0,250505
P12	Solo 5	0,196157	-0,235561
P13	Vegetação 2	0,246136	-0,175351
P14	Vegetação 3	0,304109	-0,0518745
P15	Solo 8	0,215633	-0,195613

(b) Ano de 2013

PONTOS	ALVO (Composição RGB)	NDVI(0,176/0,390)	NDWI (-0,277/-0,0264)
P1	Solo 1	0,2386875	-0,199964
P2	Solo 2	0,253436	-0,161294
P3	Solo 3	0,29159	-0,163424
P4	Vegetação 1	0,335422	-0,10393
P5	Vegetação 2	0,545763	0,136743
P6	Água 1	0,00162075	0,239241
P7	Água 2	-0,0071326	0,110789
P8	Solo 4	0,265183	-0,0431071
P9	Vegetação 3	0,353817	-0,0397227
P10	Solo 5	0,195356	-0,217802
P11	Solo 6	0,208078	-0,260443
P12	Solo 7	0,19947	-0,2287825
P13	Solo 8	0,18933	-0,216027
P14	Solo 9	0,217628	-0,19326
P15	Solo 10	0,21049	-0,229978

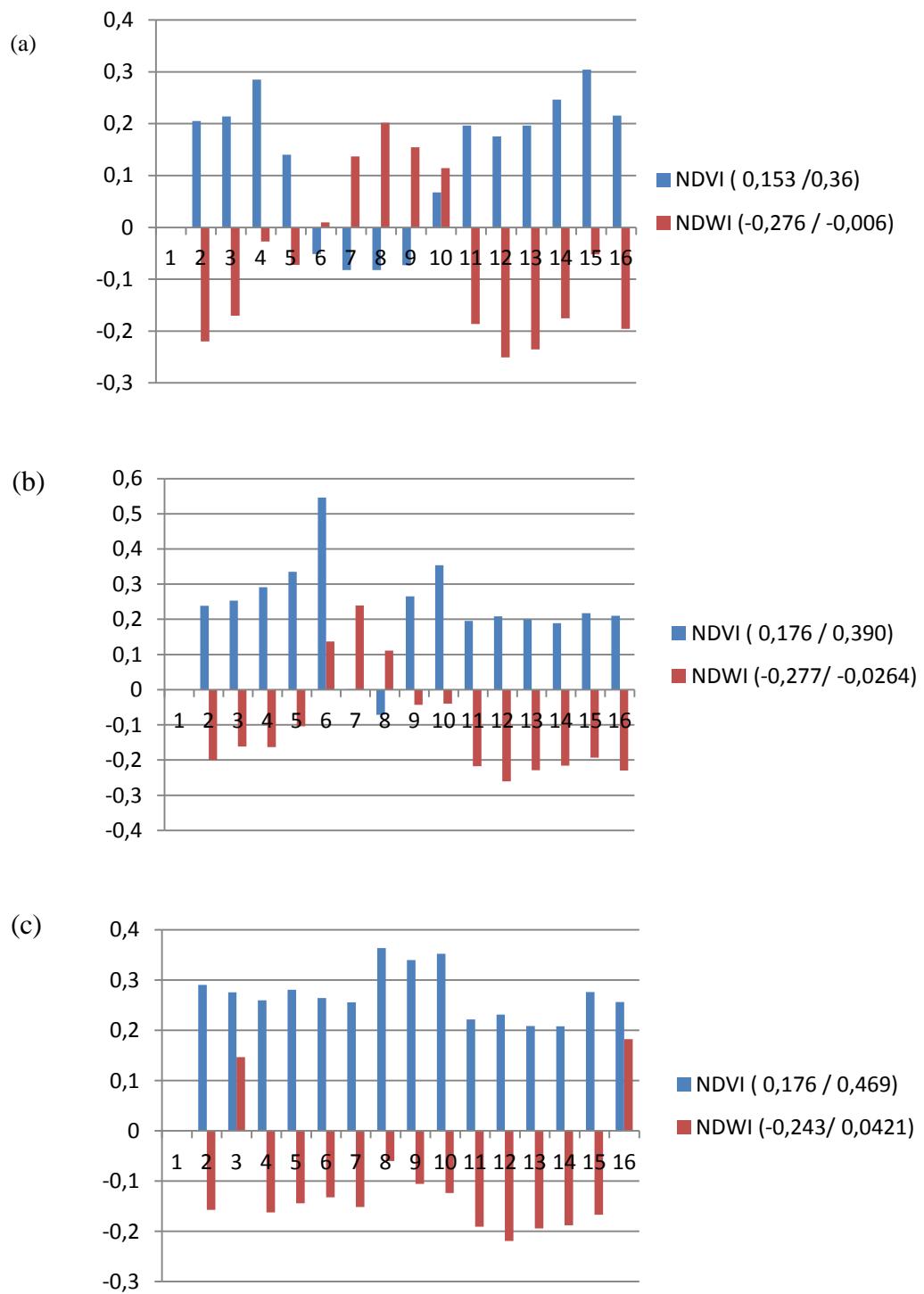
(c) Ano de 2016.

PONTOS	ALVO (Composição RGB)	NDVI (0,176/0,469)	NDWI (-0,243/0,0421)
P1	Solo 1	0,290372	-0,15771
P2	Solo 2	0,275173	0,146256
P3	Solo 3	0,259531	-0,162593
P4	Solo 4	0,280587	-0,14425
P5	Solo 5	0,263781	-0,132713
P6	Solo 6	0,255594	-0,1519
P7	Vegetação 1	0,363415	-0,0604781
P8	Vegetação 2	0,339437	-0,105652
P9	Vegetação 3	0,352067	-0,124275
P10	Solo 7	0,2213725	-0,191004
P11	Solo 8	0,2313	-0,219367
P12	Solo 9	0,208112	-0,1946185
P13	Solo 10	0,207476	-0,188319
P14	Solo 11	0,275978	-0,167021
P15	Solo 12	0,255789	0,182151

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

Figura 11- NDVI e NDWI relacionados a um mesmo ponto, nas épocas.

(a) Ano de 2010, (b) Ano de 2013, (c) Ano de 2016.



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

5.2 Representação da Classificação

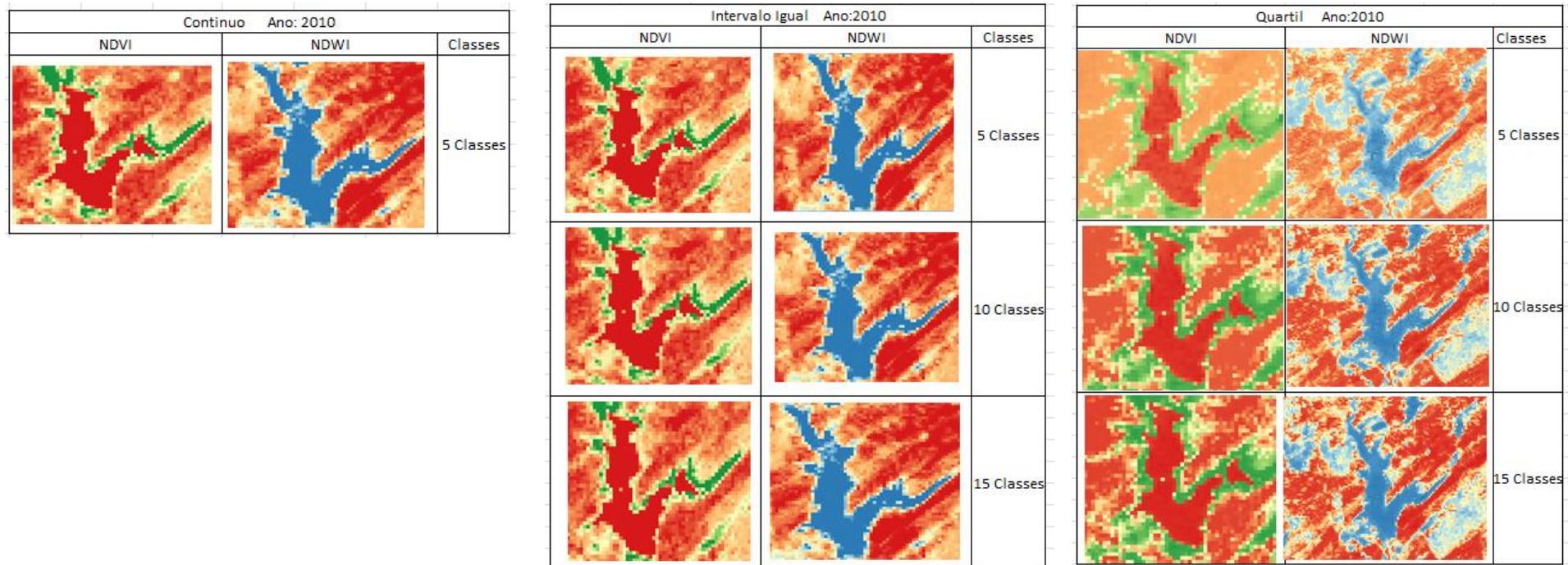
Tomando como exemplo o reservatório de Manopla pertencente ao Alto Pajeú, e depois de feito os cálculos para a obtenção dos índices biofísicos, foram aplicados três métodos de classificação nas três épocas diferentes, visando definir qual método apresentava melhor a informação referente ao reservatório e se a variação de classes influencia em na visualização do objeto de estudo.

Como já mencionado neste presente trabalho o índice biofísico escolhido foi o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). A figura 12 mostra a aplicação das classificações utilizadas e as diferentes classes aplicadas: 5, 10 e 15 classes.

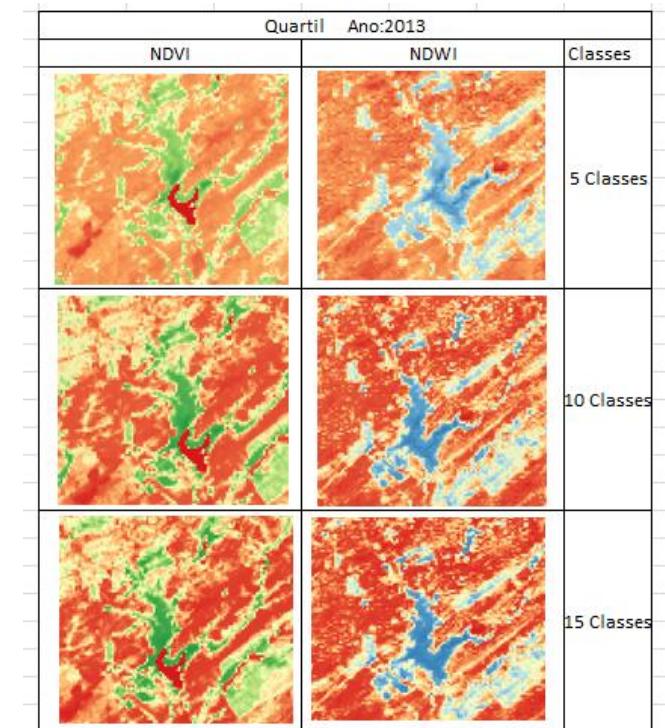
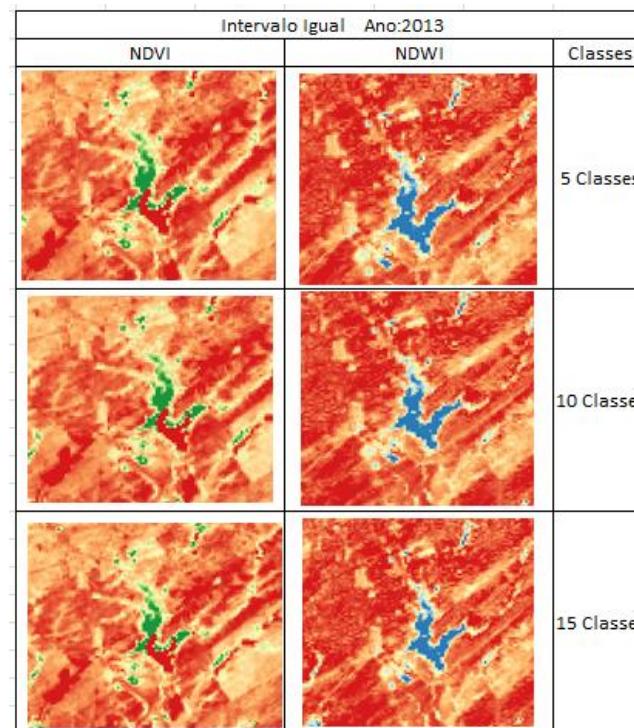
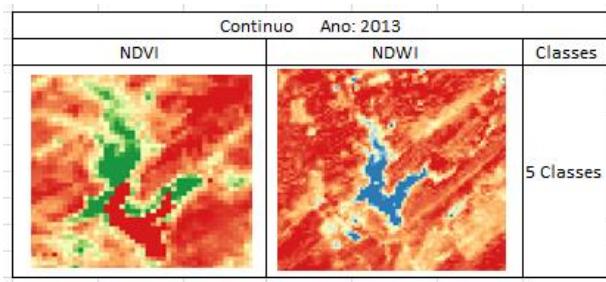
No tópico extração Automática, utilizou-se o modo continuo com 5 classes para a extração da feição d' água por o mesmo melhor representar a área de estudo.

Figura 12- Classificação nos métodos de: Contínuo, Intervalo Igual e Quartil em 5,10,15 classes, para as épocas de 2010 (A), 2013 (B), 2016 (C).

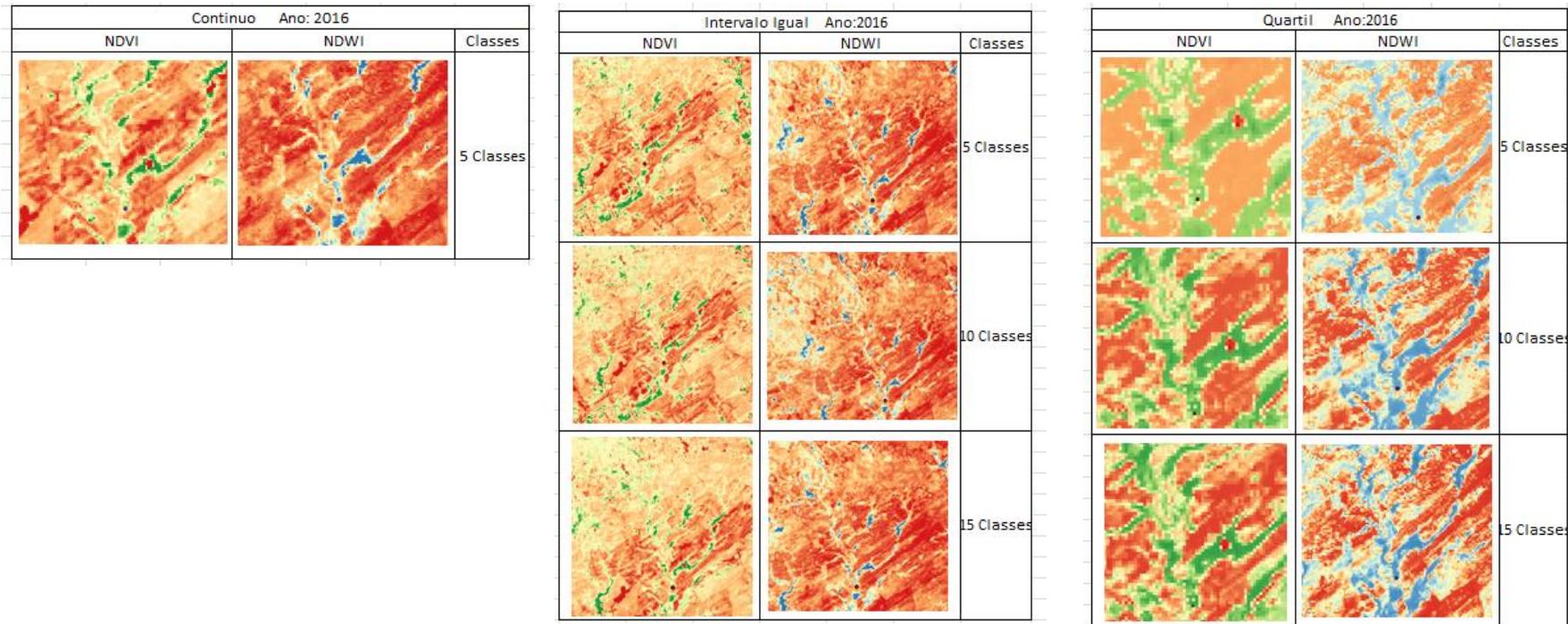
(A)



(B)



(C)

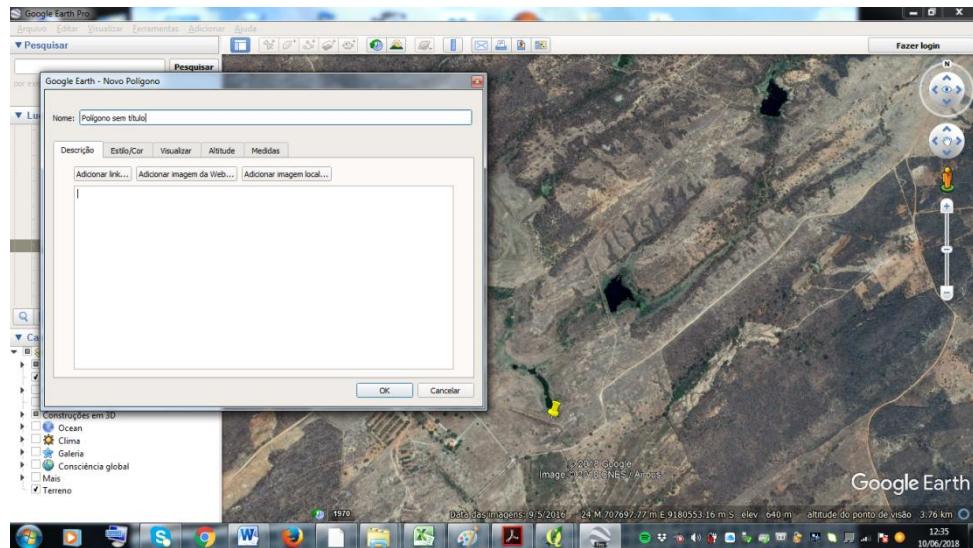


Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

5.3 Extração Manual

No reservatório de Manopla, a extração do contorno foi realizada através do software Google Earth (figura 13). Com isso foram efetuados os três contornos no reservatório em três épocas diferentes: 2010,2013 e 2016.

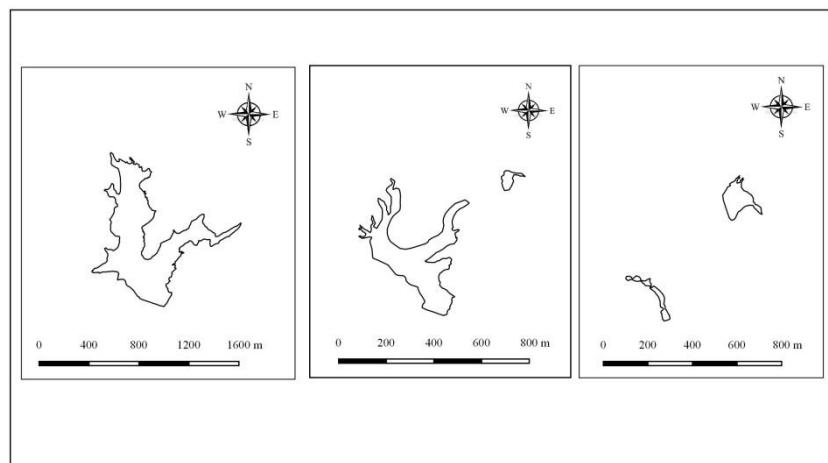
Figura 13 – Interface do Google Earth, e ferramenta “Adicionar polígono”.



Fonte: Google Earth, 2018.

O produto vetorial tipo polígono (KML), gerado no Google Earth para a extração do contorno de Manopla, foi exportado para o QGIS como mostra a figura 14 a seguir, e a tabela 8 as informações obtidas referentes ao mesmo.

Figura 14- Contornos extraídos no Software Google Earth. Nas épocas 2010,2013 e 2016.



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

Tabela 8- Informações referentes ao reservatório Manopla.

Reservatório	Município	Ano	Area (Hectares)	Perímetro (Metros)
Manopla	Itapetim	2010	41,7	6,637
		2013	8,09	3,259
		2016	2,09	1,463

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

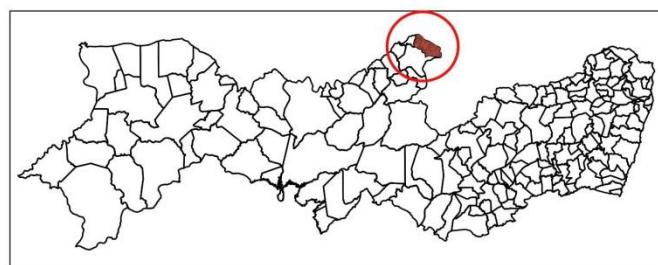
5.4 Extração Automática

O processo para a extração automática foi realizado no software QGIS com a utilização do Índice Biofísico NDVI, por o mesmo mostrar uma maior eficiência na identificação de feições.

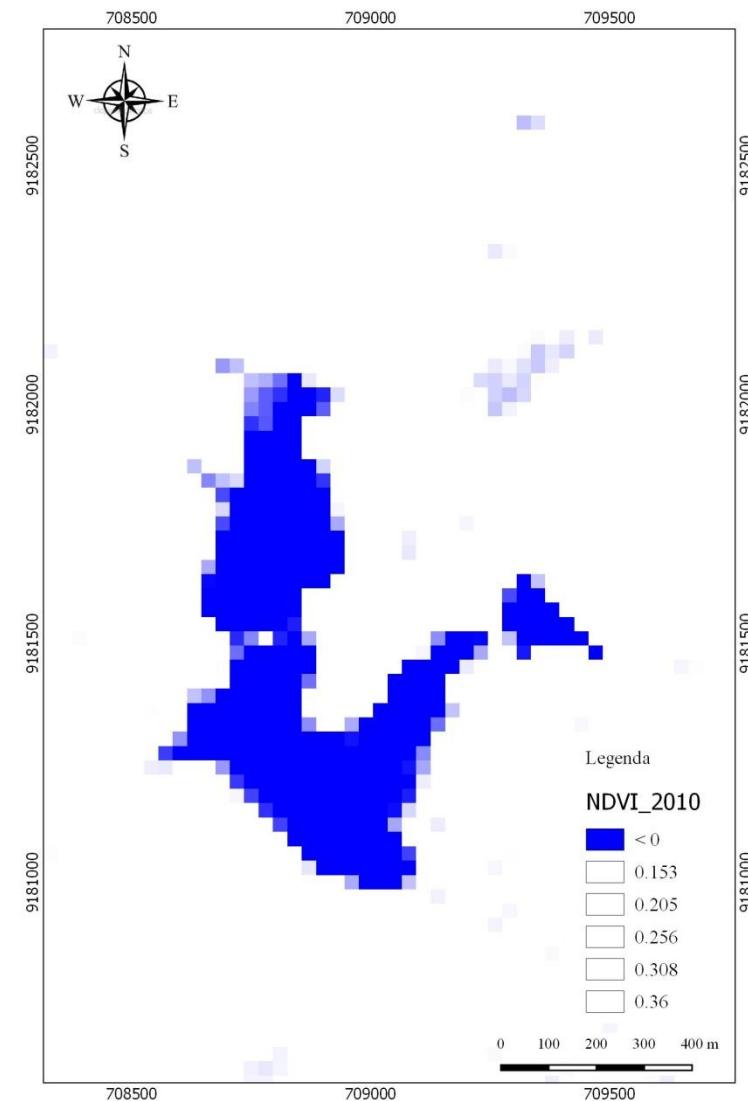
Segundo Rouse et al. (1973), o NDVI apresenta uma variação de -1 a+1, sendo que, em superfícies com vegetação verde, os valores variam de 0 a 1, e na água ou nas nuvens, os valores predominam menores que zero. Nesse contexto os valores do ranger a ser destacados foram os referentes a menores que zero, e assim foram gerados os corpos d'água para as três épocas 2010, 2013 e 2016 (figura 15).

Figura 15- Identificação do contorno através da Feição “Água” nos épocas, 2010 (A), 2013 (B) e 2016 (C).

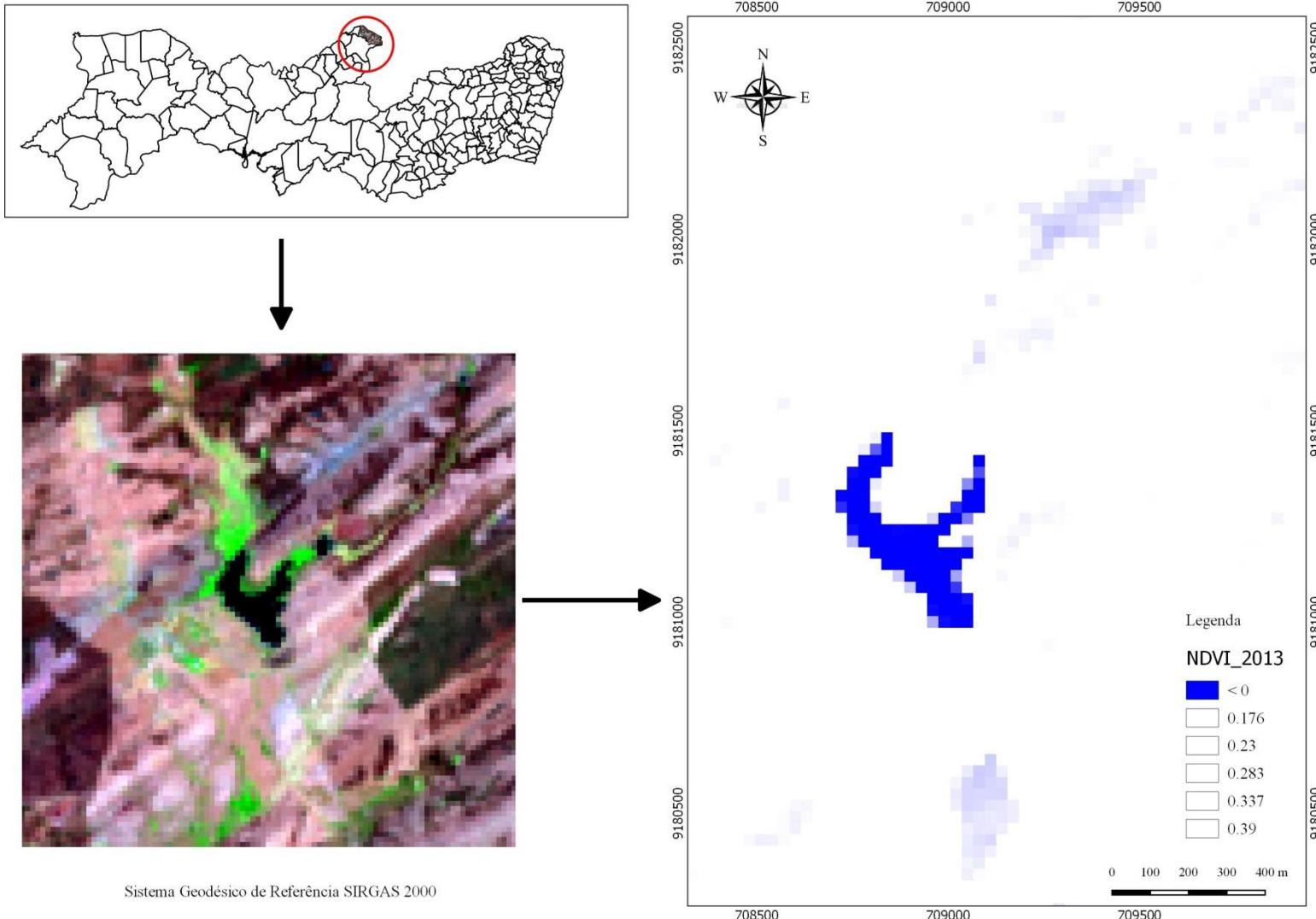
(A)



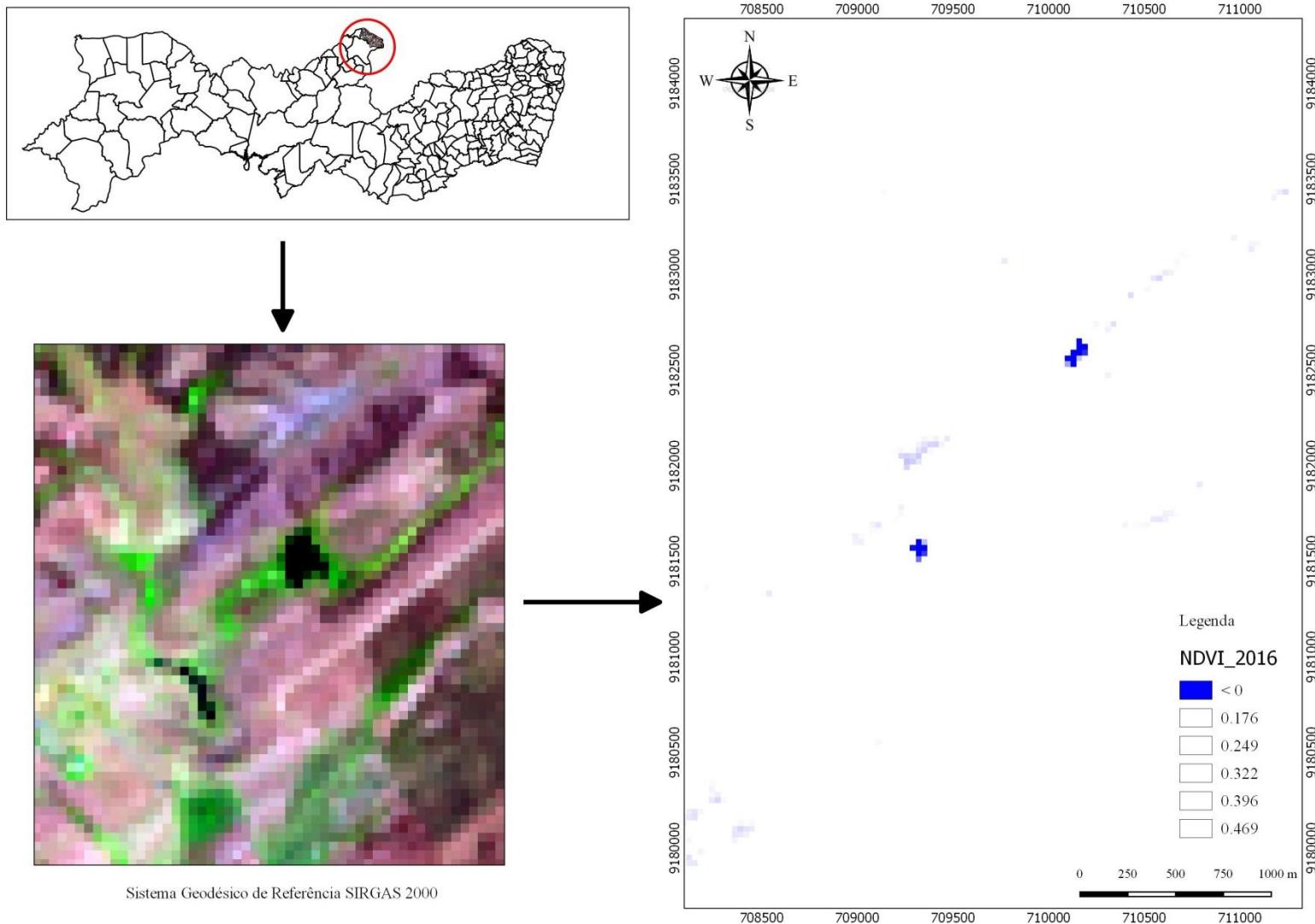
Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000



(B)



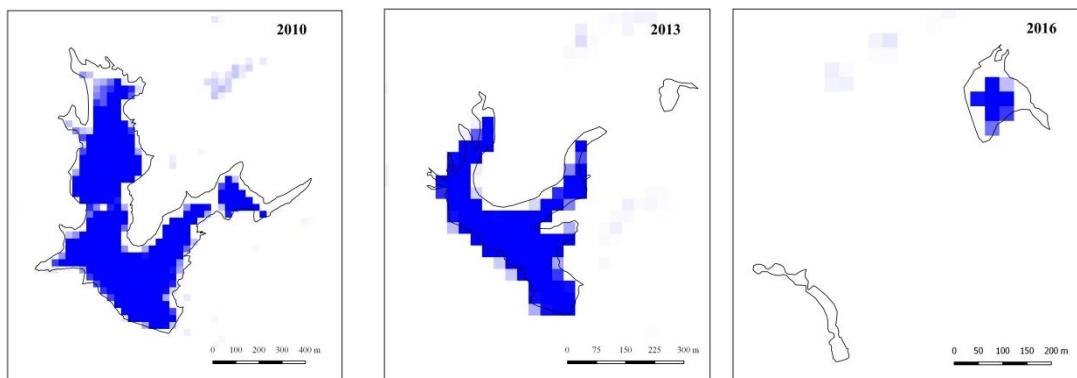
(C)



5.5 Comparação quantitativa entre os Métodos Manual e Automático

Em todo o desenvolvimento desse trabalho foram mostrados todos os procedimentos para a execução da extração manual e automática usando os softwares Google Earth e QGIS, a figura 16 mostra a superposição dos dois métodos de extração com objetivo de relacionar os dados.

Figura 16- Superposição dos métodos: Extração Manual e Automática.



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018.

Ambos os produtos vetoriais estão no mesmo sistema de referência WGS 84, verifica-se que existe uma pequena diferença entre os métodos Manual (Polígono) e Automática (nível de pixels), como a perda de informações em ambos ou uma sobreposição existente, isso pode ocorrer pelo fato de ambos os processos serem executados de formas diferentes, como o seu processamento e execução dos dados.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho buscou-se comparar métodos de extração de contorno em reservatórios localizados na região do Alto Pajeú, utilizando dois softwares de linguagem e comunicação fácil como o Google Earth e o QGIS, visando assim a determinação de contornos de forma manual e automática.

Inicialmente foram gerados planos de informações, que fazem parte de um projeto social voltado para o Alto Pajeú, esses planos de informações gerados tinham dois tipos de formatos: shapefile e KML, formatos esses que são de auxílio para os softwares utilizados. Seguindo assim foram adquiridas imagens de satélites disponibilizadas pelo site UGGS, utilizando assim dois tipos de satélites: LANDSAT-5 sensor TM e LANDSAT-8, sensor OLI, ambos com resolução radiométrica de 8 e 16 bits.

A partir dessas imagens de satélites foram gerados índices biofísicos: NDVI e NDWI, onde a partir deles foi adotado o melhor procedimento para a visualização do contorno. Para a geração do contorno foi escolhido o NDVI, por o mesmo apresentar uma melhor eficiência na identificação de feições naturais. Para a identificação das feições foi gerado um perfil transversal com 15 pontos tomando como exemplo o reservatório de Manopla, analisando o tipo de alvo em: água, solo ou vegetação.

A determinação do contorno se deu de duas formas: manual, gerada por meio do software Google Earth e automática gerada através do software QGIS, tendo como auxílio o índice físico NDVI, nas três épocas estudadas. Também se levou em consideração as classificações estudadas, para um entendimento de qual teria a melhor representação.

Portanto, a metodologia apresentada nesse trabalho tem grande importância para a área da cartografia, principalmente na forma de representação de dados, análise e qualidade dos mesmos e na robustez da extração das feições. As imagens de satélite são de grande importância no sensoriamento remoto, e ligado com o cálculo para os índices biofísicos se torna uma ferramenta de grande valor para o entendimento do espaço em si. Sendo assim, espera-se que esse trabalho traga uma solução viável na identificação de contornos orientando para a solução.

Como recomendação podem ser feitas análises estatística, onde assim darão mais confiabilidade nos produtos aqui gerados e um aprimoramento de outros métodos que visem assim à colaboração para estudo e outros ao decorrer do tempo.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual** – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.
- BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- CANDEIAS, A. L. B.. **Algumas práticas de tecnologias sociais na região do alto Pajeú, Pernambuco** 1. Ed.. V . 1. 244p. 2015.
- Chander, G., Markham, B.L., & Barsi, J.A. (2007a). **Revised Landsat 5 Thematic Mapper radiometric calibration**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44, 490-494.
- FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012, p. 001 - 009.
- Huete, A. R. and Tucker, C. J. (1991) Investigation of soil influences in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing** 12 (6): 1223-1242.
- MARKHAM, B. L.; BAKER, L. L. **Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances**. **International Journal of Remote Sensing**, 8 (3) :517-523, 1987.
- SILVA, C. B., CANDEIAS, A. L. B.; OLIVEIRA, L. M. M.; ALMEIDA, D. N.O. FARIAS M. O.; **Análise espaço- temporal da barragem de Brotas, alto curso do rio Pajeú- PE, município de afogados da Ingazeira**, XXI Congresso Brasileiro de Cartografia.