



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
Campus Recife
Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança (DASS)
Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental

CAROLINE GISELI BASTOS DE OLIVEIRA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS
CLÍMICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOXOTÓ – PE,
UTILIZANDO O SENSORIAMENTO REMOTO**

Recife

2018

CAROLINE GISELI BASTOS DE OLIVEIRA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS
CLÍMICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOXOTÓ – PE,
UTILIZANDO O SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada como requisito final do Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva

Recife

2018

Ficha elaborada pela bibliotecária Emmely Cristiny Lopes Silva CRB4/1876

O48a
2018

Oliveira, Caroline Gisele Bastos de.
Análise espaço-temporal da vulnerabilidade às mudanças climáticas da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó – PE utilizando o sensoriamento remoto / Mariana Gomes Barboza. --- Recife: O autor, 2018.
91f. il. Color.

TCC (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Pernambuco, Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança - DASS, 2018.

Inclui Referências.

Orientador: Professor Dr. Hernande Pereira da Silva.

1. Vulnerabilidade da população. 2. Mudanças Climáticas. 3. Sensoriamento remoto. 4. Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó. I. Título. II. Silva, Hernande Pereira da (orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

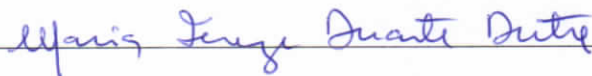
CDD 363.7 (21ed.)

CAROLINE GISELI BASTOS DE OLIVEIRA

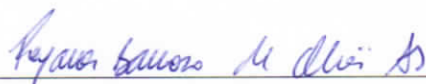
**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS
CLÍMATICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOXOTÓ – PE,
UTILIZANDO O SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia aprovada como requisitos finais do Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental ao término do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof^a Dra Maria Tereza Duarte Dutra (Avaliador interno)



M^a Rayanna Barroso de Oliveira Alves (Avaliador externo)

Recife

2018

Dedico este trabalho ao meu Senhor Jesus Cristo e a todas as pessoas que me ajudaram e que não desistiram de acreditar em mim. E aos meus pais Robson e Verônica por todo o amor e criação que me deram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo, pela minha existência, por me amar de tal forma e ser o sentido da minha vida.

A Nossa Senhora do Carmo, minha mãe que sempre intercedeu por mim.

Aos meus pais, Robson e Verônica por não medir esforços em relação a minha educação.

Ao IFPE, por me conceder a oportunidade de graduar o curso de Tecnologia em Gestão Ambiental.

Ao meu orientador, Professor Hernande Pereira, pelo apoio, paciência, ajuda, conselhos, conhecimento e oportunidade de aprender desde o início do curso.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – GEOSERE, por disponibilizar o local de trabalho para minha pesquisa.

A APAC, na figura do Sr Cesar Augusto, pelas informações fornecidas e pela disposição em ajudar.

A LAMEPE, na figura do Sr Wanderson Santos, pelas informações fornecidas e pela disposição em ajudar.

A todos os professores do curso de Tecnologia em Gestão ambiental, pelos ensinamentos passados e experiências vividas.

As amigas do curso Camilla Nunes, Chistiane Oliveira e Yasmin César, por todo o amor, por toda força, paciência, apoio e companheirismo em todos os momentos do curso.

Aos colegas de classe do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, por todos os aprendizados e momentos compartilhados.

Aos meus amigos da federal que me apoiaram e acreditaram em mim.

A todos que me ajudaram em especial Renata Gaio e que não desistiram de acreditar em mim, como Guilherme Figueiroa.

“Um rio corta pedras não por sua força, mas por sua persistência.”

Jim Watkins

RESUMO

As mudanças climáticas geram impactos que atingem os sistemas naturais e humanos com resultados diferentes, dependendo do nível de vulnerabilidade, sendo o Nordeste brasileiro a região mais vulnerável a essas mudanças. No semiárido, o regime de chuvas apresenta variabilidade espacial e temporal que faz com que a disponibilidade dos recursos hídricos como bacias hidrográficas sejam considerados difíceis de analisar, quanto as suas vulnerabilidades e riscos. Para isso, o sensoriamento remoto é uma ferramenta muito importante de análise e manipulação de dados geográficos no processo de desenvolvimento e compreensão dos estudos de bacias hidrográficas. Considerando estes aspectos, o presente estudo teve como objetivo analisar a vulnerabilidade às mudanças climáticas da bacia hidrográfica do Rio Moxotó – PE por meio da aplicação do sensoriamento remoto no período de 2009 a 2015. Neste estudo, foram utilizadas imagens de satélites LANDSAT 5 e 8 e técnicas de processamento digital no software SPRING, além de dados censitários obtidos em órgãos governamentais, buscando obter informações espaciais sobre a cobertura vegetal, água e solo exposto da bacia do Rio Moxotó correlacionadas com as mudanças climáticas. Foi feita a análise espacial da bacia hidrográfica do Rio Moxotó nas imagens de satélites do ano de 2009, 2010, 2011, 2013, 2014 e 2015 juntamente com os dados censitários. Estas imagens foram georreferenciadas e, por meio de técnicas de processamento digital aplicada na análise espacial das imagens foi possível identificar as áreas vulneráveis às mudanças climáticas. Também foi possível observar que um dos fatores responsáveis pela suscetibilidade da área à vulnerabilidade foi a semiaridez da região, pois há irregularidade na distribuição anual das chuvas, com diminuição no índice de precipitação pluviométrica, elevadas temperaturas e altas taxas de evapotranspiração, mantendo o déficit hídrico. A água presente nas imagens de satélite como medida de classe apresentou uma diminuição de área em hectare, diminuição esta que é reflexo da diminuição dos dados de precipitação pluviométrica e no volume dos reservatórios no decorrer dos anos estudados. Apesar de apresentarem variações nos dados dos anos estudados, devido aos diferentes meses das imagens de satélites trabalhadas, o solo exposto é mais predominante que a cobertura vegetal, reflexo da redução no índice de chuva da região. Reitera-se que além da bacia do Rio Moxotó ser bastante vulnerável por estar localizada numa região semiárida de Caatinga que tem longos períodos de estiagem (seca), a ação do homem também influencia com explorações agrícolas, atividades agropastoris e desmatamento da cobertura vegetal. Por isso a necessidade de estudos nestes âmbitos é tão importante e estratégico para esta região.

Palavras-chave: Recurso hídrico. Sistema de Informação Geográfica. Clima.

ABSTRACT

Climate change generates impacts that affect natural and human systems with different results, depending on the level of vulnerability, with the Brazilian Northeast being the most vulnerable to these changes. In the semi-arid region, the rainfall regime presents spatial and temporal variability that makes the availability of water resources as river basins considered difficult to analyze, as well as their vulnerabilities and risks. For this, the remote sensing is a very important tool of analysis and manipulation of geographic data in the process of development and understanding of the studies of watersheds. Considering these aspects, the present study aimed to analyze the vulnerability to climate change of the Moxotó River basin - PE by means of the application of remote sensing in the period from 2009 to 2015. In this study, images of LANDSAT 5 and 8 satellites and digital processing techniques in SPRING software, as well as census data obtained from government agencies, seeking to obtain spatial information on the vegetation cover, water and exposed soil of the Moxotó River basin correlated with the climatic changes. The spatial analysis of the Moxotó River basin in the satellite images of the year 2009, 2010, 2011, 2013, 2014 and 2015 was carried out together with the census data. These images were georeferenced and, through digital processing techniques applied in the spatial analysis of the images, it was possible to identify areas vulnerable to climate change. It was also possible to observe that one of the factors responsible for the susceptibility of the area to the vulnerability was the semi-aridity of the region, since there is irregularity in the annual rainfall distribution, with a decrease in rainfall index, high temperatures and high evapotranspiration rates, maintaining the water deficit. The water present in the satellite images as a class measure presented a decrease of area in hectare, a decrease that is a reflection of the decrease of rainfall data and the volume of the reservoirs during the studied years. In spite of variations in the data of the studied years, due to the different months of the satellites images, the exposed soil is more predominant than the vegetation cover, reflecting the reduction in the rainfall index of the region. It is reiterated that besides the Moxotó River basin it is very vulnerable because it is located in a semi-arid region of the Caatinga that has long periods of drought (drought), man action also influences with farms, agropastoral activities and deforestation of the vegetation cover. That is why the need for studies in these areas is so important and strategic for this region.

Keywords: Water resource. Geographic Information System. Climate.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Precipitação pluviométrica média anual de Pernambuco..... | 26 |
| Figura 2 - Potencial de terras para irrigação em Pernambuco..... | 28 |
| Figura 3 - Cronograma dos satélites LANDSAT..... | 31 |
| Figura 4 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó..... | 39 |
| Figura 5 - Divisão política administrativa da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó..... | 41 |
| Figura 6 - Rede de drenagens e limites da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó..... | 44 |
| Figura 7 - Imagem com escala de níveis de cinza (monocromática) sem tratamento – sensor TM/LANDSAT 5 – Banda 5, órbita/ponto 215/66 do ano de 2009..... | 47 |
| Figura 8 - Imagem com escala de níveis de cinza (monocromática) sem tratamento – sensor TM/LANDSAT 5 – Banda 5, órbita/ponto 216/66 do ano de 2009..... | 48 |
| Figura 9 - Fluxograma dos processos metodológicos..... | 49 |
| Figura 10 - Composição colorida em R5G4B3 – Imagens do sensor TM/LANDSAT 5 do ano de 2009 respectivamente com correção radiométrica..... | 52 |
| Figura 11 - Histograma Mínimo/Máximo..... | 52 |
| Figura 12 - Recorte da bacia hidrográfica do Rio Moxotó com seus reservatórios..... | 56 |
| Figura 13 - Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2009..... | 65 |
| Figura 14 - Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2010..... | 65 |
| Figura 15 - Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2011..... | 66 |
| Figura 16 - Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2013..... | 66 |
| Figura 17 - Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2014..... | 67 |
| Figura 18 - Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2016..... | 67 |
| Figura 19 - Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2009..... | 68 |
| Figura 20 - Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2010..... | 68 |

| | |
|--|----|
| Figura 21 - Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2011..... | 68 |
| Figura 22 - Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2013..... | 69 |
| Figura 23 - Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2014..... | 69 |
| Figura 24 - Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2015..... | 70 |
| Figura 25 - Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2009..... | 71 |
| Figura 26 - Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2010..... | 71 |
| Figura 27 - Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2011..... | 72 |
| Figura 28 - Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2013..... | 72 |
| Figura 29 - Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2014..... | 73 |
| Figura 30 - Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2015..... | 73 |
| Figura 31 - Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2009..... | 74 |
| Figura 32 - Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2010..... | 74 |
| Figura 33 - Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2011..... | 75 |
| Figura 34 - Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2013..... | 75 |
| Figura 35 - Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2014..... | 76 |
| Figura 36 - Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2009..... | 76 |
| Figura 37 - Classificação supervisionada no recorte do ano 2009..... | 77 |
| Figura 38 - Classificação supervisionada no recorte do ano 2010..... | 78 |
| Figura 39 - Classificação supervisionada no recorte do ano 2011..... | 78 |
| Figura 40 - Classificação supervisionada no recorte do ano 2013..... | 79 |
| Figura 41 - Classificação supervisionada no recorte do ano 2014..... | 79 |
| Figura 42 - Classificação supervisionada no recorte do ano 2015..... | 80 |

LISTA DE QUADROS E TABELAS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Características dos principais sensores do satélite LANDSAT..... | 32 |
| Quadro 2 - Dados do satélite LANDSAT 5..... | 33 |
| Quadro 3 - Principais características e aplicações das bandas TM do LANDSAT5..... | 34 |
| Quadro 4 - Dados do satélite LANDSAT 8..... | 35 |
| Quadro 5 - Principais características e aplicações das bandas TM do LANDSAT 8..... | 36 |
| Quadro 6 - Municípios inseridos na Bacia do Rio Moxotó em Pernambuco..... | 42 |
| Quadro 7 - Reservatórios da Bacia do Rio Moxotó..... | 43 |
| Quadro 8 - Principais açudes da bacia do Rio Moxotó..... | 43 |
| Quadro 9 - Cenas do satélite LANDSAT utilizadas na Pesquisa..... | 48 |
| Tabela 1 - Volumes em percentuais dos reservatórios da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó no período de 2009 a 2015..... | 59 |
| Tabela 2 – Medidas de classe calculadas no SPRING do ano 2009..... | 80 |
| Tabela 3 – Medidas de classes temáticas, precipitação e volume dos reservatórios da bacia do Rio Moxotó..... | 81 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Média dos volumes relativos referentes ao reservatório Barra no período de 2009 a 2015..... | 57 |
| Gráfico 2 - Média dos volumes relativos referentes ao reservatório Cachoeira I no período de 2009 a 2015..... | 57 |
| Gráfico 3 - Média dos volumes relativos referentes ao reservatório Marrecos no período de 2009 a 2015..... | 58 |
| Gráfico 4 - Média dos volumes relativos referentes ao reservatório Poço da Cruz no período de 2009 a 2015..... | 58 |
| Gráfico 5 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2009..... | 60 |
| Gráfico 6 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2010..... | 60 |
| Gráfico 7 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2011..... | 61 |
| Gráfico 8 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2012..... | 61 |
| Gráfico 9 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2013..... | 62 |
| Gráfico 10 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2014..... | 62 |
| Gráfico 11 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2015..... | 63 |
| Gráfico 12 – Média dos dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó dos anos estudados..... | 63 |

LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas
APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas
CHESF - Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DPI - Divisão de Processamento de Imagens
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERTS - *Earth Resources Technology Satellite*
ESRI - *Environmental Systems Research Institute*
ETM + - *Enhanced Thematic Mapper Plus*
FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
GEOSERE - Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPA – Instituto Pernambucano de Agropecuaria
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*
ITRF - *International Terrestrial Reference System*
LAMEPE - Laboratório de Meteorologia de Pernambuco
LANDSAT - *Land Remote Sensing Satellite*
MAXVER - Máxima Verossimilhança
MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia
MI - Ministério da Integração Nacional
MMA - Ministério de Meio Ambiente
MSS - *Multispectral Scanner*
NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República
NASA - *National Aeronautics and Space Administration*
NEB - Nordeste Brasileiro
OLI - *Operational Terra Imager*
OMM - Organização Mundial de Meteorologia
ONU - Organização das Ações Unidas
PCD - Plataforma de Coleta de Dados
PIMOX - Perímetro Irrigado do Moxotó
RGB - *Red, Green e Blue*
SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente
SEMAS - Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SO-NE - Sudoeste-Nordeste
SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
TIFF - *Tagged Image File Format*
TIRS - *Thermal Infrared Sensor*

TM - *Thematic Mapper*

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco

USGS - *Science for a changing world*

UTM - *Universal Transversa de Mercator*

WGS84 - *World Geodetic System*

SÚMARIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 2 OBJETIVOS | 19 |
| 2.1 Objetivo Geral | 19 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 19 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA | 20 |
| 3.1 Mudanças climáticas..... | 20 |
| 3.2 Vulnerabilidade do Semiárido Nordeste..... | 23 |
| 3.3 Sensoriamento Remoto..... | 29 |
| 3.3.1 Satélite LANDSAT..... | 31 |
| 3.3.2 Programa de Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)..... | 37 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 39 |
| 4.1 Caracterização geral da área de estudo..... | 39 |
| 4.2 Materiais..... | 46 |
| 4.3 Procedimentos metodológicos..... | 49 |
| 4.3.1 Georreferenciamento, mosaicagem e recorte das imagens..... | 50 |
| 4.3.2 Operações de contraste de imagem..... | 51 |
| 4.3.3 Operação de contraste Mínimo e Máximo..... | 52 |
| 4.3.4 Classificação e pós-classificação das imagens..... | 53 |
| 4.3.5 Mapeamento..... | 55 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 56 |
| 5.1 Dados dos reservatórios da Bacia do Rio Moxotó..... | 57 |
| 5.2 Dados de pluviometria dos municípios pertencentes à bacia do Rio Moxotó..... | 59 |
| 5.3 Aquisição e tratamento das imagens..... | 64 |
| 5.3.1 Imagens do satélite LANDSAT com cenas 215 e 216 e órbita 66..... | 65 |
| 5.3.2 Mosaicos..... | 67 |
| 5.3.3 Recorte da área da bacia do Rio Moxotó..... | 70 |
| 5.3.4 Contraste com Operação Mínimo e Máximo..... | 74 |
| 5.3.5 Recorte com classificação supervisionada..... | 77 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 83 |
| REFERÊNCIAS | 85 |

1 INTRODUÇÃO

A mudança global do clima vem se manifestando de diversas formas, destacando-se com o aquecimento global, a intensidade de eventos climáticos extremos e com maior frequência, alterações nos regimes de chuvas, perturbações nas correntes marinhas, retração de geleiras e elevação do nível dos oceanos (NAE, 2005).

Mesmo que de natureza ambiental, as mudanças climáticas constituem um problema complexo, com consequências em todas as esferas da existência. Elas produzem impactos sobre questões globais, tais como pobreza, desenvolvimento econômico, crescimento populacional, desenvolvimento sustentável e gestão de recursos (ANA, 2016). Os impactos das mudanças climáticas se apresentam nos sistemas naturais e humanos com efeitos diferentes, dependendo do nível de vulnerabilidade.

Para a ANA (2016), o recurso água é um dos meios pelo qual primeiro e mais fortemente a população deverá perceber os efeitos da mudança do clima, considerando as prováveis alterações nos padrões de precipitação e no escoamento dos rios. Com isso, as populações mais pobres são as mais vulneráveis, pois se encontram atualmente em condições de maior exposição à escassez hídrica, tanto por questões geográficas, quanto pela ausência de saneamento.

Os países em desenvolvimento são os mais vulneráveis à mudança do clima, em função de terem historicamente menor capacidade de responder à variabilidade natural do clima. A vulnerabilidade do Brasil em relação à mudança do clima se manifesta em diversas áreas: por exemplo, aumento da frequência e intensidade de enchentes e secas, com perdas na agricultura e ameaça à biodiversidade; mudança do regime hidrológico, com impactos sobre a capacidade de geração hidrelétrica; expansão de vetores de doenças endêmicas (NAE, 2015).

A variabilidade do clima afeta, principalmente, os setores das populações de baixa renda como os moradores do semiárido nordestino ou as populações que vivem em áreas de risco de deslizamentos em encostas, enxurradas e inundações nos grandes centros urbanos.

Segundo o estudo desenvolvido pelo Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE, 2005), o Nordeste é a região mais vulnerável às mudanças climáticas. No semiárido da região Nordeste, as chuvas apresentam grande variabilidade espacial e temporal. Tempos de secas e chuvas abundantes se alternam de forma irregular. E estudos com bacias hidrográficas, segundo Hamada (2007) além das limitações dadas pelas características dos modelos climáticos globais, considere-se também a dificuldade ao analisar potenciais

impactos neste nível de planejamento territorial advinda da incerteza sobre o comportamento futuro do regime de chuvas.

Para um país com tamanha vulnerabilidade, o esforço de mapear tal vulnerabilidade e risco, conhecer profundamente suas causas, setor por setor, e subsidiar políticas públicas de mitigação e de adaptação ainda é simples, situando-se além de suas necessidades (NAE, 2005).

Neste contexto, pode se lançar mão das ferramentas do sensoriamento remoto, que permite o monitoramento espaço-temporal dos recursos naturais em diversas partes do mundo de maneira eficiente e sistemática, vindo a apresentar grande auxílio nas áreas de agricultura, silvicultura, bem como em previsões meteorológicas e hidrológicas. (Oke, 1987; Asner, 2001; Silva et al., 2005; Oliveira; Galvêncio, 2008; Oliveira, 2009)

No estudo de bacias hidrográficas o mesmo tem auxiliado com a produção e divulgação dos mais diversos índices, servindo de suporte a tomada de decisão nas mais diversas escalas. Tem sido mostrado que o desempenho e o uso apropriado de um índice em particular é geralmente determinado pela sensibilidade do índice para a característica de interesse (ZARCO-TEJADA, 2003).

As vantagens do uso das tecnologias de geoprocessamento no diagnóstico e monitoramento ambiental de áreas vão desde a sua abrangência espacial, pois os dados de sensoriamento remoto cobrem em geral grandes áreas, até a temporal, já que a aquisição e modelagem dos dados podem ser feitas periodicamente, o que propicia um melhor estudo dos indicadores ambientais (BELFORT, 2011).

Contudo, o sensoriamento remoto se mostra como uma importante ferramenta para análise e manipulação de dados geográficos que auxiliam no processo de desenvolvimento e compreensão no estudo de bacias hidrográficas. Diante do exposto, o presente estudo visou principalmente analisar a vulnerabilidade da bacia hidrográfica do Rio Moxotó às mudanças climáticas em Pernambuco, por meio de imagens de satélite.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a vulnerabilidade da bacia hidrográfica do Rio Moxotó – PE às mudanças climáticas através do sensoriamento remoto, no período de 2009 a 2015.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a variação dos dados volume dos reservatórios e dos dados de precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Moxotó - PE nos anos de 2009 a 2015;
- Adquirir, tratar e georreferenciar imagens do satélite LANDSAT para o período de estudo de 2009 a 2015;
- Mensurar as áreas hidrológicas (reservatórios e açudes), no período de 2009 a 2015;
- Mensurar as áreas de solo exposto, no período de 2009 a 2015;
- Mensurar as áreas de cobertura vegetal, no período de 2009 a 2015.
- Analisar aspectos de vulnerabilidade que ocorrem na bacia do Rio Moxotó, no período de 2009 a 2015.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o entendimento do tema em estudo foi realizada uma fundamentação teórica com foco nos seguintes temas: Mudanças Climáticas, Vulnerabilidade do Semiárido Nordestino e Sensoriamento Remoto.

3.1 Mudanças climáticas

O Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2001) define a mudança climática como “as mudanças de clima no tempo devido à variabilidade natural e/ou resultado das atividades humanas (ações antrópicas)”.

Conforme explica ANA (2016) “o clima apresenta variabilidade temporal e espacial decorrentes de processos na atmosfera, no solo e em sua cobertura, nos oceanos e devido à radiação solar. Os processos envolvidos não são lineares e fortemente interligados, dificultando a sua estimativa”.

A temperatura média global do planeta à superfície elevou-se de 0,6 a 0,7 °C nos últimos 100 anos, com acentuada elevação desde a década de 60. A última década apresentou os três anos mais quentes dos últimos 1000 anos da história recente da Terra (NAE, 2005).

A evolução nas condições de vida da civilização acelerou o crescimento demográfico no globo, causando pressão significativa sobre a demanda de recursos naturais e alterando as condições ambientais. No século passado foi identificado que uma dessas pressões é o aumento do efeito estufa, resultando em alteração climática de forma diferenciada em distintas regiões do planeta e aumento da temperatura média do globo (ANA, 2016).

Em 1988, a Organização das Nações Unidas (ONU) e a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) criaram o Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas - IPCC com o objetivo de estudar as causas e os efeitos dessas mudanças climáticas que o planeta estaria sofrendo. O Painel conta com a contribuição de 2500 cientistas e cerca de 130 países. As pesquisas realizadas pelo IPCC geraram relatórios que expuseram para a sociedade as conclusões sobre as causas do aquecimento global e o que deve ser feito para diminuir seus efeitos (VEIGA, 2008).

Desde 2001, os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) apresentam resultados de modelos climáticos globais justificando que esses aumentos são ligados às consequências da intensificação do efeito estufa. Nesse período foram colhidas evidências do aumento da temperatura e sua relação com o aumento das taxas de emissões e das concentrações de gases na atmosfera (ANA, 2016).

Para Silva et al (2014) o aumento nas temperaturas globais pode causar, entre outras alterações, o aumento no nível do mar e mudanças nos padrões de precipitação, resultando em enchentes e secas.

Ainda sobre o conceito de mudança climática, o IPCC (2007) fala que “a mudança climática refere-se a uma variação estatisticamente expressiva que significa o estado do clima ou na sua variabilidade, persistente por um longo período (tipicamente décadas ou mais). A mudança climática pode ser devido a processos internos naturais ou forças externas, ou mudanças antropogênicas persistente na composição da atmosfera ou no uso dos solos”.

Os efeitos adversos do aquecimento global e da maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos podem provocar um aumento da vulnerabilidade do planeta em diversas áreas, como por exemplo, perdas na agricultura e ameaça à biodiversidade, expansão de vetores de doenças endêmicas, aumento da frequência e intensidade de enchentes e secas, mudança do regime hidrológico, com impactos sobre a capacidade de geração hidrelétrica. Além disso, a elevação do nível do mar pode vir a afetar regiões costeiras, em particular grandes regiões metropolitanas litorâneas. Estas perspectivas são particularmente preocupantes para os países em desenvolvimento, que deverão sofrer mais fortemente os impactos das mudanças climáticas e poderão ter comprometidos seus esforços de combate à pobreza e os demais objetivos de desenvolvimento do milênio (IPCC, 2001).

O Brasil é, indubitavelmente, um dos países que podem ser duramente atingidos pelos efeitos adversos das mudanças climáticas futuras, já que tem uma economia fortemente dependente de recursos naturais diretamente ligados ao clima na agricultura e na geração de energia hidroelétrica. Também a variabilidade climática afeta vastos setores das populações de menor renda como os habitantes do semiárido nordestino ou as populações vivendo em área de risco de deslizamentos em encostas, enxurradas e inundações nos grandes centros urbanos (NAE, 2005).

Mudanças climáticas no Brasil ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água. A combinação das alterações do clima, na forma de falta de chuva ou pouca chuva acompanhada de altas temperaturas e altas taxas de evaporação e, com a competição por recursos hídricos, podem levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo os mais

vulneráveis os agricultores pobres, como os agricultores de subsistência na área do semiárido do Nordeste (MARENGO, 2008).

NAE (2005) afirma que a questão da mudança do clima deve considerar, de um lado, a vulnerabilidade a que os biomas globais estão expostos, face aos impactos decorrentes da mudança do clima, e conseqüente necessidade de se definir estratégias de adaptação a esses impactos.

Entre os inúmeros problemas de ordem socioambiental que permeiam os ambientes de discussões políticas, administrativas e científicas encontra-se a desertificação, a qual pode ser considerada como a degradação das terras localizadas nas zonas áridas, semiáridas e subsúmidas secas resultantes da interação de diferentes e complexos fatores derivados das atividades humanas e das variações climáticas. Esta definição é oriunda da Convenção das Nações Unidas de Luta Contra a Desertificação (MORALES, 2005; D'ODORICO et al., 2012).

Para DANFENG, DAWSON, BAOGUO, 2006; SÁ et al., 2010; BEZERRA, et al., (2011), a influência das atividades humanas no processo de desertificação centram-se sobre as práticas agrícolas inadequadas, desmatamentos, mau uso da irrigação, sobre pastejo na criação de animais, queimadas, entre outras.

Em relação aos efeitos climáticos sobre a degradação das terras (SÁ et al., 2010) destacam as repetidas e prolongadas secas que ampliam os efeitos das atividades antropogênicas.

Nos últimos anos tem-se atribuído, também, a preocupação do avanço do processo de desertificação as mudanças climáticas. Estima-se que boa parte das terras inseridas em áreas de clima propício a desertificação, tenha seu processo de improdutibilidade acelerado (WANG et al., 2009).

Nobre (2011) destaca que as áreas sobre o clima semiárido, as quais têm a predominância do bioma de Caatinga, apresenta alta vulnerabilidade climática à desertificação diante dos cenários de mudanças climáticas projetados, constituindo um desafio para o planejamento e a gestão ambiental no Brasil.

O semiárido brasileiro é marcado por um clima quente e seco, tendo uma média pluviométrica anual em torno de 300 a 800 milímetros. Outro dado importante é que esses totais, além de serem mal distribuídos, se concentram em poucos meses do ano, geralmente 2 ou 3 meses. Em geral, os solos do semiárido são rasos, o que dificulta a retenção da água. Os rios, em sua grande maioria, são temporários, isto é, cujos leitos ficam secos em longas

estiagens. A elevada temperatura da região potencializa a evapotranspiração potencial, agravando o índice de aridez da região (SANTOS et al., 2006).

No semiárido a relação entre a chuva e a evaporação apresenta um balanço negativo, o que acarreta situações de seca na maior parte do ano; Campos (1997) caracteriza dois tipos de seca: a hidrológica e a edáfica. A hidrológica corresponde à escassez de água para as cidades e para a irrigação, e a edáfica causa perdas na produção agrícola das áreas com irrigação de agricultura familiar atingindo as partes mais pobres da sociedade.

3.2 Vulnerabilidade do Semiárido Nordestino

O (IPCC), define vulnerabilidade como “o grau de suscetibilidade de um sistema aos efeitos adversos da mudança climática, ou sua incapacidade de administrar esses efeitos, incluindo variabilidade climática ou extremos. Vulnerabilidade em função do caráter, da dimensão e da taxa de variação climática ao qual um sistema é exposto, sua sensibilidade e capacidade de adaptação” (IPCC Third Assessment Report, Working Group II; 2001).

Os países em desenvolvimento são de fato os mais vulneráveis à mudança do clima, em função de terem historicamente menor capacidade de responder à variabilidade natural do clima. A vulnerabilidade do Brasil em relação à mudança do clima se manifesta em diversas áreas: por exemplo, aumento da frequência e intensidade de enchentes e secas, com perdas na agricultura e ameaça à biodiversidade; mudança do regime hidrológico, com impactos sobre a capacidade de geração hidrelétrica; expansão de vetores de doenças endêmicas. Além disso, a elevação do nível do mar pode vir a afetar regiões da costa brasileira, em especial grandes regiões metropolitanas litorâneas (NAE, 2005).

Essa característica do país evidencia a premente necessidade de se estudar a vulnerabilidade e risco, conhecendo profundamente suas causas, a fim de subsidiar políticas públicas de mitigação e de adaptação (HAMADA, 2007).

Todos esses fenômenos trazem diversas implicações para a sociedade, que vão desde impactos ambientais até problemas econômicos e de saúde pública. No Brasil, os baixos níveis dos rios da Bacia Amazônica, registrados pela Agência Nacional de Águas - ANA no ano de 2007, e mais recentemente as cheias ocorridas nos Estados de Pernambuco e Alagoas no ano de 2010 podem ser exemplos dessas mudanças climáticas que afetam diretamente os regimes hidrológicos (ALBUQUERQUE, GALVÍNCIO, 2010).

Decorre, assim, que devemos esperar que, mantidas as condições atuais de desenvolvimento, a vulnerabilidade do Brasil às mudanças climáticas prováveis será

igualmente muito alta, podendo ser potencialmente um significativo óbice ao desenvolvimento sustentável do país no futuro. Com um clima mais aquecido, haverá mais vapor d'água na atmosfera e uma aceleração do ciclo hidrológico (NAE, 2005).

Para ANA (2016, p. 15) “o ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação. Com o aquecimento global da atmosfera, esperam-se, entre outras consequências, mudanças nos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade da precipitação), o que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios, quer negativamente, quer positivamente”.

Nos setores de saúde, recursos hídricos, energia, zonas costeiras e desenvolvimento sustentável do semiárido e da Amazônia, o número de análises de impactos e vulnerabilidade é substancialmente menor, o que aponta para uma premente necessidade de induzir estudos para estes setores (NAE, 2005).

O Nordeste Brasileiro (NEB) é vulnerável aos extremos observados da variabilidade climática, e cenários globais e regionais de mudanças climáticas no futuro indicam que a região poderia ser afetada pelo déficit de chuvas e aumento da aridez no próximo século (Marengo et al. 2013, Vieira et al. 2015).

Segundo a NAE (2015), o Nordeste é caracterizado facilmente como de alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas. Aumentos de temperatura nestas faixas, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, por si só já seriam suficientes para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas. Isto é, a menos que haja aumento de chuvas, a água se tornará um bem mais escasso, com sérias consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional.

Cirilo (2010) afirma que “o quadro de escassez se manifesta principalmente no Nordeste, na parte do seu território designada como semiárida”.

As secas fazem parte da variabilidade natural do clima na região, e ocorreram no passado, estão ocorrendo no presente e de acordo com as projeções de mudanças climáticas, é provável que continuem e intensifiquem no futuro (MARENGO et al. 2016). As secas são um fenômeno natural, uma alteração do regime hidrometeorológico, e no NEB elas afetam os moradores, principalmente os mais vulneráveis da região semiárida, criando situações de deficiência hídrica e riscos para a segurança alimentar, energética e hídrica na região (EAKIN et al. 2014).

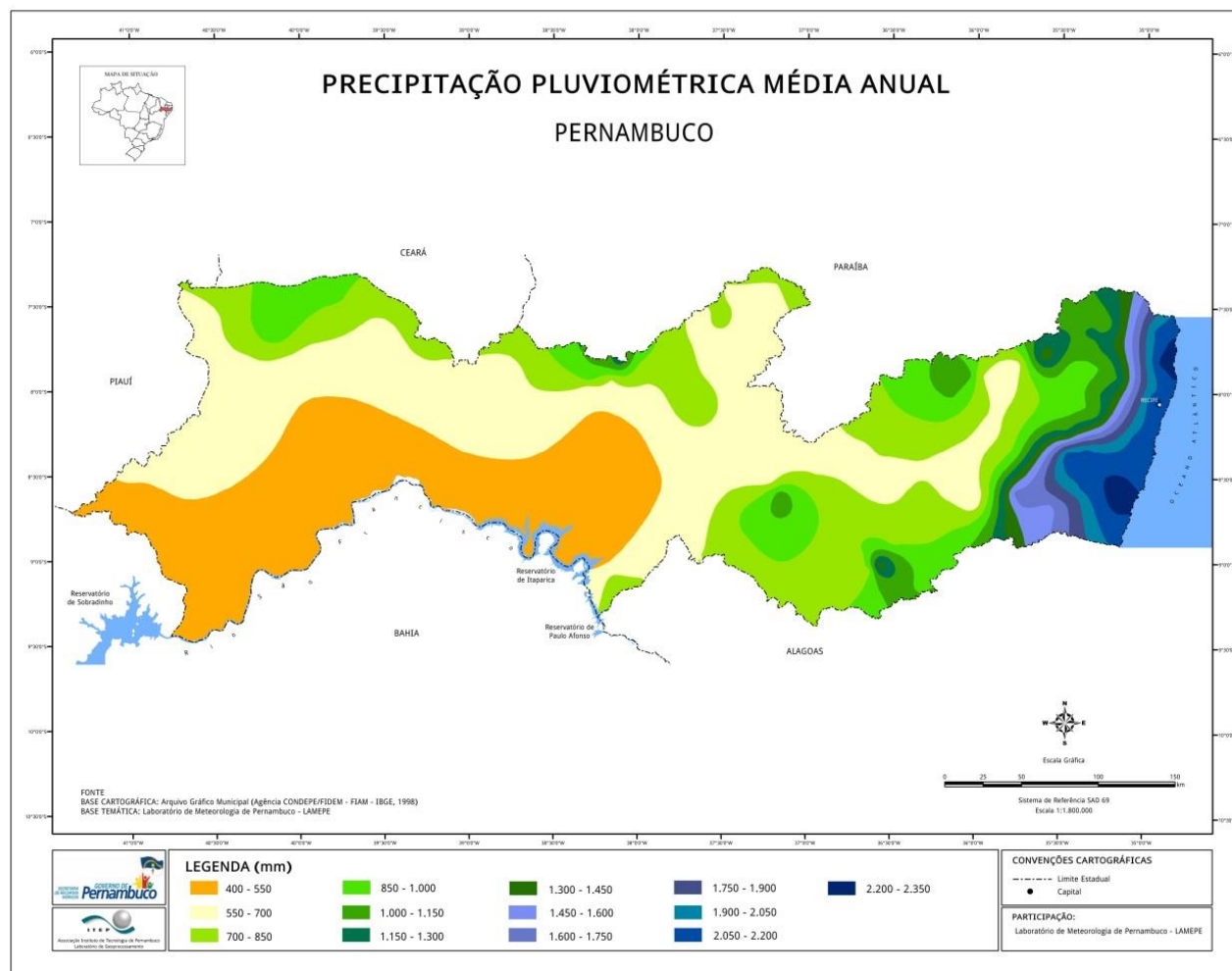
A seca não atinge todo o NEB, ela se concentra numa área conhecida como Polígono das Secas, que envolve as regiões semiáridas de parte de oito estados nordestinos (AL, BA, CE, CE, PB, PE, PI, RN e SE) e parte do norte de MG (MARENGO et al. 2016).

De acordo com os resultados das pesquisas globais, Pernambuco é um dos estados mais vulneráveis do Brasil, aos efeitos das mudanças do clima. Enquanto na área litorânea vem sendo intensificado o processo erosivo nas praias, com ameaça iminente ao patrimônio público e privado, a região do sertão e agreste padece do fenômeno das secas (PERNAMBUCO, 2011).

A região do semiárido brasileiro abrange uma população de 20 milhões de habitantes, ou seja, 12,2% da população total do país. Desse total, 56% correspondem à população urbana e 44% a população rural (ANA, 2006).

Para uma região ser enquadrada como semiárido, utilizam-se critérios como precipitação, índice de aridez e risco de seca. No semiárido nordestino a precipitação média anual varia entre 250 e 800 mm e a evapotranspiração potencial é da ordem de 2.500mm. O volume de água escoado nos rios é baixo, pois há uma grande variabilidade temporal das chuvas e o solo predominante é raso, baseado sobre rochas cristalinas (CIRILO, 2008). A Figura 1 ilustra a precipitação média anual em Pernambuco.

Figura 1 – Precipitação pluviométrica média anual de Pernambuco.



Fonte: SRHE, 2016.

A região oficialmente classificada como semiárido no Nordeste possui 1.135 municípios, ocupando uma área total de 969.589km² (CIRILO, 2008). Caracteriza-se pela escassez de água, decorrente da incidência de chuva em curtos períodos de três a cinco meses, e irregularmente distribuída no espaço. Essa característica regional torna necessária a intervenção do homem sobre a natureza para garantir o armazenamento de água para abastecimento humano, irrigação e outros usos. Assim, utilizam-se açudes como forma estratégica de armazenar água para serem utilizadas nos períodos secos (GARJULLI, 2003).

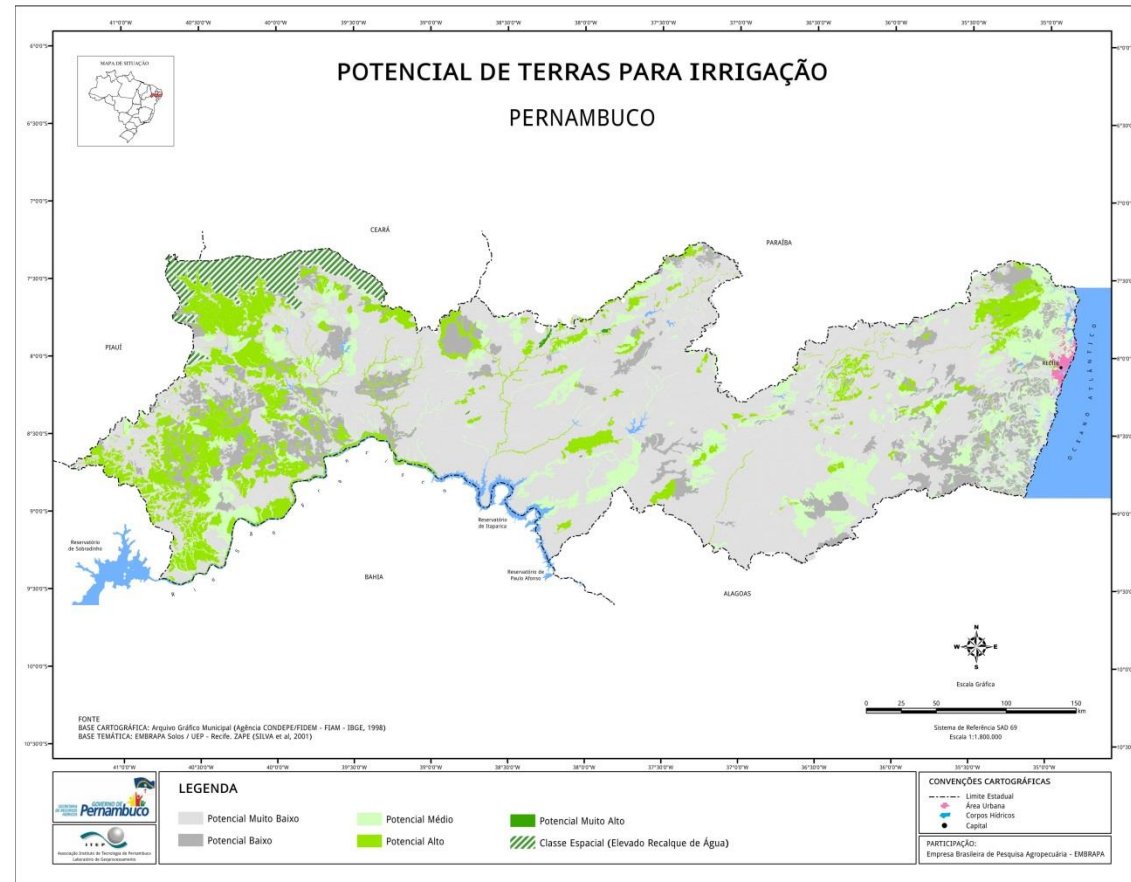
Em geral, os açudes do semiárido não conseguem disponibilizar mais do que 25% da sua capacidade total de acumulação. Consequentemente, menos de 4% e muitas vezes só 2% do volume da chuva podem ser efetivamente garantidos, por meio da regularização dos rios intermitentes (MI, 2000).

No semiárido do Nordeste do Brasil, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), criado em 1909, implantou uma infraestrutura hidráulica de açudes, poços e canais, no intuito de melhorar as condições de convivência no semiárido. Essa estrutura tem entre seus objetivos auxiliar a produção agrícola irrigada, com criação de perímetros públicos de irrigação. Estes vêm sendo objeto de programas de emancipação através das cooperativas de irrigantes que se instalaram ao longo dos anos, ou dos distritos de irrigação ou associações de usuários de água (VIEIRA, 2003).

A irrigação é muito importante para o desenvolvimento da agricultura, não somente nas regiões áridas e semiáridas. O seu uso propicia o equilíbrio da produção, evitando possíveis interferências ocasionais provocadas pela falta de água (COSTA, 2003).

Para que a irrigação na região seja bem sucedida, e considerando que os consumos de água são maiores nos reservatórios, precisam ser bem analisados os aspectos como distribuição da terra, cultivos, infraestrutura complementar e logística de escoamento de produção, pois a experiência de produção agrícola no Nordeste comprova que não é só a falta de água que compromete o desenvolvimento regional (CIRILO, 2008). A Figura 2 ilustra as regiões com potencial para irrigação.

Figura 2 – Potencial de terras para irrigação em Pernambuco.



Fonte: SRHE, 2016.

Segundo Righetto (2003), no Nordeste Setentrional, as águas armazenadas nos açudes são mal utilizadas. Os espelhos de água são mantidos em máximos possíveis, promovendo grandes perdas por evaporação nos períodos secos. Entretanto, nas cheias os volumes de espera são mantidos menores, para o caso de fortes e persistentes precipitações.

A solução para os problemas de escassez hídrica no Nordeste vai além da construção de açudes: exige um conjunto de atividades e intervenções. Uma solução possível é otimizar a oferta e uso de água nas bacias locais e, posteriormente, ampliar a oferta com água proveniente de outras regiões (AZEVEDO et al, 2005).

Para Guimarães Jr. et. al. (2000), a região não desenvolveu uma cultura de uso eficiente da água. Convive-se com práticas rudimentares de irrigação e com uma operação caótica dos reservatórios. Também há grandes desperdícios de água no abastecimento urbano.

3.3 Sensoriamento Remoto

“Sensoriamento remoto consiste na utilização conjunta de modernos instrumentos (sensores), equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas (áreas ou espaciais) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações” (NOVO, 1989)

Para o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o conceito de sensoriamento remoto se apresenta como “um conjunto de atividades cujo objetivo principal reside na caracterização das propriedades de alvos naturais e artificiais, por meio da detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante, por eles refletido ou emitido”.

Pereira (2008) afirma que o sensoriamento remoto pode ser compreendido como o processo de leitura realizado através de sensores, disponíveis em satélites, onde são coletados os dados a distancia, gerando desta forma, informações sobre um objeto, área ou algum tipo de fenômeno para que estes sejam analisados.

Segundo Pinto (1991) a utilização do sensoriamento remoto com imagens de satélites, teve início nas décadas de 60 e 70. As imagens orbitais foram escolhidas pelas suas características espectrais e pela sua repetitividade na discriminação de alvos que ocorrem na superfície, para mapeamentos e monitoramento ambiental.

Os produtos do Sensoriamento Remoto orbital vêm se tornando uma importante ferramenta para as mais variadas aplicações, particularmente aquelas relacionadas com a

avaliação, manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais, como água, solo e vegetação (BATISTA et al., 1998). Para Grigio (2003), “o sensoriamento remoto com base na análise de imagens de satélites é um dos meios que se dispõe hoje para acelerar e reduzir custos dos mapeamentos e da detecção de mudanças geoambientais”.

Silva (2009), afirma que apesar da importância do levantamento em campo, o alto custo para percorrer extensas áreas dificulta sua extensão em um contexto estadual ou regional.

Para superar esta dificuldade, o Sensoriamento Remoto aparece como uma tecnologia que permite a realização desses levantamentos a custos relativamente baixos, minimizando a quantidade de trabalho de campo e fornecendo dados com maior rapidez (SILVA, 2009).

O desenvolvimento de novas tecnologias e de novos sensores, capazes de coletar informações em diferentes porções do espectro eletromagnético, tem fornecido subsídios importantes para o avanço da pesquisa científica (KNUST, 2007).

Para Pinto et al (1989), “as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento se apresentam como ferramentas auxiliares para obtenção de informações relativas ao meio físico e o monitoramento da dinâmica de uso e ocupação das terras”.

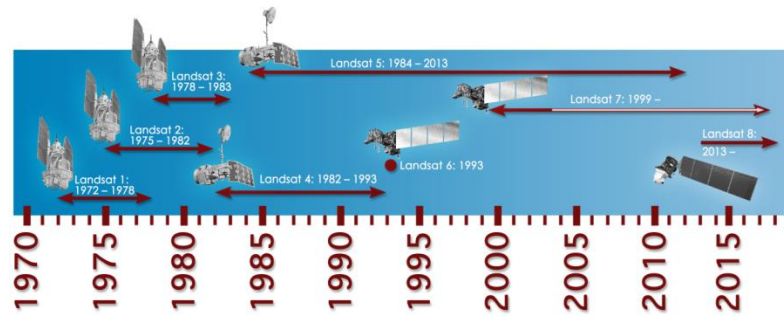
Estas técnicas utilizadas, proporcionadas pela tecnologia, buscam fornecer meios de elaboração, execução e monitoramento para projetos, como forma de auxiliar os mesmos a atingirem seus objetivos. A utilização de imagens de satélite é um ótimo exemplo, pois através delas são elaborados vários tipos de mapas, como uso e ocupação do solo, recursos hídricos, cobertura vegetal entre outros, que proporcionam o monitoramento, caracterização e planejamento de uma área.

3.3.1 *Satélite LANDSAT*

A série do LANDSAT teve início na segunda metade da década 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), sendo dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Esse programa foi inicialmente denominado ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*) e em 1975 passou a se denominar Landsat. O LANDSAT-1 foi o primeiro satélite e também o primeiro desenvolvido para atuar diretamente em pesquisas de recursos naturais, foi lançado em 1972 e denominado ERTS-1 ou LANDSAT-1 (INPE, 2016). Desde o primeiro LANDSAT até hoje já foram lançados sete satélites da série, todos com imagens multiespectrais.

No Brasil a série LANDSAT está em atividade desde 1973 através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este instituto é o responsável pela recepção, processamento e distribuição destes dados no Brasil, desde 1974, além de possuir acervo de dados históricos sobre o país (INPE, 2006a).

Figura 3 - Cronograma dos satélites LANDSAT.



Fonte: INPE, 2016.

Para as bandas espectrais do satélite LANDSAT, os melhores estudos a serem trabalhados com as imagens são os de temperatura do solo e cobertura vegetal. No quadro abaixo se pode verificar as características dos principais sensores do satélite LANDSAT.

Quadro 1 - Características dos principais sensores do satélite LANDSAT.

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Faixa Imageada |
|--------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| MMS | 4 | 0,5 - 0,6 um | 80m | 18 dias | 185 km |
| | 5 | 0,6 - 0,7 um | | | |
| | 6 | 0,7 - 0,8 um | | | |
| | 7 8 Somente para o LANDSAT 3 | 0,8 - 1,1 um 10,4 - 12,6 um | 120m | | |
| TM | 1 | 0,45 - 0,52 um | 30m | 16 dias | 185 km |
| | 2 | 0,50 - 0,60 um | | | |
| | 3 | 0,63 - 0,69 um | | | |
| | 4 | 0,76 - 0,90 um | 120m | | |
| | 5 | 1,55 - 1,75 um | 30m | | |
| | 6 | 10,4 - 12,5 um | | | |
| | 7 | 2,08 - 2,35 um | | | |
| ETM+ | 1 | 0,45 - 0,52 um | 30m | 16 dias | 185 km |
| | 2 | 0,50 - 0,60 um | | | |
| | 3 | 0,63 - 0,69 um | | | |
| | 4 | 0,76 - 0,90 um | 60m | | |
| | 5 | 1,55 - 1,75 um | | | |
| | 6 | 10,4 - 12,5 um | 30m | | |
| | 7 | 2,08 - 2,35 um | 15m | | |
| | 8 | 0,50 - 0,90 um | | | |

Fonte: DGI/INPE SILVA, 2009.

As primeiras imagens foram com o sensor *Multispectral Scanner Subsystem* (MSS) com resolução espacial de 80 m, para os satélites LANDSAT 1,2 e 3 (1972-1992). Depois foi criado o sensor *Thematic Mapper* (TM) com resolução de 30 m para o satélite LANDSAT-5 (1984-2011), e o sensor LANDSAT *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) de 15 a 30 m de resolução, no satélite LANDSAT-7 desde 1999. E por fim o sensor OLI (*Operational Terra Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com resolução de 15 a 30 metros de dados multiespectrais do LANDSAT 8 desde o ano de 2013.

O satélite LANDSAT 5, lançado em 1984 e desativado em 2011, foi equipado com os sensores MSS (*Multispectral Scannes Subsystem*) e o TM (*Thematic Mapper*). O primeiro, conforme Oliveira (2004, p. 35), “é um sistema de varredura multiespectral que permite o imageamento do terreno numa faixa de 185 km”, com quatro bandas espectrais, do verde ao infravermelho próximo. O sensor TM oferece bandas espectrais do visível ao infravermelho termal (CÂMARA, 1996). O quadro abaixo mostra alguns dados do LANDSAT 5.

Quadro 2 - Dados do satélite LANDSAT 5.

| | |
|-----------------------------------|--|
| Instrumento/Sensor | MSS (até Ago/1995) e TM |
| Operadora/Instituição Responsável | NASA (National Aeronautics and Space Administration) |
| País | Estados Unidos |
| Situação Atual | Inativo (22/11/2011) |
| Lançamento | 01/03/1984 |
| Altitude | 705 km |
| Inclinação | 98,20° |
| Órbita | Quase-Polar, Heliossíncrona |
| Faixa Imageada | 185 Km |
| Tempo de Duração da Órbita | 98,20 min |
| Horário da Passagem | 09h / 11h |
| Período de Revisita | 16 dias |
| Resolução Espacial | MSS: 80 m TM: 30 m |

Fonte: INPE, 2016

No quadro abaixo é apresentado as principais características e aplicações das bandas TM do satélite LANDSAT 5.

Quadro 3 - Principais características e aplicações das bandas TM do LANDSAT5.

| Banda | Intervalo espectral (μm) | Principais características e aplicações das bandas TM e ETM dos satélites LANDSAT 5. |
|-------|---------------------------------------|--|
| 1 | (0,45 - 0,52) | Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera. |
| 2 | (0,52 - 0,60) | Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água. |
| 3 | (0,63 - 0,69) | A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas. |
| 4 | (0,76 - 0,90) | Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas. |
| 5 | (1,55 - 1,75) | Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite. |
| 6 | (10,4 - 12,5) | Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água. |
| 7 | (2,08 - 2,35) | Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal. |

Fonte: DGI/INPE SILVA, 2009.

O satélite LANDSAT 8 foi lançado pela NASA em 11 de fevereiro de 2013 e apresenta os dados do quadro abaixo:

Quadro 4 – Dados do satélite LANDSAT 8.

| | |
|-----------------------------------|---|
| Instrumento/Sensor | OLI e TIRS |
| Operadora/Instituição Responsável | NASA (National Aeronautics and Space Administration) |
| País | Estados Unidos |
| Situação Atual | Ativo |
| Lançamento | 02/11/2013 |
| Altitude | 705 Km |
| Inclinação | 98,2° |
| Órbita | Circular, Polar, Heliossíncrona |
| Faixa Imageada | 185 Km |
| Tempo de Duração da Órbita | 99 min. |
| Horário da Passagem | 10h / 12h |
| Período de Revisita | 16 dias |
| Resolução Espacial | Pancromático: 15 m Multiespectral: 30 m Termal: 100 m reamostrada para 30 m |

Fonte: INPE, 2016.

Ele possui o sensor OLI (*Operational Land Imager*) com 9 bandas espectrais e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com 2 bandas espectrais no infravermelho termal, bandas 10 (10.6 - 11.19 μm) e 11 (11.5 - 12.51 μm), com resolução espacial de 100m, como pode-se observar no quadro abaixo.

Quadro 5 - Principais características e aplicações das bandas TM do LANDSAT 8.

| Banda | Nome | Intervalo espectral (μm) | Resolução |
|-------|---------------------|---------------------------------------|-----------|
| 1 | Coastal/ Aerosol | 0.433–0.453 | 30 m |
| 2 | Azul | 0.450–0.515 | 30 m |
| 3 | Verde | 0.525–0.600 | 30 m |
| 4 | Vermelho | 0.630–0.680 | 30 m |
| 5 | NIR | 0.845–0.885 | 30 m |
| 6 | SWIR-1 | 1.560–1.660 | 30 m |
| 7 | SWIR-2 | 2.100–2.300 | 30 m |
| 8 | Pan | 0.500–0.680 | 15 m |
| 9 | Cirrus | 1.360–1.390 | 30 m |
| 10 | TIR-1 | 10.6-11.2 | 100 m |
| 11 | TIR-2 | 11.5-12.5 | 100 m |

Fonte: NASA, 2003.

Vale ressaltar que as imagens termais do LANDSAT 8 apresentaram anomalias devido a dispersão da luz difusa que chega ao sensor o que ocasionou problemas de calibração nas imagens do satélite (NASA, 2014).

Segundo Schott et al (2014), estas anomalias incluem diferenças na aparência radiométrica, variações nos índices de calibração cruzadas entre detectores que se sobrepõem em matrizes adjacentes (resultando em formação de faixas) e os erros de polarização na calibração absoluta.

3.3.2 Programa de Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)

Com a grande necessidade de se criar tecnologias que ajudem a adquirir informações geográficas em vários âmbitos como na agricultura, floresta, gestão ambiental, geografia, geologia, planejamento urbano e regional, em 1991 começou a ser desenvolvido o SPRING (*Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas*), que segundo Câmara (1996), é um software projetado para atender os desafios brasileiros no monitoramento de recursos naturais e humanos.

Em 1993, alcançou-se o primeiro resultado concreto dos esforços reunidos, com o lançamento da versão 1.0 do SPRING, este foi elaborado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) no INPE, sendo encontrado gratuitamente no endereço: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>, exigindo apenas um cadastramento para a sua utilização, simplicidade considerada um avanço no uso de sistema de informações geográficas para levantamento de recursos naturais (RODRÍGUEZ, 2005).

Como define o INPE (2006a), O SPRING “é um SIG (Sistema de Informações Geográficas) no estado da arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais”. Para Câmara et al (1996), as ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Um das características de um SIG segundo o INPE, é que ele “integra numa única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno”. Como também, “oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georeferenciados”.

Os SIGs são utilizados como ferramenta de análise espacial, na modelagem e simulação de cenários, como subsídio à elaboração de alternativas para a decisão da política de uso e ocupação do solo, ordenamento territorial, equipamentos urbanos e monitoramento ambiental, entre outras aplicações complexas, que envolvem diferentes componentes dinâmicos (MOTA, 1999).

Os referidos sistemas constituem o ambiente de inteligência que dá suporte de forma lógica e estruturante à gestão e ao processo decisório das diferentes esferas de aplicação, permitindo, inclusive, a construção de indicadores, baseados em análises geográficas, além de coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados. Esta tecnologia tem sido alvo de crescente utilização no planejamento ambiental com forte adesão na gestão dos recursos hídricos (PINHEIRO et al, 2009).

Conforme Câmara et al (1996), as questões ambientais originaram vastos investimentos no uso e desenvolvimento do sensoriamento remoto e tecnologia SIG no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Adaptado a complexidade dos problemas ambientais, que requerem uma forte capacidade de integração de dados entre imagens de satélite, mapas temáticos e cadastrais e modelos numéricos de terreno. Adicionalmente, muitos dos sistemas disponíveis no mercado apresentam alta complexidade de uso e demandam tempo de aprendizado muito longo, ao contrário do SPRING (INPE, 2006).

Para Valério Filho (1995), as técnicas de geoprocessamento (SIG) são interessantes para o gerenciamento e análise de informações multitemáticas no contexto do gerenciamento de bacias hidrográficas e planejamento agrícola ambiental.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

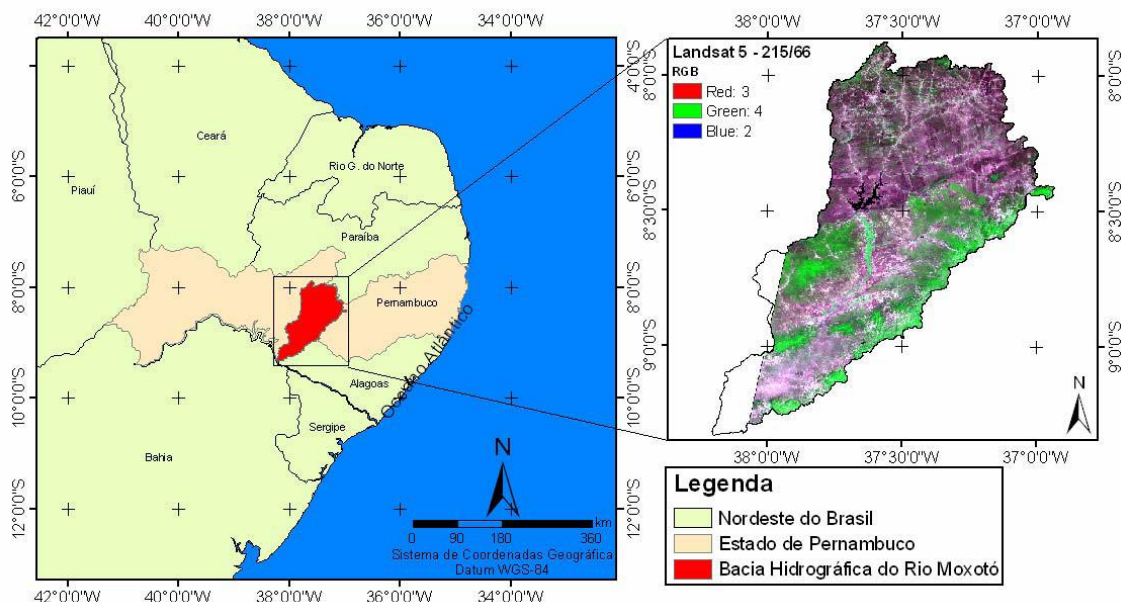
O presente estudo foi desenvolvido através de pesquisa documental com base em levantamento de dados secundários, assim como levantamento de dados censitários por meio de consultas em órgãos oficiais e levantamento de imagens de satélite em sites de órgãos oficiais.

4.1. Caracterização geral da área de estudo

A pesquisa foi realizada na bacia hidrográfica do rio Moxotó, na região do estado de Pernambuco, localizada na região fisiográfica conhecida como Submédio do São Francisco.

De acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) 2015, a bacia se localiza entre $07^{\circ} 52' 21''$ e $09^{\circ} 19' 03''$ de latitude sul, e entre $36^{\circ} 57' 49''$ e $38^{\circ} 14' 41''$ de longitude oeste, com sua porção pernambucana constituindo a Unidade de Planejamento Hídrico UP8 (Figura 4). A bacia do rio Moxotó possui localização estratégica no semiárido nordestino. Abrange uma população de aproximadamente 185.000 habitantes, ou seja, 2,34% da população do estado de Pernambuco (SECTMA/PE, 2006).

Figura 4 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó.

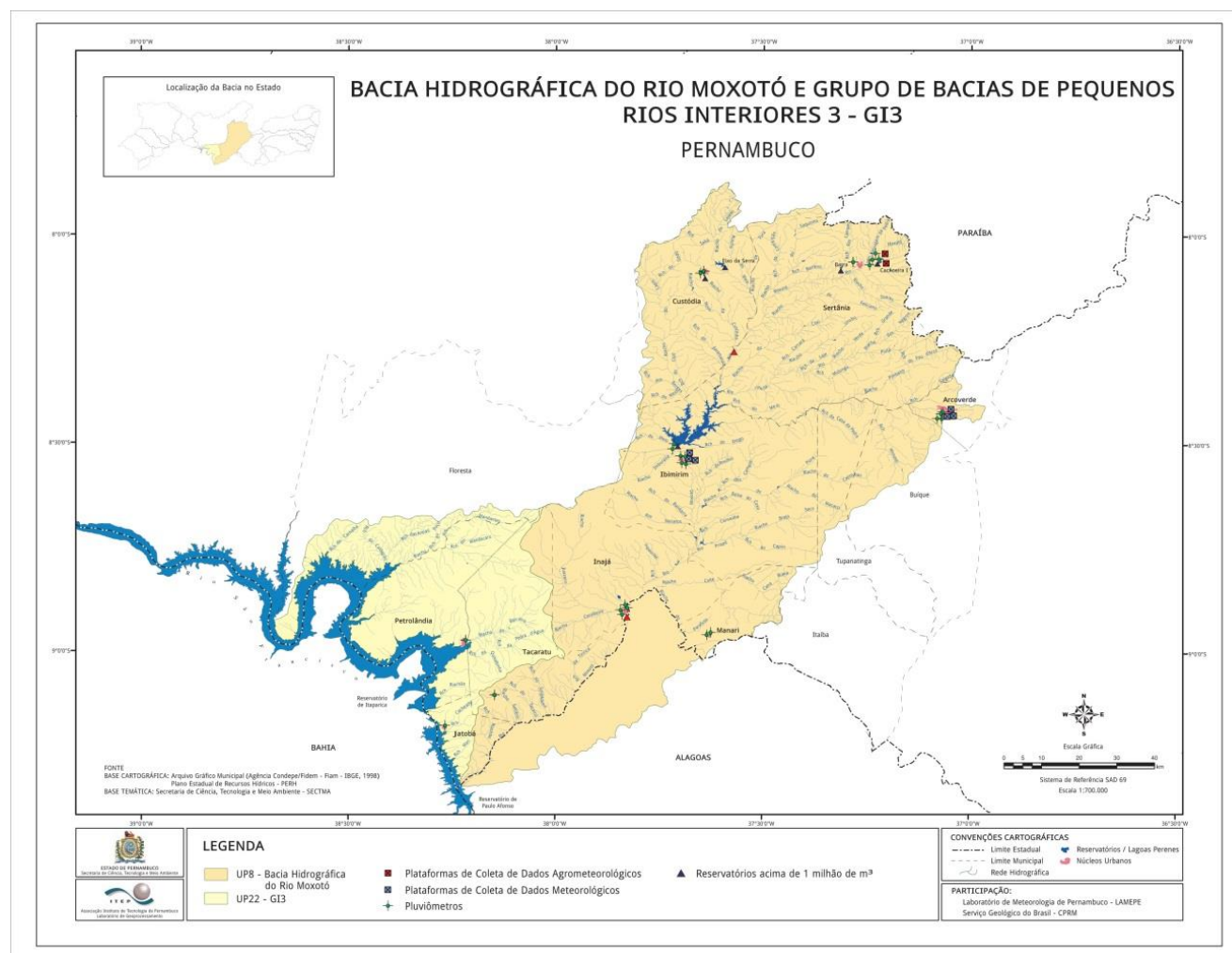


Fonte: INPE, 2009.

O rio Moxotó nasce no município de Sertânia, próximo à divisa entre os estados de Pernambuco e Paraíba. Da nascente até sua foz, no rio São Francisco, o rio possui uma extensão de cerca de 226 km. Seus principais afluentes pela margem direita, de montante para jusante, são riacho do Saquinho, riacho do Lajedo, riacho da Custódia, riacho do Capiti e riacho Juazeiro. Pela margem esquerda, destacam-se riacho do Feliciano, rio Piutá, riacho Salgado, riacho do Pioré, rio Priapé e riacho do Parafuso, que serve de limite entre os estados de Pernambuco e Alagoas. Com sua nascente situada no município de Sertânia, o rio Piutá é o afluente mais importante do rio Moxotó. Após percorrer cerca de 54 km de extensão, esse rio deságua no reservatório Engenheiro Francisco Sabóia, também conhecido como Poço da Cruz, no rio Moxotó (APAC, 2015).

O rio tem uma extensão total de 226 km, possuindo regime intermitente com vários reservatórios ao longo do seu curso (Figura 5).

Figura 5 – Divisão política administrativa da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó.



Destaca-se que a área total da bacia é de 9.744,01 km², dos quais 8.772,32 km² pertencem ao estado de Pernambuco (89,2% de sua área), situando-se em sua maior parte no Sertão do Moxotó que abrange áreas de 12 municípios. Os municípios com sede na bacia são Arcoverde, Custódia, Ibimirim, Manari e Tacaratu, dos quais Inajá e Sertânia estão totalmente inseridos na bacia, enquanto os parcialmente inseridos são Buíque, Floresta, Jatobá, Iguaraci e Tupanatinga.

A bacia faz parte integral do Polígono das Secas e da área de atuação da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF, 2010). A tabela 6 ilustra os municípios que abrangem a bacia do Rio Moxotó em Pernambuco.

Quadro 6 – Municípios inseridos na Bacia do Rio Moxotó em Pernambuco.

| Município | Sede Localizada na Bacia | Área do Município (km²) | Área do Município na Bacia (%) |
|------------------|---------------------------------|---|---------------------------------------|
| Arcoverde | * | 380,6 | 35,0 |
| Buíque | | 1.279,0 | 27,8 |
| Custódia | * | 1.484,6 | 88,6 |
| Floresta | | 3.690,3 | 0,0 |
| Ibimirim | * | 1.901,5 | 100,0 |
| Iguaraci | | 773,6 | 3,7 |
| Inajá | * | 1.359,0 | 100,0 |
| Jatobá | | 180,0 | 26,1 |
| Manari | * | 290,3 | 90,2 |
| Sertânia | * | 2.359,4 | 100,0 |
| Tacaratu | * | 1.244,0 | 43,1 |
| Tupanatinga | | 869,8 | 47,8 |

Fonte: PERH/PE, 1998.

Os reservatórios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó são o Barra, Marrecas, Cachoeira I, Eixo da serra e Engenho Francisco Sabóia (Poço da Cruz) (Tabela 7). O reservatório Barra foi construído no ano de 1964, localizado no município de Sertânia, com capacidade de 2.738.160m³ e uso para o abastecimento e o Poço da Cruz é o de maior capacidade com 504.000.000, localizado em Ibimirim.

Quadro 7 – Reservatórios da Bacia do Rio Moxotó.

| Reservatório | Capacidade (m ³) | Município |
|--------------------------------------|------------------------------|-----------|
| Barra | 2.738.160 | Sertânia |
| Cachoeira | 5.950.000 | Sertânia |
| Custódia/Marrecos | 21.623.100 | Custódia |
| Eixo da Serra | 1.637.808 | Custódia |
| Eng. Francisco Sabóia (Poço da Cruz) | 504.000.000 | Ibimirim |

Fonte: APAC, 2015.

A bacia do rio Moxotó é coberta de norte a sul, em 89% da área, por Caatinga. A região pode ser enquadrada como região de savana. A cultura cíclica ocupa 7% da região, enquanto que os 4% restantes são ocupados por vegetação arbórea aberta. A bacia apresenta vários metamorfismos regionais, onde duas feições se destacam. A primeira é uma área de natureza cristalina com predomínio de gnaisses ao norte. A outra é uma área sedimentar de arenitos pertencentes ao aquífero Jatobá na faixa central da bacia, no sentido SO-NE (MELO, 2011).

Os recursos minerais da bacia compreendem argila, areia quartzosa, amianto, calcário, cristais de quartzo, caulim, ferro, grafite, mármore, talco, vanádio e vermiculita. Destes, apenas o caulim é explorado economicamente (MMA, 1998).

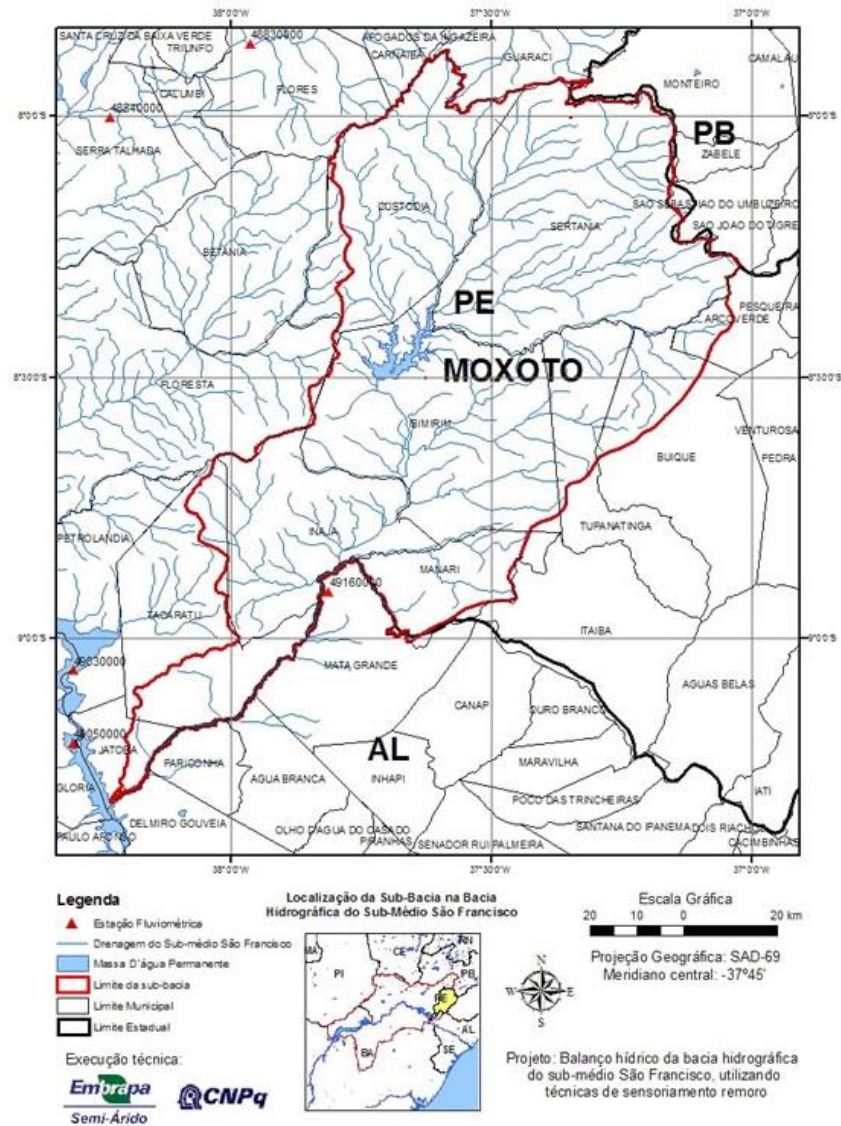
Os solos existentes na bacia são bastante variados. São identificados mais de dez grupos pedológicos distintos. Há uma nítida predominância dos solos do tipo Bruno NãoCálcicos ao norte da bacia, areias quartzosas álicas ao centro e planossolos solódicos eutróficos ao sul, bem como ao norte. Esta formação cria um triângulo imaginário formado pelas localidades de Sertânia, Arcoverde e Algodões (MELO, 2011). Segundo a CODEVASF, a bacia apresenta um potencial de solos agricultáveis classe 3 de terras para irrigação, com uma área de 182.500 hectares (MMA, 1998).

No Vale do Moxotó predominam atividades agropecuárias. Em seu terço superior verifica-se grande dominância de áreas de pastagens e alguns cultivos de subsistência sempre sujeitas a elevados riscos de perda das produções, em face de deficiência hídrica, típica da região (UFPE, CPRM, FINEP, 2005).

A antiga Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTMA) (2009), hoje Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), afirma que a maior parte das demandas hídricas do estado de Pernambuco é utilizada para atendimento à irrigação, destacando-se a bacia do rio Pontal, a GI-8 e a do Moxotó, com a demanda de irrigação representando mais de 90% da demanda total da bacia. A bacia apresenta um padrão de

drenagem radial dendrítica secundariamente modificado para formas paralelas, em função do basculamento de blocos, e ainda retilíneos em áreas de epigênia e forte controle das estruturas lineares, possuindo altitude variando entre 200 e 1100m (OLIVEIRA, 2009). Na Figura 6 pode-se observar a rede de drenagens da Bacia do Rio Moxotó.

Figura 6 – Rede de drenagens e limites da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE.



Fonte: EMBRAPA, 2015.

O Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) criou o Perímetro Irrigado na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó, no final da década de sessenta. Conforme Montenegro (2009), naquela época, os solos aluvionais eram os preferidos para irrigação, sendo os métodos gravitacionais os mais usuais, não havendo preocupação com a baixa eficiência de distribuição de água.

O açude público Engenheiro Francisco Sabóia, também denominado Poço da Cruz, o maior reservatório do estado de Pernambuco, está localizado no semiárido e é a principal fonte hídrica para a irrigação do Perímetro Irrigado do Moxotó - PIMOX. A carência de água na região e a importância do reservatório para irrigação trazem para esse sistema uma grande expectativa de desenvolvimento social e econômico (MELO, 2011). Os maiores açudes estão descritos na Tabela 8 a seguir.

Quadro 8 – Principais açudes da bacia do Rio Moxotó.

| Açude | Município | Capacidade Máxima (1000m³) | Uso / Finalidade |
|-----------------------------|------------------|--|---------------------------|
| Engenheiro Francisco Sabóia | Ibimirim | 504.000 | Irrigação |
| Custódia | Custódia | 21.623 | Irrigação e Abastecimento |
| Cachoeira I | Sertânia | 5.950 | Abastecimento |
| Barra | Sertânia | 2.738 | Abastecimento |

Fonte: SECTMA/PE, 2006.

O Perímetro se apresentou como um polo econômico, atingindo seu auge entre os anos de 1980 a 1983, dinamizando socioeconomicamente os municípios de Ibimirim e Inajá. Em 1991, o perímetro iniciou um processo de racionamento, quando, a partir de 1993, o volume de água acumulado no açude Engenho Francisco Sabóia, maior reservatório do Estado, com capacidade de acumular 504 milhões de m³, atingiu níveis críticos (74 milhões de m³). A irrigação passou a conviver com restrições maiores de fornecimento de água e, em seguida, redução de áreas agrícolas, chegando, em 1996, a paralisação total do projeto, provocando impactos negativos na economia regional e local. Só a partir de 2004 ocorreram precipitações acima da média nos meses de janeiro e fevereiro, sendo possível cancelar a paralisação da irrigação (GALVÍNCIO et al, 2010).

Na bacia, em estudo as alturas de chuvas médias anuais variam de 500 a 1.100 mm, com uma grande irregularidade no regime interanual. As chuvas são mal distribuídas ao longo

do ano, em função de uma curta estação chuvosa, geralmente entre março e julho, e um extenso período com poucas chuvas, nos meses restantes do ano.

De um modo geral, chove em média, cerca de 80 dias por ano; o período chuvoso (inverno) vai de março a agosto, representando cerca de 75% da chuva anual. Durante o resto do ano (verão), as chuvas são esporádicas e incertas, com vários dias apresentando ausência total de chuvas. Quanto às temperaturas, a média das máximas é de 29,0°C, verificando-se em julho as temperaturas mais baixas e no trimestre novembro, dezembro e janeiro as mais altas. A região apresenta uma insolação média anual de cerca de 2.600 horas, em especial nos meses de setembro a março, com redução de abril a agosto (PEDROSA, SANTOS, VIANNA, 1998).

4.2 Materiais

Para o levantamento de dados censitários foi adquirido informações diretas via e-mail com a APAC (Agência Pernambucana de Águas e Climas) sobre a situação da bacia do Rio Moxotó e de seus reservatórios, Barra, Cachoeira, Marrecos, Eixo da Serra e Engenho Francisco Sabóia. Informações como dados de volume (m³), capacidade máxima dos reservatórios (m³), cota (m) e ficha técnica de cada reservatório, referentes aos anos estudados. Também foram adquiridos dados pluviométricos do Laboratório de Meteorologia do Itep (LAMEPE) via e-mail, referentes aos municípios do Sertão, Agreste e da Zona da Mata de Pernambuco no período de 2009 a 2015 que possuem posto de coleta de dados. E destes dados foram utilizados somente os dos municípios que estão inseridos na bacia do Rio Motoxó.

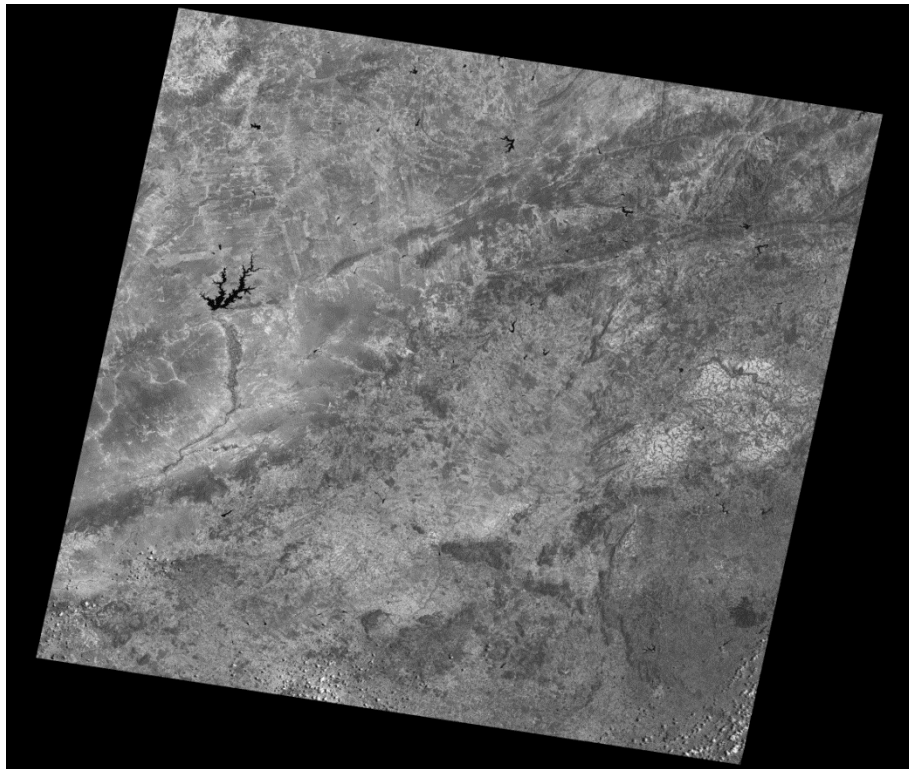
Para o levantamento de imagens de satélite da região da bacia foram consultados os sites do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), do USGS (*Science for a changing world*) e do banco de dados do GEOSERE (Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto) localizado na UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco). As imagens adquiridas foram do satélite LANDSAT 5 e 8 (*Land Remote Sensing Satellite*) dos anos 2009, 2010, 2011, 2013, 2014 e 2015, e que atendessem os critérios de:

- 1- Mínima cobertura de nuvens;
- 2- Data de aquisição da imagem (preferencialmente mesmo mês de cada imagem ou meses próximos);

Salientando que não há imagens para o ano de 2012, por não possuírem registros no levantamento de dados.

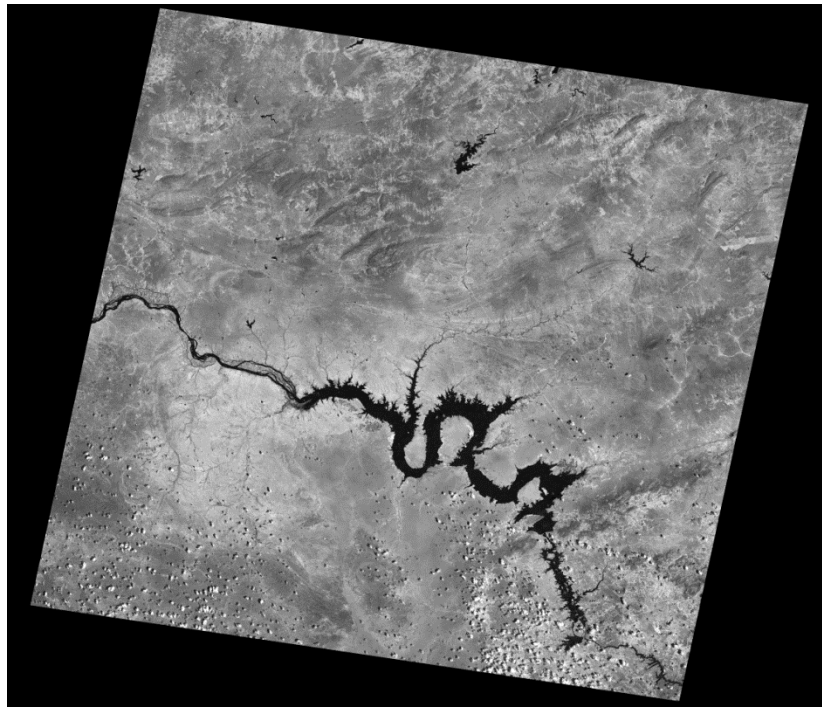
Destas, foram selecionadas um conjunto de imagens sensor TM (*Thematic Mapper*)/LANDSAT 5 das bandas espectrais 3, 4 e 5, para os anos de 2009, 2010 e 2011 e do sensor OLI (*Operating Land Imager*)/LANDSAT 8 das bandas espectrais 3, 4 e 5 para os anos de 2013, 2014 e 2015, das órbitas/ponto 215/66 e 216/66, como mostra os exemplos de figuras abaixo.

Figura 7 - Imagem com escala de níveis de cinza (monocromática) sem tratamento – sensor TM/LANDSAT 5 – Banda 5, órbita/ponto 215/66 do ano de 2009.



Fonte: INPE, 2015.

Figura 8 - Imagem com escala de níveis de cinza (monocromática) sem tratamento – sensor TM/LANDSAT 5 – Banda 5, órbita/ponto 216/66 do ano de 2009.



Fonte: INPE, 2015.

Foram adquiridas 12 imagens de satélites como mostra a tabela a seguir. As mesmas foram baixadas e salvas para serem processadas no *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), versão 5.3, 64 bits, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Quadro 9 - Cenas do satélite LANDSAT utilizadas no estudo

| Satélite | Sensor | Órbita/Ponto | Bandas Espectrais | Data de Aquisição |
|-----------|--------|--------------|-------------------|-------------------|
| LANDSAT 5 | TM | 215/66 | 3, 4 e 5 | 13/11/2009 |
| LANDSAT 5 | TM | 216/66 | 3, 4 e 5 | 20/11/2009 |
| LANDSAT 5 | TM | 215/66 | 3, 4 e 5 | 29/09/2010 |
| LANDSAT 5 | TM | 216/66 | 3, 4 e 5 | 06/10/2010 |
| LANDSAT 5 | TM | 215/66 | 3, 4 e 5 | 31/08/2011 |
| LANDSAT 5 | TM | 216/66 | 3, 4 e 5 | 06/08/2011 |
| LANDSAT 8 | OLI | 215/66 | 3, 4 e 5 | 10/12/2013 |
| LANDSAT 8 | OLI | 216/66 | 3, 4 e 5 | 30/10/2013 |
| LANDSAT 8 | OLI | 215/66 | 3, 4 e 5 | 11/01/2014 |
| LANDSAT 8 | OLI | 216/66 | 3, 4 e 5 | 02/01/2014 |
| LANDSAT 8 | OLI | 215/66 | 3, 4 e 5 | 06/05/2015 |
| LANDSAT 8 | OLI | 216/66 | 3, 4 e 5 | 23/06/2015 |

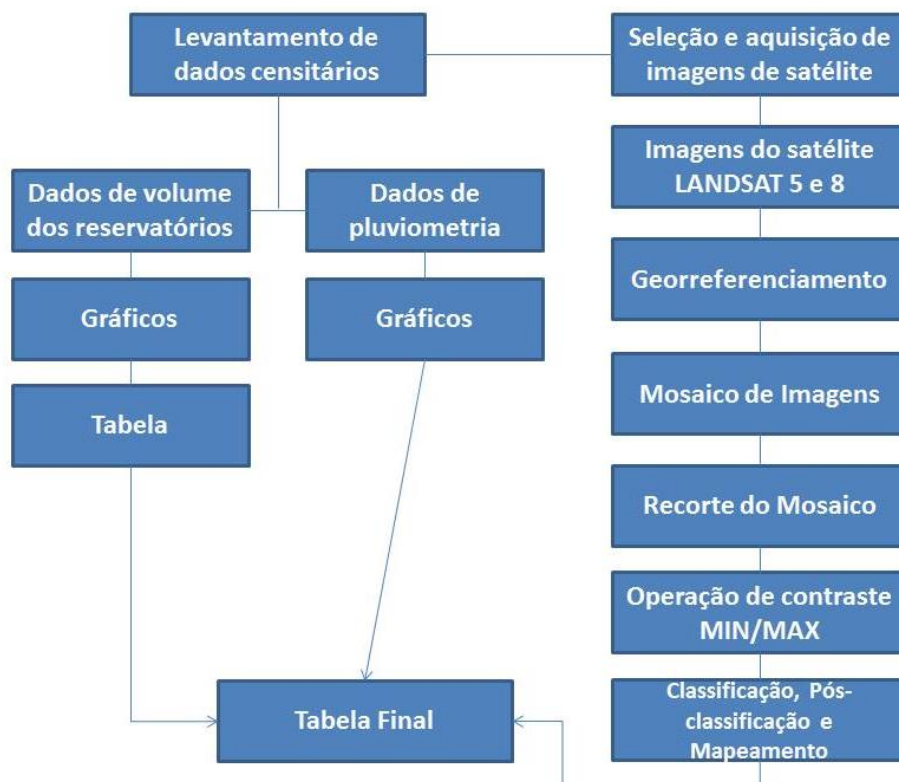
Fonte: Autora, 2018.

4.3 Procedimentos metodológicos

No desenvolvimento do presente estudo foi realizada inicialmente uma revisão literária para melhor compreensão dos temas abordados na pesquisa e fundamentação dos métodos utilizados no estudo. Para o levantamento das informações foram realizadas pesquisas documentais através de informações em livros, artigos científicos, teses, dissertações e sites referentes ao tema da pesquisa, dando ênfase na bacia hidrográfica do Rio Moxotó, mudanças climáticas, vulnerabilidade, destacando-se entre os documentos, o Plano Estadual de Mudanças Climáticas (2011).

Para um melhor entendimento dos processos metodológicos será apresentado um fluxograma com as etapas desenvolvidas (Figura 9). E posteriormente todas as etapas serão descritas.

Figura 9 – Fluxograma dos processos metodológicos



Fonte: Autora, 2018.

Com os dados de volume dos reservatórios disponibilizados pela APAC, foram criados gráficos de média anual dos anos estudados para cada reservatório no programa Microsoft Excel 2010. Vale salientar que o reservatório Eixo da serra não possuía histórico de dados, por falta de medição dos órgãos responsáveis e por este motivo só foram utilizados os dados dos demais reservatórios que também esta com defasagem em alguns dados de meses ou dias sem medição. Já com os dados de pluviometria disponibilizado pela LAMEPE (Laboratório de Meteorologia do Itep), foram selecionados os municípios pertencentes a bacia do Rio Moxotó que possuem posto de coleta de dados.

Os municípios e seus postos de coleta foram Ibimirim (IPA, Poço da Cruz e PCD), Tacaratu (IPA), Arcoverde (INMET e PCD), Inajá (CHESF) e Sertânia (Moderna, IPA, IPA-CEDOCA, Rio da Barra, PCD, Henrique Dias, Pernambucozinho e Albuquerque Né). E no programa Excel foram gerados gráficos para cada ano de 2009 a 2015 por meio da soma dos dados dos municípios em cada mês, de janeiro a dezembro.

Os dados gerados juntamente com as medidas de classe proveniente das classificações nas imagens trabalhadas foram sistematizados uma tabela final com os valores das classes (água, vegetação, solo_exposto), precipitação e volume dos reservatórios.

4.3.1 Georreferenciamento, mosaicagem e recorte das imagens

Utilizando a ferramenta Spring 5.3, criou-se um banco de dados geográficos nomeado de *tcc* com a finalidade de armazenar os dados e georeferenciar as imagens para execução do trabalho, logo após foi definido o projeto denominado *moxotó* com todos os seus parâmetros definidos, a área de estudo contida na zona 24 do sistema de projeção cartográfica UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e Datum SAD69, com modelo da Terra descrito pelo ITRF (WGS84) *International Terrestrial Reference System* e *World Geodetic System* como sistema de coordenadas do projeto. Este procedimento foi realizado no módulo de registro de imagens do SPRING. Com a área do projeto definida no retângulo envolvente, as coordenadas planas utilizadas foram X e Y, sendo X1: 584636.7860; X2: 724196.7860; Y1: 8968898.8505; Y2: 9129428.8505, envolvendo os limites territoriais da bacia do Rio Moxotó.

Posteriormente, as imagens adquiridas foram importadas no formato TIFF/GEOTIFF (*Tagged Image File Format*) para o programa Spring 5.3 em plano de informações e deu-se início ao tratamento das mesmas. Com as imagens importadas, primeiramente realizou-se o procedimento de mosaicagem que consistiu em juntar as imagens das órbitas 215/216, dos

anos estudados com a composição colorida RGB 5, 4, 3, onde a faixa vermelha corresponde à banda 5, a faixa verde à banda 4 e a faixa azul à banda 3.

A utilização de composições coloridas é fundamentada pelo fato de que o olho humano é capaz de discriminar mais facilmente matiz de cores do que tons de cinza. Para cada banda, associa-se uma cor primária (vermelha, verde e azul), de modo que para cada alvo diferente da cena se associa uma cor ou uma combinação de cores diferentes. A imagem resultante é costumeiramente denominada imagem colorida RGB (*Red, Green e Blue*) (SILVA, 2009).

Como não houve necessidade de se trabalhar com as imagens de satélites inteiras, as mesmas foram recortadas com a ajuda de um arquivo importado no programa Spring chamado shapefile, um formato de armazenamento de dados de vetor da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) para armazenar a posição, forma e atributos de feições geográficas. Este arquivo possui a área e os limites da bacia do rio Moxotó e foi utilizado para recortar os mosaicos de cada ano.

4.3.2 Operações de contraste de imagem

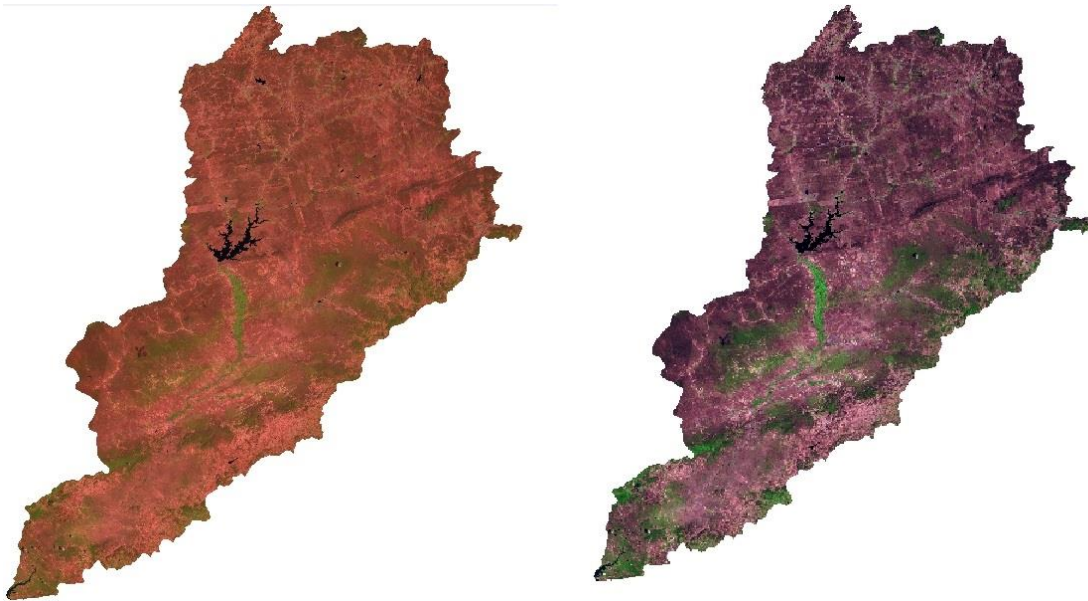
Após o recorte dos mosaicos de todos os anos, foi realizado uma aplicação de correção radiométrica nas bandas espectrais de cada recorte. Para isso utilizou-se a operação de contraste Mínimo e Máximo do SPRING 5.3, ou seja, aplicaram-se separadamente nos valores máximo e mínimo do histograma nos canais R, G e B.

Conforme Silva (2009) no SPRING existe 08 operações de contraste de imagem: Mínimo/Máximo, Linear, Raiz Quadrada, Quadrado, Logaritmo, Negativo, Equalização de Histograma, Fatiamento e Edição.

O contraste entre dois objetos pode ser definido como a razão entre os seus níveis de cinza médios. A manipulação do contraste consiste numa transferência radiométrica em cada "pixel", com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Realiza-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança. Esta transferência radiométrica é realizada com ajuda de histogramas das imagens (INPE/DPI, 2003b).

A análise do nível de cinza do pixel de uma banda é útil para trabalhos que envolvam estudos do comportamento espectral dos alvos, nas várias bandas dos satélites de sensoriamento remoto (SILVA, 2009). Na figura abaixo mostra o exemplo da utilização da operação de Mínimo/Máximo no pré-processamento das imagens.

Figura 10 – Composição colorida em R5G4B3 – Imagens do sensor TM/LANDSAT 5 do ano de 2009 respectivamente com correção radiométrica.

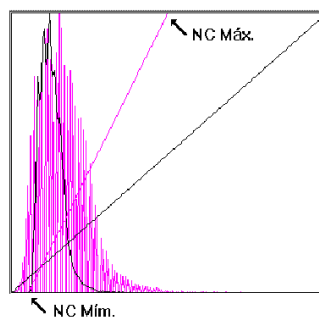


Fonte: Autora, 2015.

4.3.3 Operação de contraste Mínimo e Máximo

O sistema calcula o valor de nível de cinza mínimo e máximo que é ocupado pela imagem original. De posse desses valores é aplicada uma transformação linear onde a base da reta é posicionada no valor mínimo e o topo da reta no valor máximo. Desse modo não haverá perda de informação por "overflow", isto é, todos os níveis de cinza continuarão com o mesmo número de pixels (INPE/DPI, 2003b).

Figura 11 – Histograma Mínimo/Máximo.



Fonte: INPE/DPI, 2003b.

Um "overflow" ocorre quando uma porção pixels de níveis de cinza diferentes são transformados em um único nível, isto é, quando a inclinação da reta de transferência é exagerada (INPE/DPI, 2003b).

4.3.4 Classificação e pós-classificação das imagens

Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos e são utilizados em Sensoriamento Remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse (INPE/DPI, 2003b).

Para Santos et al (2010) a classificação é o processo de designar pixels às classes. Frequentemente estabelecidas, cada pixel é tratado como uma unidade individual composta de valores em várias bandas espectrais.

Agrupam-se, por meio da comparação de um pixel a outros pixels de identidade conhecida, os pixels cujas reflectâncias espectrais são semelhantes em classes mais ou menos homogêneas. E, então, as classes “[...] formam regiões sobre um mapa ou imagem de forma que, após a classificação, a imagem digital seja apresentada como um mosaico de parcelas uniformes, em que cada uma é identificada por uma cor ou símbolo” (SANTOS et al, 2010).

Mather apud Verona (2003) esclarece que “os algoritmos de classificação são basicamente desenvolvidos com o objetivo de atribuir aos pixels da imagem um rótulo que descreve um objeto do mundo real”.

Com todas as imagens em contraste Min/Max para uma melhor visibilidade iniciou-se o primeiro passo do processo de classificação multiespectral, o treinamento.

Treinamento é o reconhecimento da assinatura espectral das classes. Existem basicamente duas formas de treinamento: supervisionado e não supervisionado (INPE/DPI, 2003b). E o utilizado nas imagens foi o treinamento supervisionado, pois quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, o treinamento é chamado de supervisionado.

Para um treinamento supervisionado o usuário identifica na imagem uma área representativa de cada classe e para o presente estudo. É necessária que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, porém ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza. Sugere-se que o usuário adquira mais de uma área de treinamento, utilizando o maior número de informações disponíveis, como trabalhos de campo, mapas, etc.

Santos et al (2010) afirma que essas zonas específicas “são denominadas de áreas de treinamento porque as suas características espectrais conhecidas são usadas para “treinar” o algoritmo de classificação para o mapeamento das feições presentes no restante da imagem”.

Adquiriram-se amostras das classes de água correspondente à cor azul, vegetação à cor verde e solo exposto à cor amarela para todas as imagens de todos os anos. Salientando que na

imagem de 2015 foram adquiridas amostras para dois tipos de solo exposto, a primeira na cor amarela e a segunda na laranja para uma melhor visualização da imagem.

São necessários de 10 a 100 "pixels" de treinamento por classe para a obtenção de classes estatisticamente confiáveis. No treinamento das imagens deste estudo foram utilizados pixels acima de 30. Logo após, um contexto foi criado para cada imagem com o nome "clas_mos_2009", por exemplo, e nas outras imagens com seus respectivos anos.

Na classificação, logo após o treinamento, foram usados atributos tais como a máxima verossimilhança (MAXVER), um tipo de classificador que segundo o INPE/DPI (2003b), é o método de classificação que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento. Para duas classes (1 e 2) com distribuição de probabilidade distintas, as distribuições representam a probabilidade de um "pixel" pertencer a uma ou outra classe, dependendo da posição do "pixel" em relação a esta distribuição. Ocorre uma região onde as duas curvas sobrepõem-se, indicando que um determinado "pixel" tem igual probabilidade de pertencer às duas classes (INPE/DPI 2003b). Para esta situação se estabelece um critério de decisão por meio de definições limiares.

Ainda segundo o INPE/DPI (2003b), o limiar de aceitação indica a % de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a esta classe.

O limite de aceitação nas imagens classificadas do estudo foi de 99% significando, por exemplo, que foi englobado 99% dos "pixels" e o 1% restante foi ignorado, ou seja, tendo a possibilidade de alguns "pixels" terem sido introduzidos nesta classe durante o treinamento por engano, ou estarem no limite entre duas classes.

Para diminuir a confusão entre as classes, ou seja, reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes aconselha-se a aquisição de amostras significativas de alvos distintos e a avaliação da matriz de classificação das amostras.

A matriz de classificação apresenta a distribuição de porcentagem de "pixels" classificados correta e erroneamente (INPE/DPI 2003b).

Logo após a classificação, as imagens foram pós-classificadas que conforme o INPE/DPI (2003b) este procedimento é aplicado a uma imagem classificada com o objetivo de uniformizar os temas, ou seja, eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança. Com isto, gera-se uma imagem classificada com aparência menos ruidosa.

4.3.5 Mapeamento

O mapeamento é a última etapa da classificação, passo em que é definido para o sistema o que corresponde a cada classe temática contida no mapa que conforme Santos et al (2010) “significa associar as classes temáticas o significado real encontrado no campo” que no presente estudo foram definidas previamente no banco de dados criado no programa SPRING como classes de solo exposto, vegetação e água.

Posteriormente, as áreas temáticas foram calculadas em hectares (ha) para cada classe representada na imagem da bacia do Rio Moxotó, gerando assim dados para aquisição dos resultados. O mesmo procedimento foi realizado em todas as imagens trabalhadas.

Com a aquisição destes dados foi criada uma tabela no programa Excel, juntamente com os dados censitários de precipitação dos municípios pertencentes à bacia e dos dados de volume dos reservatórios da bacia. As análises da vulnerabilidade da bacia do Rio Moxotó as mudanças climáticas considerou todos os resultados adquiridos através do mapeamento das imagens e dos dados censitários obtidos.

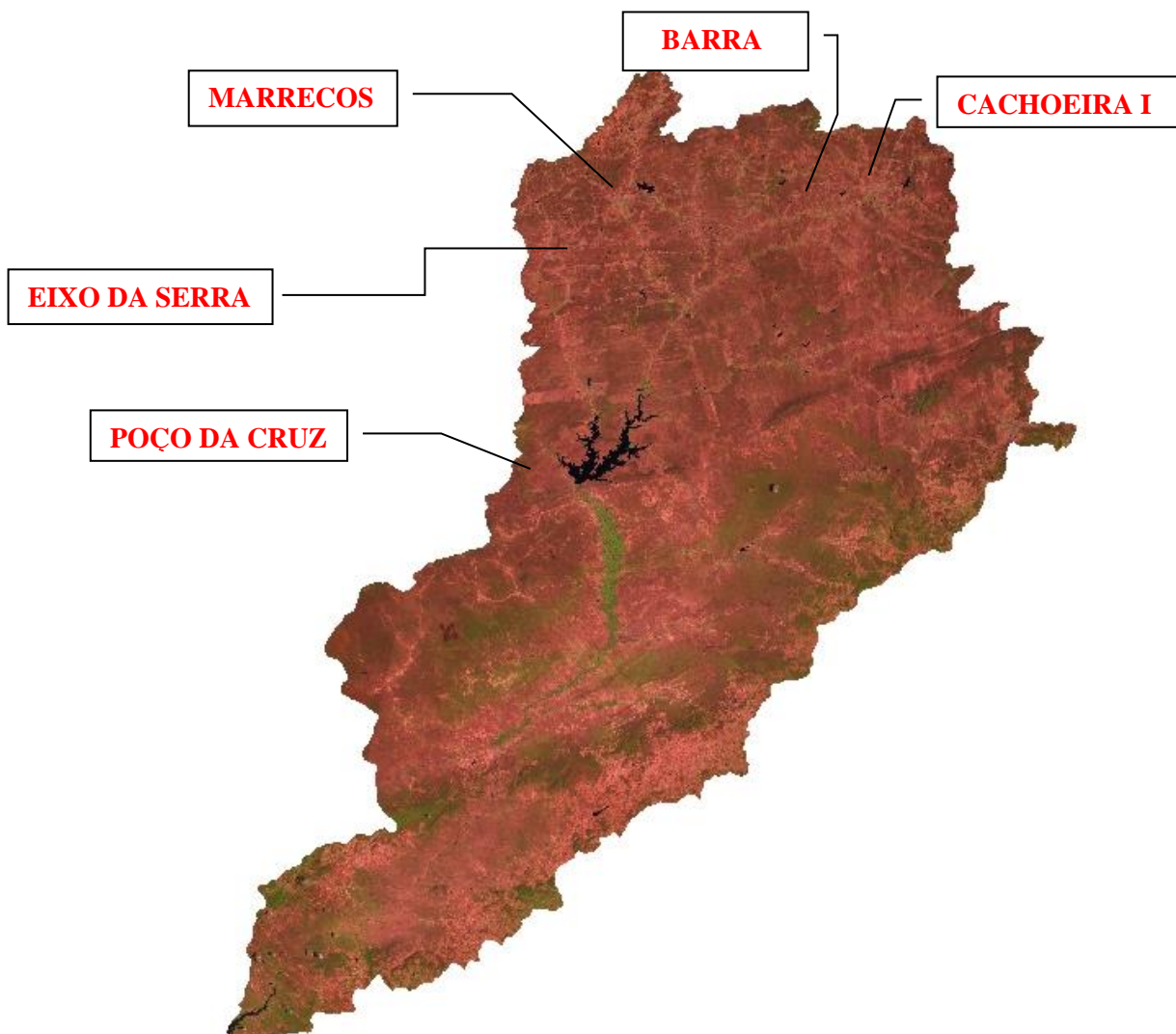
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados e discussões a seguir, os processos de georeferenciamento das imagens elaborados no presente estudo serão apresentados com mais detalhes.

5.1 Dados dos reservatórios da bacia do Rio Moxotó

Os reservatórios da Bacia do Rio Moxotó analisados no presente estudo foram os de Barra, Cachoeira I, Marrecos e Poço da Cruz (Figura 12). Vale salientar que o reservatório Eixo da Serra pertencente também à bacia, não foi analisado por falta de dados nos órgãos fornecedores.

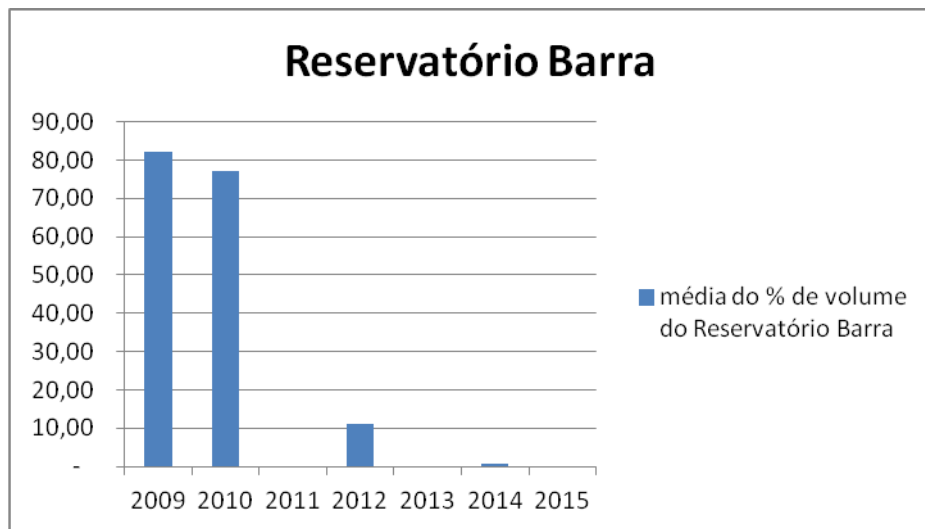
Figura 12 - Recorte da bacia hidrográfica do Rio Moxotó com seus reservatórios.



Fonte: Autora, 2018.

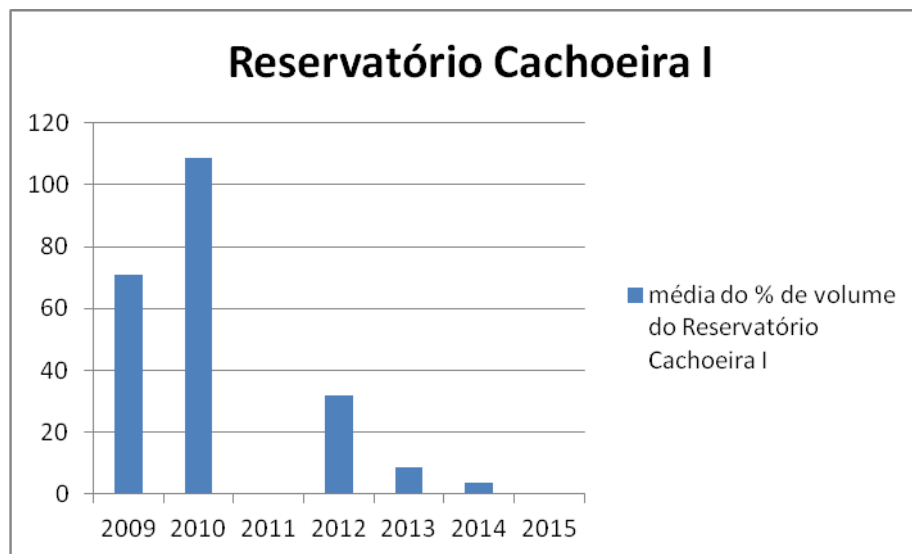
Os gráficos 1, 2, 3 e 4 e a tabela 10 mostram os resultados relativos aos volumes de cada reservatório pertencente à Bacia do Rio Moxotó ao longo dos anos estudados. Lembrando que alguns dados não foram coletados pelas empresas responsáveis por isso à defasagem em alguns anos.

Gráfico 1 - Média dos volumes relativos referentes ao reservatório Barra no período de 2009 a 2015.



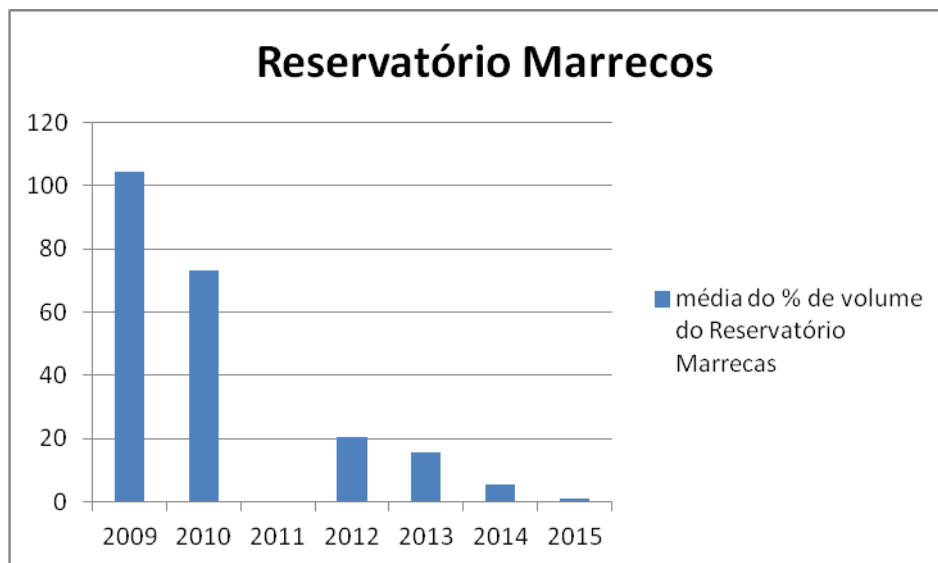
Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 2 - Média dos volumes relativos referentes ao reservatório Cachoeira I no período de 2009 a 2015.



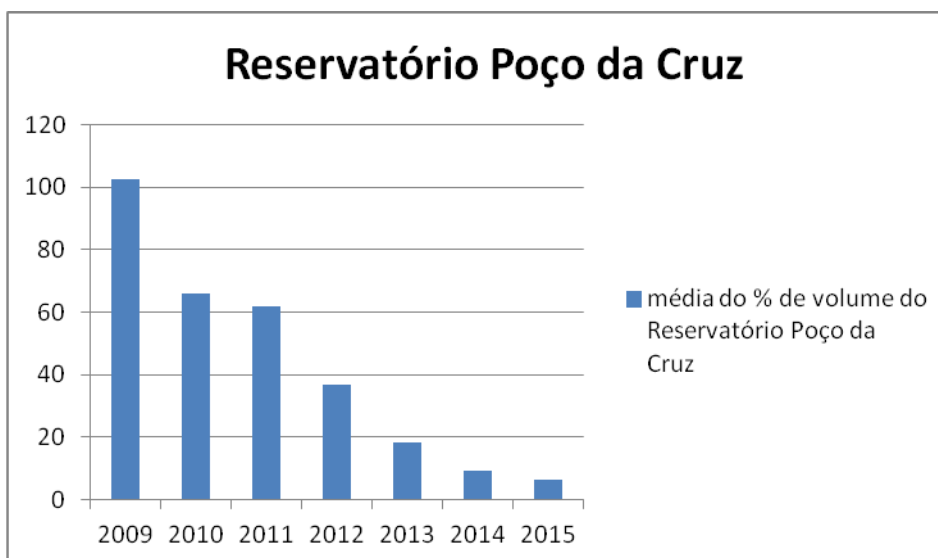
Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 3 - Média dos volumes relativos referentes ao reservatório Marrecos no período de 2009 a 2015.



Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 4 - Média dos volumes relativos referentes ao reservatório Poço da Cruz no período de 2009 a 2015.



Fonte: Autora, 2015.

Tabela 1 - Volumes em percentuais dos reservatórios da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó no período de 2009 a 2015.

| Ano | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|--------------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|
| Barra | 82,21 | 77,19 | - | 11,23 | - | 0,56 | - |
| Cachoeira | 70,76 | 108,57 | - | 31,71 | 8,87 | 3,87 | - |
| Marrecos | 104,27 | 73,08 | - | 20,33 | 15,43 | 5,42 | 0,93 |
| Poço da Cruz | 102,79 | 65,95 | 61,72 | 36,73 | 18,22 | 9,47 | 6,37 |
| Média | 90,01 | 81,19 | 61,72 | 25 | 14,17 | 4,83 | 3,65 |

Fonte: Autora, 2015.

Levando em consideração os dados apresentados acima, mesmo com defasagem em alguns anos e meses, pode-se observar o declínio no volume de água dos reservatórios nos anos de 2009 a 2015 e a escassez da água no ano de 2015 nos reservatórios Barra e Cachoeira I. Os reservatórios Marrecos e Engenho Saboia por apresentarem maior capacidade de volume de água, principalmente o Engenho Saboia com 504.000 m³, mesmo com o declínio ainda apresentam volume de água com 0,93% e 6,37% no ano de 2015, respectivamente.

Este declínio comprova o período de seca ocorrido no sertão nordestino que começou no início de 2012, segundo pesquisas, e foi a pior dos últimos 30 anos.

5.2 Dados de pluviometria dos municípios pertencentes à bacia do Rio Moxotó

Os gráficos apresentados abaixo mostram dados de pluviometria referentes aos municípios inseridos na bacia do Rio Moxotó que possuem Plataforma de Coleta de Dados (PCD). São eles e seus postos de coleta:

- Ibimirim: IPA, Poço da Cruz e PCD;
- Tacarutu: IPA;
- Arcoverde: INMEP, Arcoverde e PCD;
- Inajá: CHESF;
- Sertânia: Moderna, IPA, IPA-CEDOCA, Henrique Dias, Pernambucozinho e Albuquerque Né.

Gráfico 5 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2009.



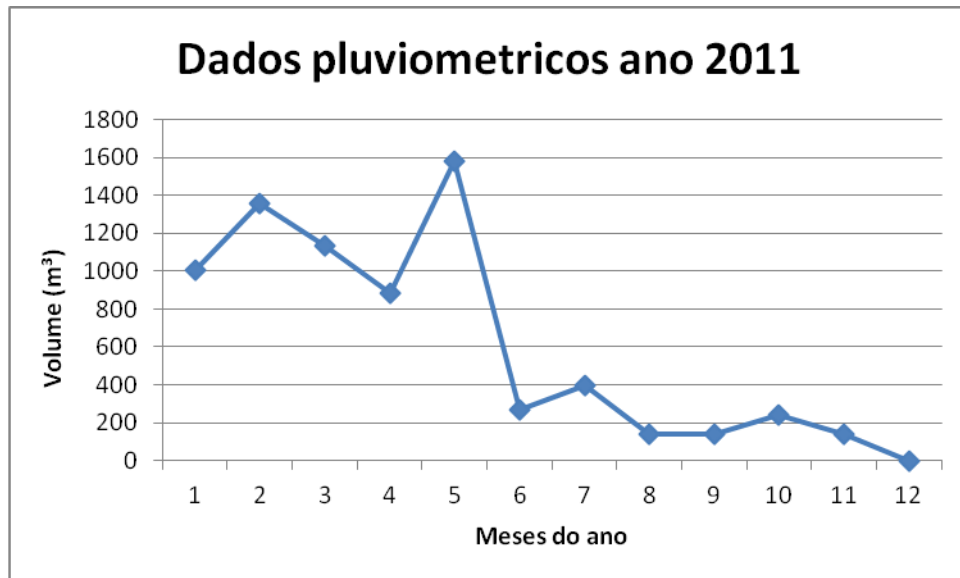
Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 6 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2010.



Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 7 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2011.



Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 8 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2012.



Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 9 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2013.



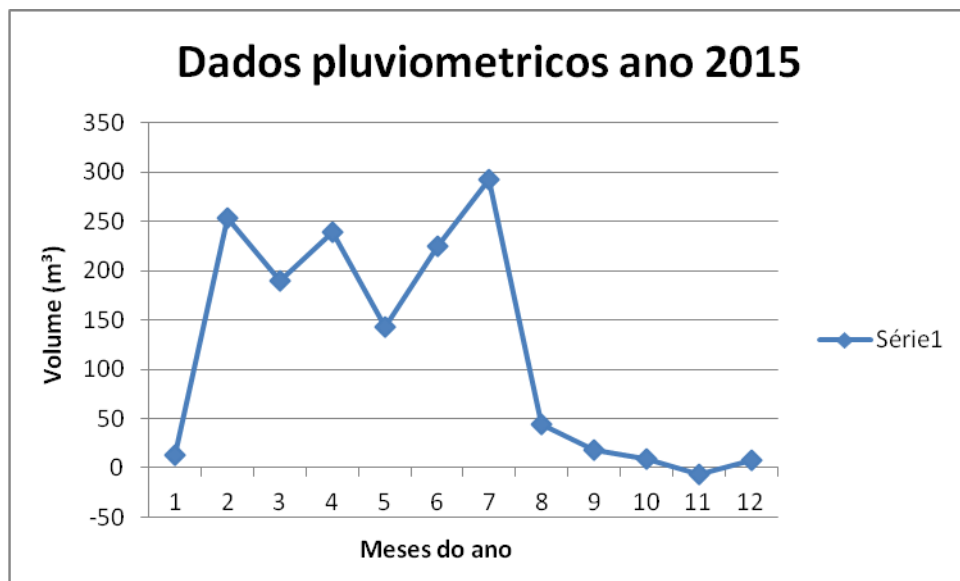
Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 10 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2014.



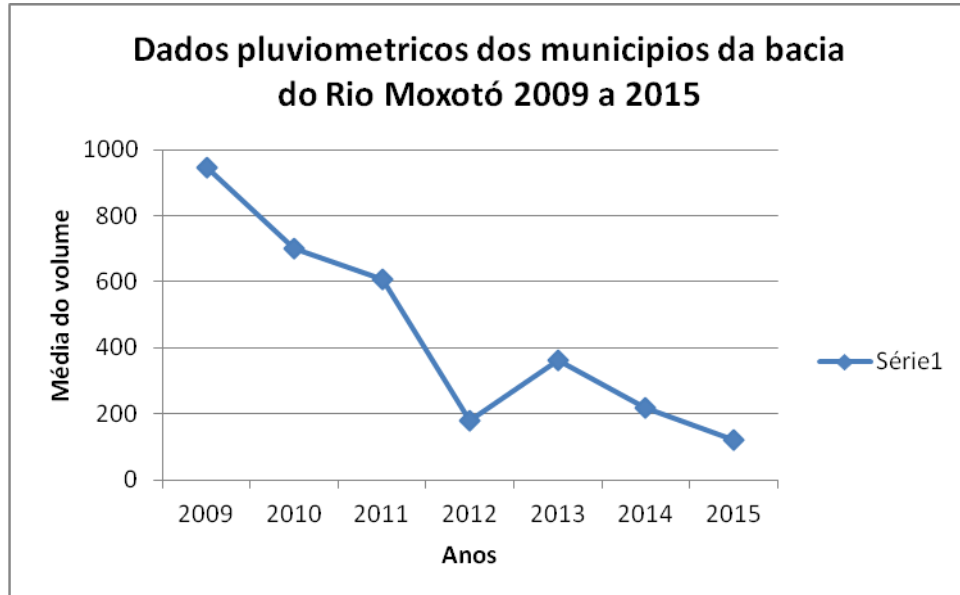
Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 11 - Dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó do ano de 2015.



Fonte: Autora, 2015.

Gráfico 12 – Média dos dados pluviométricos dos municípios pertencentes à Bacia Moxotó dos anos estudados.



Fonte: Autora, 2015.

Pode-se observar nos gráficos acima a grande variação pluviométrica que ocorreu na área onde esta localizada a bacia do rio Moxotó e o declínio no volume de chuvas de 2009 para 2015. Em 2009 o volume de chuvas deu uma média de 945,1 e continuou em declínio, porém em 2013 choveu um pouco mais que 2012, subindo a média para 361,4, mas foi caindo novamente e chegou em 2015 com 118,9 como mostra o Gráfico 12. Sabendo-se que existe irregularidade no regime de chuvas, pois como afirma Pedrosa et al (1998), na bacia em estudo as alturas de chuvas médias anuais variam de 500 a 1.100 mm, com uma grande irregularidade no regime interanual.

As chuvas são mal distribuídas ao longo do ano, em função de uma curta estação chuvosa, geralmente entre março e julho, e um extenso período com poucas chuvas, nos meses restantes do ano. De um modo geral, chove em média, cerca de 80 dias por ano; o período chuvoso (inverno) vai de março a agosto, representando cerca de 75% da chuva anual. Pode-se observar nos gráficos pluviométricos de cada ano estudado, justamente um incide maior de chuva ocorrendo nestes meses.

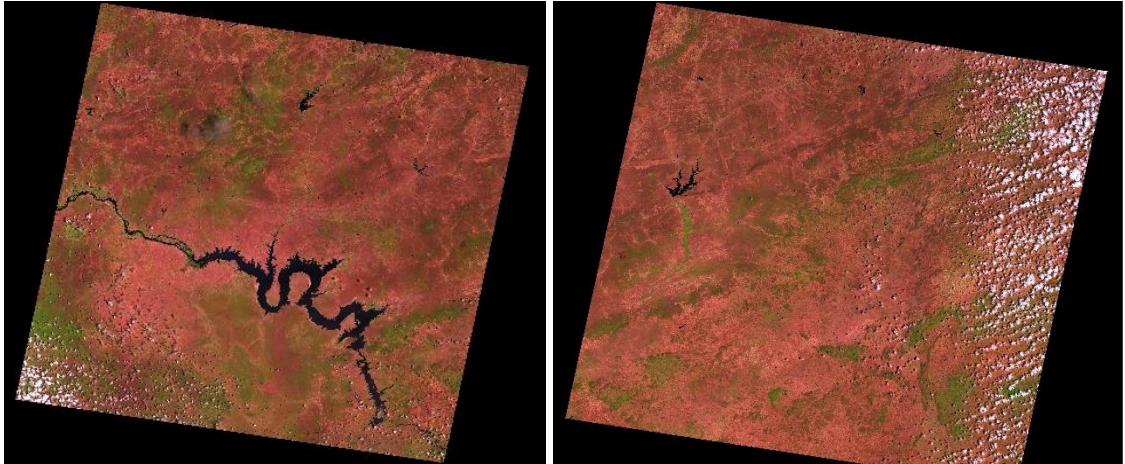
Durante o resto do ano (verão), as chuvas são esporádicas e incertas, com vários dias apresentando ausência total de chuvas. Isto acontece pelo fato desta área receber pouca influencia de massas de ar úmidas e frias oriundas do sul, já que durante muito tempo permanece no sertão nordestino uma massa de ar quente e seca, não ocasionando precipitações pluviométricas, ou seja, chuvas.

5.3 Aquisição e tratamento das imagens

As figuras abaixo mostram as imagens que receberam o tratamento e processamento digital através do software Spring 5.3 com as órbitas 215/66 e 216/66 dos anos de 2009, 2010, 2011, 2013, 2014 e 2015 nas bandas espectrais 3, 4, 5 com suas cores aditivas R5, G4, B3 sem tratamento. E a partir delas podem-se ver claramente as mudanças na área da bacia do Rio Moxotó ao longo dos anos estudados.

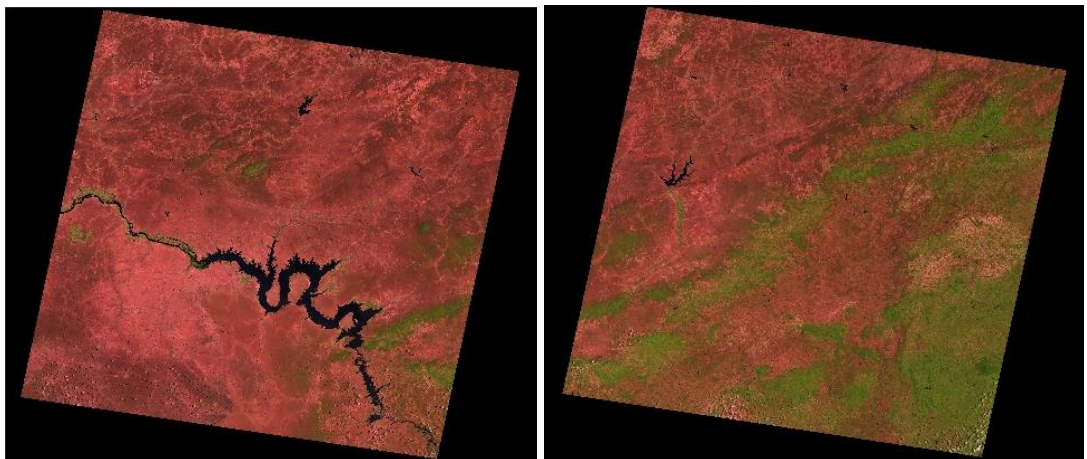
5.3.1 Imagens do satélite LANDSAT com cenas 215 e 216 e órbita 66

Figura 13 - Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2009.



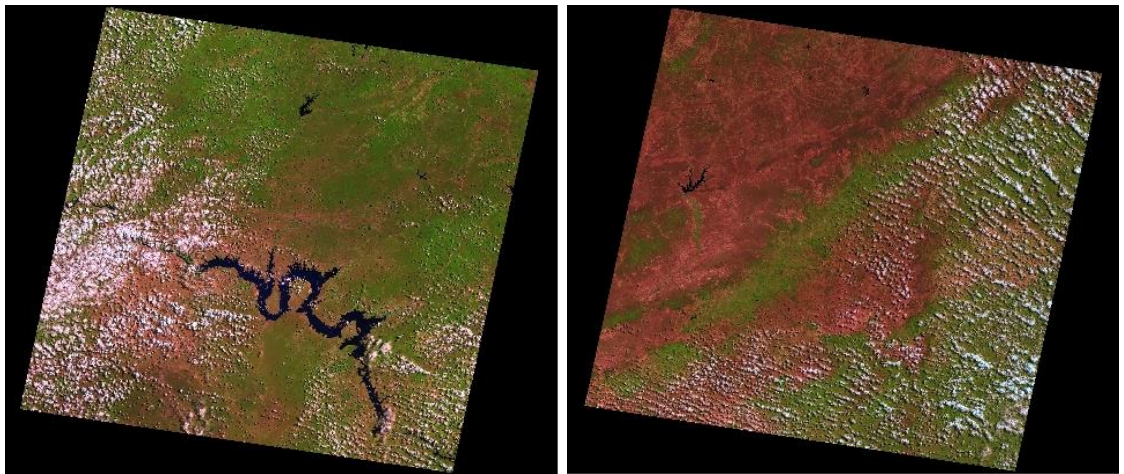
Fonte: Autora, 2015.

Figuras 14 – Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2010.



Fonte: Autora, 2015

Figura 15 – Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2011.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 16 – Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2013.



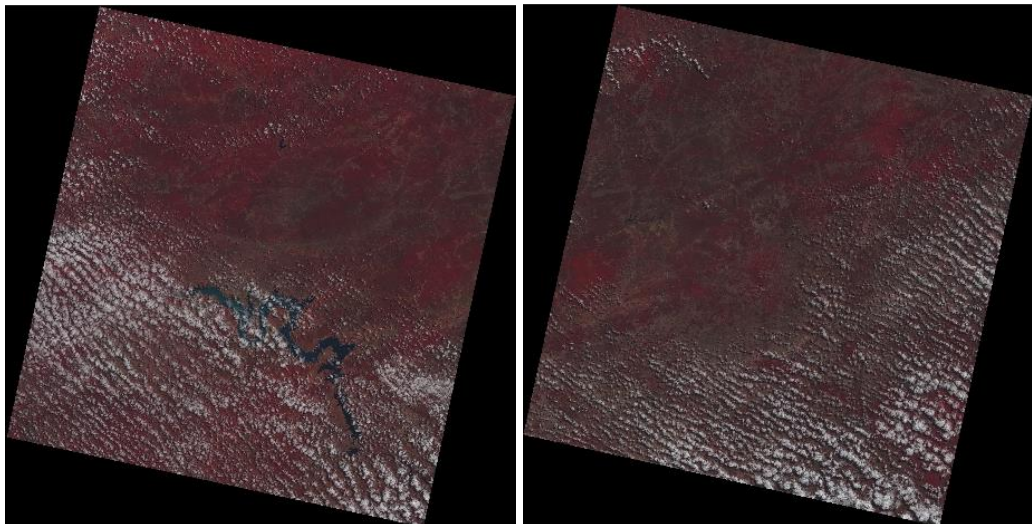
Fonte: Autora, 2015.

Figura 17 – Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2014.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 18 – Imagens das cenas 216/66 e 215/66, respectivamente, com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2015.

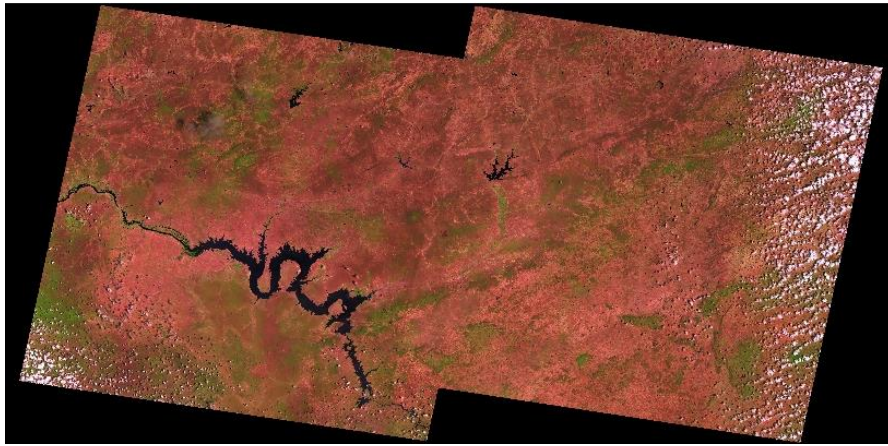


Fonte: Autora, 2015.

5.3.2 Mosaicos

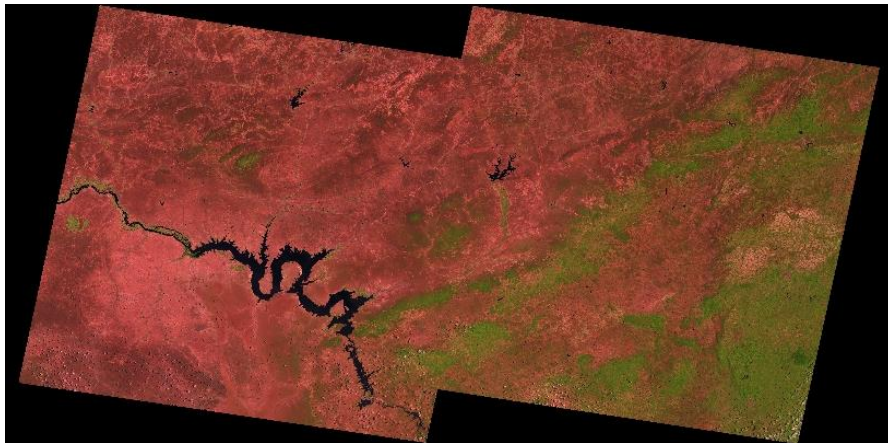
Levando em consideração as imagens acima, foi realizado o primeiro tratamento no programa SPRING chamado Mosaico, tratamento este que consiste em juntar cenas de órbitas diferentes com a finalidade de adquirir uma área a ser estudada.

Figura 19 – Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2009.



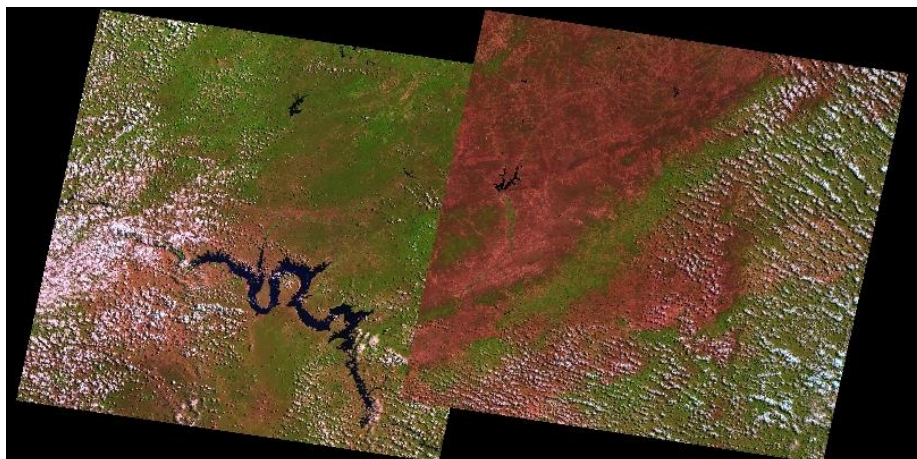
Fonte: Autora, 2015.

Figura 20 – Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2010.



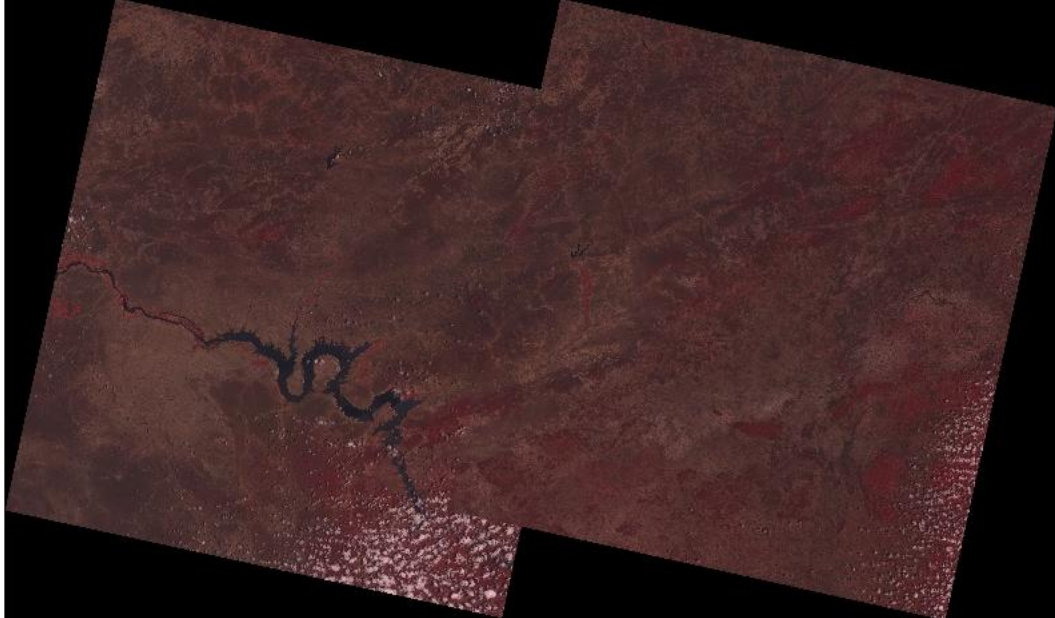
Fonte: Autora, 2015.

Figura 21 – Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2011.



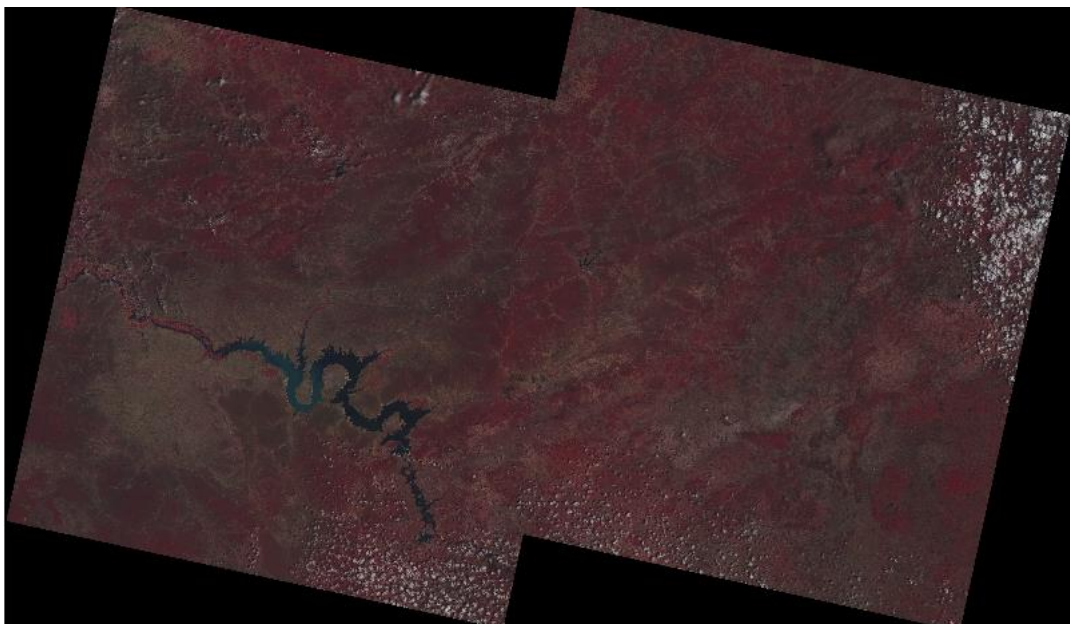
Fonte: Autora, 2015.

Figura 22 – Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2013.



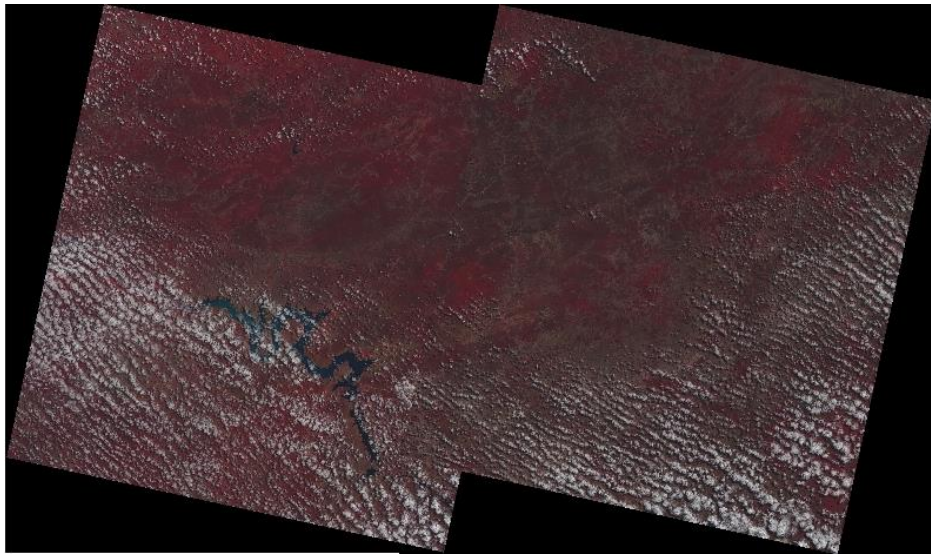
Fonte: Autora, 2015.

Figura 23 – Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2014.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 24 – Mosaico com a junção das cenas 216/215 com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2015.



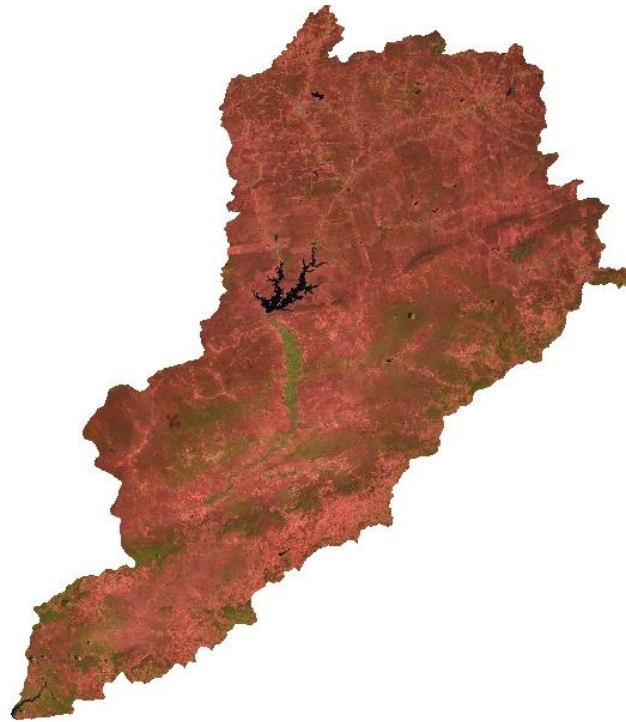
Fonte: Autora, 2015.

Com os mosaicos feitos, pode-se observar a área total estudada, como a cobertura vegetal, hidrografia (reservatórios e açudes) e solos. A junção das cenas nos proporciona uma melhor visualização da área de estudo.

5.3.3 Recorte da área da bacia do Rio Moxotó

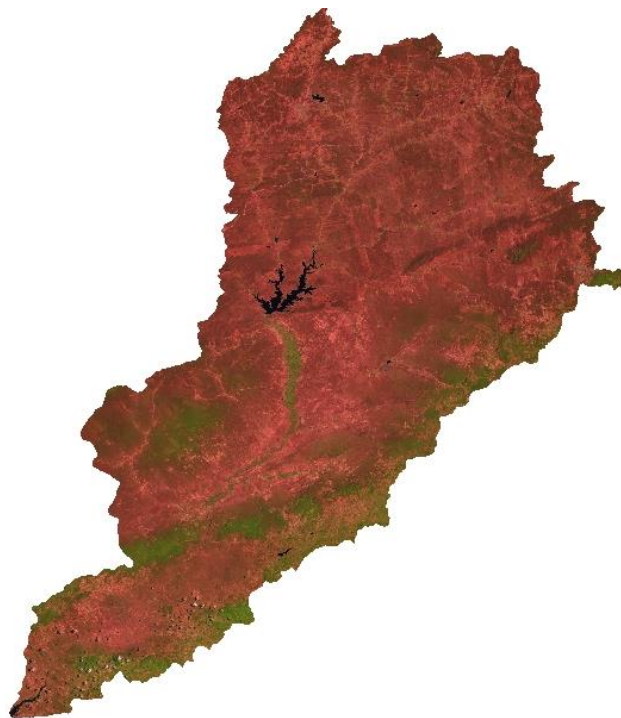
No tratamento seguinte aos mosaicos foi feito o recorte da área total da Bacia do Rio Moxotó nos mesmos, com o objetivo de delimitar somente a área específica da bacia para melhor ser estudada. Nas imagens abaixo serão apresentados os recortes.

Figura 25 – Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2009 para a Bacia do Rio Moxotó.



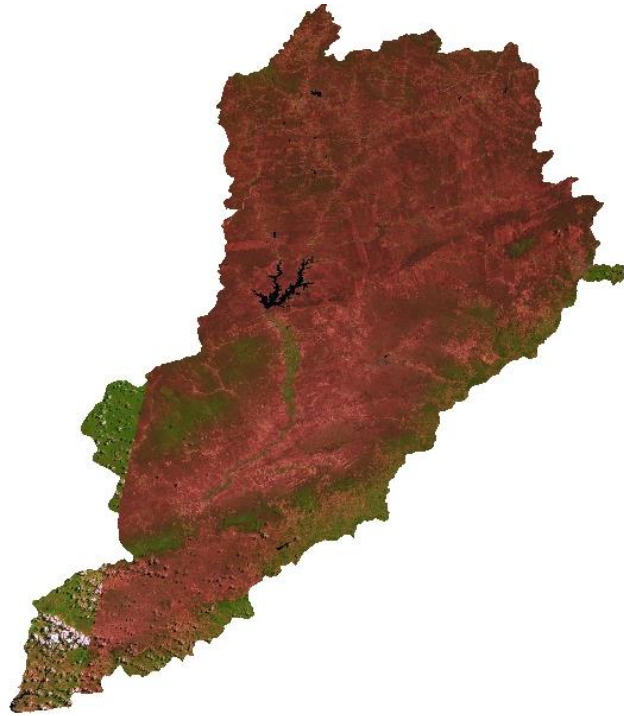
Fonte: Autora, 2015.

Figura 26 – Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2010 para a Bacia do Rio Moxotó.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 27 – Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2011 para a Bacia do Rio Moxotó.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 28 – Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2013 para a Bacia do Rio Moxotó.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 29 – Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2014 para a Bacia do Rio Moxotó.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 30 – Recorte do mosaico com bandas nas cores aditivas R3, G4, B5 sem tratamento do ano de 2015 para a Bacia do Rio Moxotó.

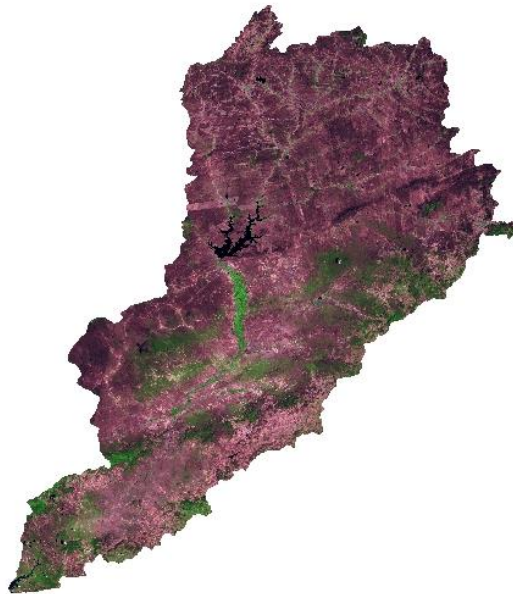


Fonte: Autora, 2015.

5.3.4 Contraste com Operação Mínimo e Máximo

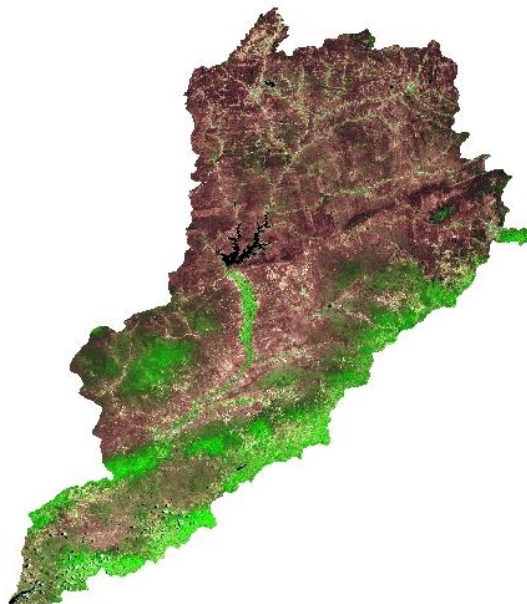
Para melhorar a visualização da bacia do Rio Moxotó no processo de classificação das imagens, aplicou-se nas bandas espectrais uma correção radiométrica. As Figuras abaixo mostram os recortes da área da bacia com o contraste Min/Max.

Figura 31 – Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2009 para a Bacia do Rio Moxotó.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 32 – Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2010 para a Bacia do Rio Moxotó.



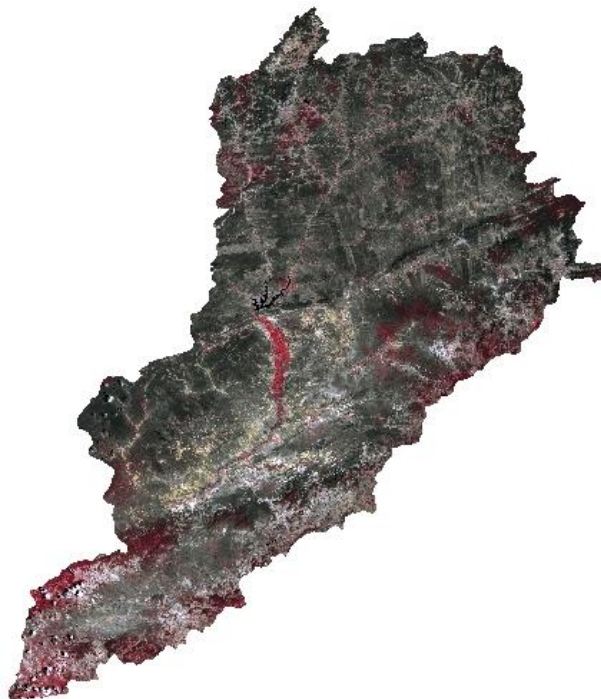
Fonte: Autora, 2015.

Figura 33 – Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2011 para a Bacia do Rio Moxotó.



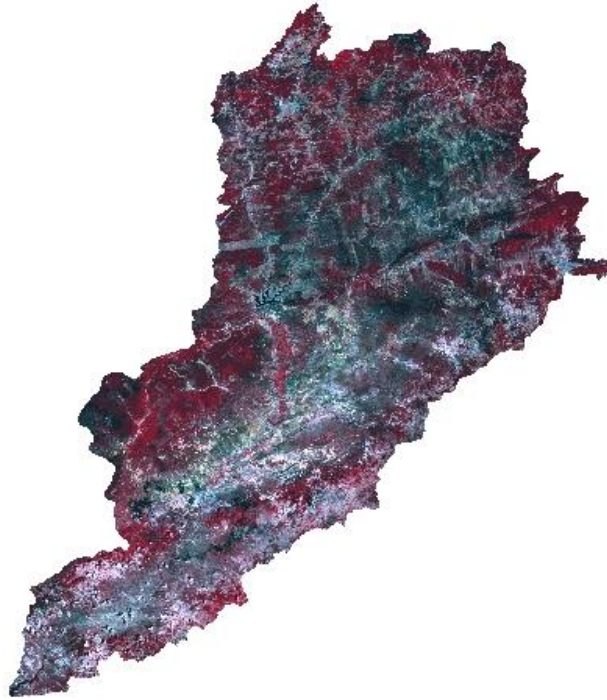
Fonte: Autora, 2015.

Figura 34 – Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2013 para a Bacia do Rio Moxotó.



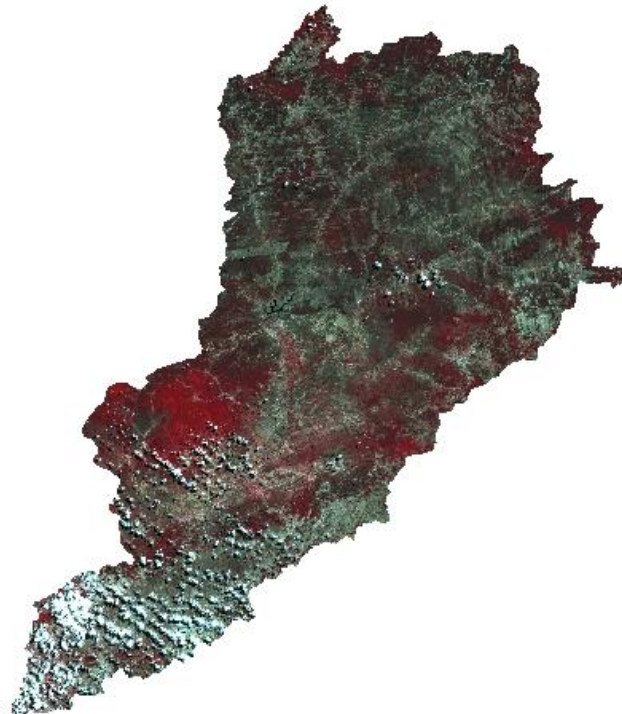
Fonte: Autora, 2015.

Figura 35 – Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2014 para a Bacia do Rio Moxotó.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 36 – Recorte do mosaico com contraste Min/Max do ano de 2015 para a Bacia do Rio Moxotó.



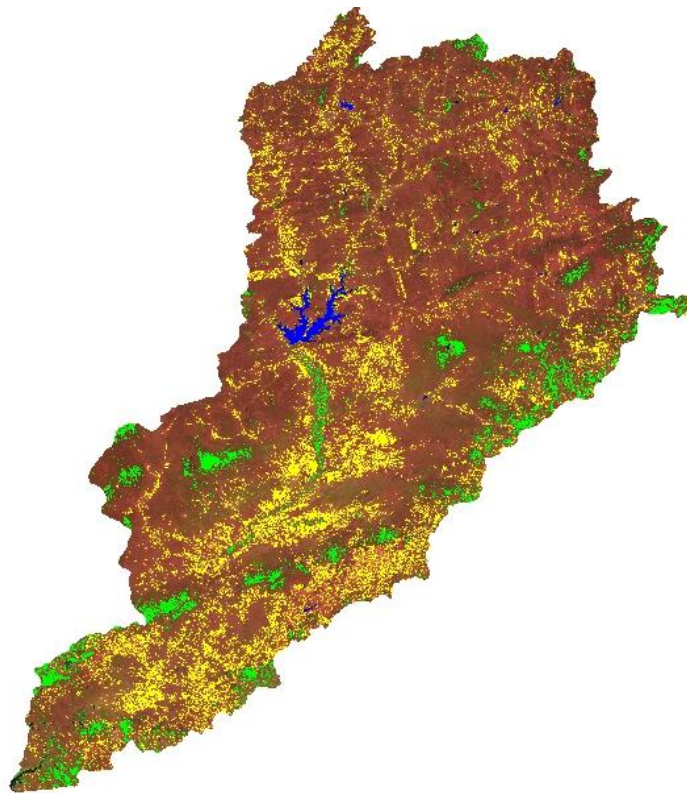
Fonte: Autora, 2015.

5.3.5 Recorte com classificação supervisionada

As Figuras abaixo mostram os resultados obtidos no processo de classificação, no qual foi possível analisar a distribuição espacial, bem como, quantificar as classes utilizadas na área de estudo (água, vegetação e solo exposto). A representação das classes nas imagens é observada por cores, na qual as figuras 36, 37, 38 e 40 mostram as cores Azul, Verde e Amarelo para suas respectivas classes Água, Vegetação e Solo_exposto.

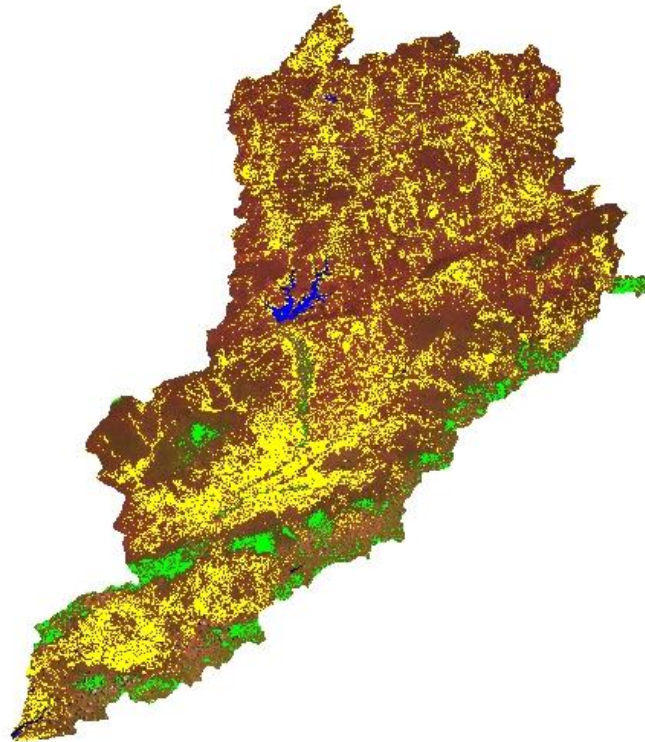
Nas imagens 39 e 41 foram adicionadas mais classes e conseqüentemente mais cores, por causa da dificuldade em identificar as classes nas imagens trabalhadas no processo de adquirir amostras para a classificação. Para a figura 39 as classes utilizadas foram Água, Vegetação, Vegetação1, Solo_exposto, Solo_exposto2 e Solo_exposto3 com suas respectivas cores Azul, Verde, Azul tiffany, Vermelho, Roxo e Verde escuro. Já para a Figura 41 as classes foram Água, Vegetação, Solo_exposto e Solo_exposto1 com suas respectivas cores Azul, Verde, Amarelo e Laranja.

Figura 37 – Classificação supervisionada no recorte do ano 2009 para a Bacia do Rio Moxotó.



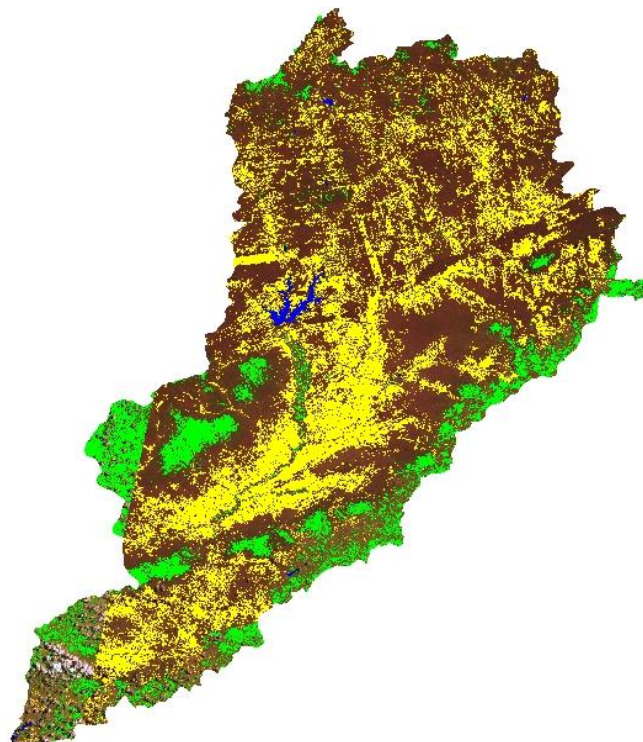
Fonte: Autora, 2015.

Figura 38 – Classificação supervisionada no recorte do ano 2010 para a Bacia do Rio Moxotó.



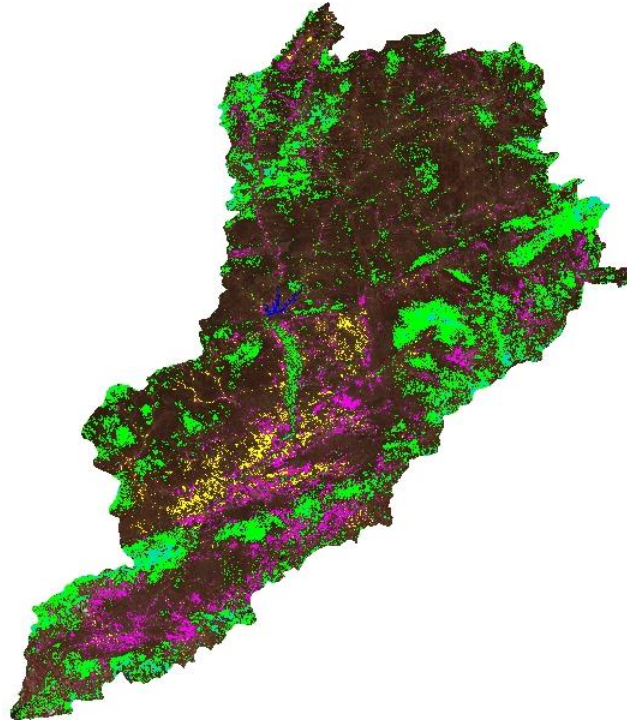
Fonte: Autora, 2015.

Figura 39 – Classificação supervisionada no recorte do ano 2011 para a Bacia do Rio Moxotó.



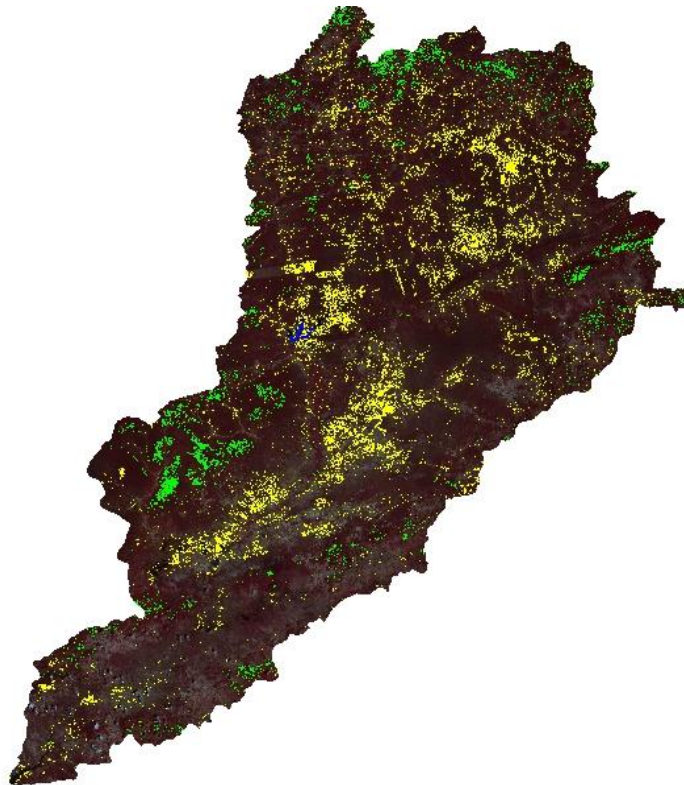
Fonte: Autora, 2018.

Figura 40 – Classificação supervisionada no recorte do ano 2013 para a Bacia do Rio Moxotó.



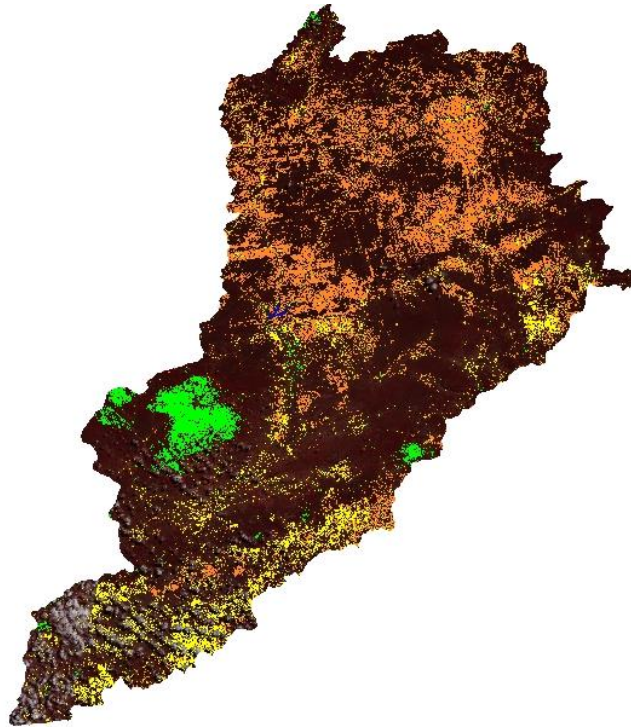
Fonte: Autora, 2015.

Figura 41 – Classificação supervisionada no recorte do ano 2014 para a Bacia do Rio Moxotó.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 42 – Classificação supervisionada no recorte do ano 2015 para a Bacia do Rio Moxotó.



Fonte: Autora, 2015.

O processo de classificação, juntamente com a pós-classificação e o mapeamento nas imagens gerou dados, chamados de medidas de classe que quantificou as classes (Água, Vegetação e Solo_exposto) na área da bacia.

Tabela 2 – Medidas de classe calculadas no SPRING do ano 2009.

| Geo-classe | Área (ha) |
|--------------|---------------|
| Vegetação | 35825.040000 |
| Água | 4670.550000 |
| Solo exposto | 105301.440000 |

Fonte: Autora, 2018.

Com estes dados e os dados de precipitação e volume dos reservatórios foi criada a tabela abaixo, na qual pode-se visualizar de forma geral os resultados do presente estudo.

Lembrando que as Figuras 36, 37, 38, 39, 40 e 41 foram analisadas juntamente com a tabela 11.

Tabela 3 – Medidas de classes temáticas, precipitação e volume dos reservatórios da bacia do Rio Moxotó.

| Ano | Água (ha) | Solo exposto (ha) | Vegetação (ha) | Precipitação (mm) | Volume dos reservatórios (%) |
|-------------|------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 2009 | 4.670,55 | 105.292,17 | 35.825,04 | 945,12 | 90,01 |
| 2010 | 4.393,44 | 102.685,59 | 19.464,57 | 702,40 | 81,19 |
| 2011 | 3.598,92 | 245.950,02 | 79.047,45 | 606,90 | 61,72 |
| 2012 | - | - | - | 180,24 | 25 |
| 2013 | 810,81 | 48.870,54 | 161.306,63 | 361,47 | 14,17 |
| 2014 | 501,12 | 52.047,90 | 20.372,49 | 217,26 | 4,83 |
| 2015 | 319,77 | 177.120,36 | 3.940,83 | 118,96 | 3,65 |

Fonte: Autora, 2018.

Conforme os dados acima pode-se visualizar claramente a diminuição da área, onde a Água (açudes e reservatórios) ocupa na bacia do Moxotó, sendo em 2009 uma área de 4.670,55 ha e em 2015 cai para 319,77 ha. Comparado com os dados de precipitação e volume dos reservatórios, este declínio da água pode ser comprovado.

Em uma análise de ano em ano, pode-se observar que no ano 2009 a precipitação deu um valor regular de 945, 12 mm comparado à média anual de chuvas que é de 1.100 mm na região. No mesmo ano, comparando o solo exposto com a vegetação, o solo exposto deu um valor maior, pois o mês das cenas utilizadas no processamento foi novembro (Tabela 9), época de verão e conforme o Gráfico 5 choveu muito pouco neste mês. O mesmo acontece com o ano 2010 com os meses setembro e outubro das cenas. No ano 2011 se repete o ocorrido, porém o mês das cenas é agosto (inverno) e conforme o gráfico 7 choveu muito pouco neste mês, aumentando o valor do solo exposto. Em 2012 não foi colocado os dados das classes (água, solo exposto e vegetação) por falta da imagem LANDSAT nos órgãos responsáveis, porém o dado de precipitação mostra o quanto choveu pouco neste ano.

Já no ano 2013 houve um aumento na vegetação comparado ao solo exposto, este aumento se deu por conta do aumento de chuvas neste ano comparado ao ano de 2012 e pelo fato de uma das cenas adquirida ser do mês de dezembro, pois conforme o Gráfico 9 choveu bem no mês de dezembro mesmo sendo verão. Isto mostra a irregularidade falada acima da precipitação pluviométrica na região. O ano 2014 mostra novamente o que ocorreu com os anos 2009 e 2010, choveu pouco no mês de janeiro, mês das cenas, conforme o gráfico 10. E

por fim em 2015 com cenas nos meses de maio e junho (inverno), meses que uma chovida, porém abaixo da média prevista, deixando assim os valores de solo exposto mais altos do que de vegetação.

Vale ressaltar que a diferença nos valores em hectares de solo exposto e vegetação entre um ano e outro, se dá em função dos períodos de seca que provoca grande variação na paisagem da Caatinga, como também o fato das imagens que foram estudadas terem sido adquiridas em meses diferentes e de que o processo de classificação supervisionada para cada ano foi diferente, ou seja, foram adquiridas quantidades diferentes de amostras das classes (água, vegetação e solo exposto) em cada imagem.

O fato da bacia do Moxotó esta inserida em uma região semiárida de Caatinga é uma das principais causas destes resultados no presente estudo, pois a região apresenta altas temperaturas, longos períodos de estiagem (seca), onde as chuvas são escassas e mal distribuídas, como a seca de 2012 a 2015 que segundo Marengo et al (2016) é considerada a pior nas últimas décadas. Além destes fatores, a demanda de pessoas para uso de água, no abastecimento de água para a população, agricultura e pecuária, como também a exploração agrícola na região semiárida com sistemas irrigados que causam a degradação do solo da Caatinga e a desertificação, devido às atividades agropastoris extensivas, integrada com a substituição da vegetação nativa por culturas, no qual usam de meios como o desmatamento e queimadas. Todos estes fatores intensificam a degradação da bacia do Moxotó e mostra o quanto ela é vulnerável.

Segundo Freitas (2018) as secas prolongadas no Sertão Nordestino são oriundas, muitas vezes, da elevação da temperatura das águas do Oceano Pacífico, esse aquecimento é denominado pela classe científica de El Niño, nos anos em que esse fenômeno ocorre o Sertão sofre com a intensa seca.

Rebello (2018) afirma que "todos os anos costuma chover alguma coisa na região do semiárido. O problema é que chove tão pouco que, quando chove abaixo da média, acontece à seca. Foi o que ocorreu de 2012 para cá".

A longo prazo, os déficits projetados de chuvas na região, juntamente com o aumento da temperatura e secas mais frequentes e períodos de seca podem exacerbar a degradação ambiental (MARENGO et al, 2016).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto por meio das imagens do satélite LANDSAT 5 e 8, possibilitaram a classificação supervisionada das classes (água, vegetação e solo exposto) na área estudada da bacia do Rio Moxotó no anos de 2009, 2010, 2011, 2013, 2014 e 2015 de forma satisfatória. Como também os dados censitários obtidos pelos órgãos responsáveis que subsidiaram e proporcionaram um monitoramento adequado das transformações sofridas pela bacia do Rio Moxotó.

Os corpos d'água demonstraram uma diminuição ao longo dos anos estudados de 93%, ou seja, só restaram 7% em 2015 do que havia em 2009, juntamente com a precipitação que diminuiu 87% e o volume dos reservatórios diminuindo 86%. A vegetação e o solo exposto apresentaram uma variação prevista pelo fato dos diferentes meses das cenas estudadas.

Desta forma, pode-se concluir que a bacia do Rio Moxotó sofreu muitas alterações ao longo desse tempo, evidenciando claramente a vulnerabilidade da sua área as mudanças climáticas, como o declínio a olho nu observado nas imagens de satélites com a redução das áreas ocupadas por água dos açudes e reservatórios, por exemplo, por conta da restrita presença de chuva na região, como também as grandes áreas de solo exposto, intensificadas pelo fator clima como também pela ação do homem.

Por isso, a necessidade do estudo da vulnerabilidade e dos impactos das potenciais transformações do clima sobre os recursos hídricos como a bacia hidrográfica do Rio Moxotó é um assunto bastante estratégico para a região. Como também a melhora na coleta de dados e organização das informações ajudaria na articulação da preparação para as secas no contexto das áreas de gestão de bacias hidrográficas, tanto a nível estadual quanto federal.

A previsão estacional do clima contribuiria de uma melhor maneira na avaliação da intensidade e extensão da seca no semiárido nordestino, pois assim permitiria conhecer os impactos da variabilidade do clima, identificando vulnerabilidades e permitindo uma melhor tomada de decisão em relação às ações existentes de gerenciamento da bacia do Rio Moxotó.

Assim, por meio das técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento no estudo deste recurso hídrico, a bacia hidrografia, fica evidenciado a possibilidade de monitorar e adquirir informações de áreas vulneráveis da mesma, por sua rapidez e praticidade, visando auxiliar nas ações de políticas públicas para esta região.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, R. T. D. B; GALVÍNCIO, J. D. **Cenários de Mudanças Climáticas na Bacia Hidrográfica do Rio Una – Pernambuco.** Revista Brasileira de Geografia Física 03 p. 48-54, 2010.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Atlas Nordeste - Abastecimento Urbano de Água - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE;** Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – SPR; Brasília – DF; 2006.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação / Agência Nacional de Águas.** Brasília: ANA, GGES, 2016.
- APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima). **Sistema de Geoinformação Hidrometeorológico de Pernambuco.** Governo do Estado de Pernambuco.
- ASNER, G. P. 2001. **Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon.** International Journal of Remote Sensing, 22, 3855-3862.
- AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L. L.; MÉLLO, JÚNIOR, A. V.; PEREIRA, J. G.; ARROBAS, D. L. P.; PEREIRA, L. P., 2005. **Série Águas Brasil 7 – Transferência de Água entre bacias Hidrográficas.** Brasília, DF. Julho, 2005.
- BATISTA, G. T.; ALMEIDA, S. E. **Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** Santos- SP. Setembro, 1998. Anais. São José dos Campos, INPE, (CD-ROM).
- BELFORT, C. F. N. L. A. L; BARBOSA, I. R. B. **Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó em Pernambuco Utilizando Geoprocessamento.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1137.
- BEZERRA, J. M; SILVA, P. C. M. S.; MORAIS, C. T. S. L.; BATISTA, R. O. **Utilização de geotecnologias na determinação de áreas susceptíveis a desertificação no Estado do Rio Grande do Norte.** Revista Brasileira de Geografia Física, n.3, p.543-561, 2011.
- CAMPOS, J. N. B. 1997. **Vulnerabilidades Hidrológicas do semiárido às secas - Planejamento e Políticas Públicas,** Brasília, Dez./1997.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. "**SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**" *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CIRILO, J. A. 2010. **Água e Desenvolvimento: Estudo de Caso do Semiárido Brasileiro – Tese Apresentada para Concurso de Professor Titular**. UFPE - Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, PE, 2010.

CIRILO, J. A. 2008. **Políticas Públicas de Recursos Hídricos para o Semiárido**; São Paulo, 2008.9 Estudos Avançados - DOSSIÊ ÁGUA - Estud. av. vol.22 no.63 São Paulo 2008.

COSTA, S. G. D. 2003. **Irrigação, a Dualidade no Semiárido Nordestino: Desenvolvimento Econômico X Impactos Sócio-ambientais**. II Simpósio Regional de Geografia - “Perspectivas para o Cerrado no Século XXI” - Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Geografia, Novembro de 2003.

DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas). **Projeto Executivo de Drenagem do Rio Moxotó – Projeto Final de Engenharia. Volume I**. Ecoplan – Engenharia, consultoria e planejamento Ltda, 1985.

D’ODORICO, P. BHATTACHAN, A.; DAVIS, K.; RAVI, S.; RUNYAN, C.W. **Advances in water resources**. In. *Global desertification: drivers and feedbacks*, 2012.

EAKIN H.C, LEMOS M.C, NELSON D.R. 2014. **Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation**. *Global Environmental Change* 27:1-8. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937801400079X>. Acesso em: 27 de julho de 2017.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Rede de drenagem da bacia do Rio Motoxó**. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/bhsf/index.php?opcao=moxoto>. Acesso em: 10 de março de 2016.

FREITAS, Eduardo de. "**A Seca no Nordeste**"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-seca-no-nordeste.htm>. Acesso em: 18 de julho de 2018.

FILHO, W. D. C; DEMETRIO, J. G. A; FEITOSA, E. C; FILHO, J. M. **Comportamento das bacias sedimentares da região semiárida do nordeste brasileiro UFPE/CPRM/FINEP. Hidrogeologia da Bacia de Jatobá: Sistema Aquífero Tacaratu/Inajá**. Volume 1 Relatório Diagnostico do Estado da Arte/ Julho – 2005.

GARJULLI, R. 2003. **Os Recursos Hídricos no Semiárido - Ciência e Cultura, Gestão das águas/ artigos - Cienc. Cult.** vol.55 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2003.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): Simulação de risco as atividades da indústria petrolífera.** Dissertação de mestrado nº 34 – PPGG/UFRN. Março, 2003.

HAMADA, E. **Mudanças climáticas globais e recursos hídricos com enfoque para as bacias hidrográficas.** Jaguariúna – SP, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145388/1/2008AA-041.pdf>. Acesso em: 30 de fevereiro de 2016.

HANSEN, M. C.; ROY, D. P.; LINDQUISTA, E.; ADUSEI, B.; JUSTICE, C. O.; ALTSTATT, A. 2008. **A method for integrating MODIS and LANDSAT data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin.** Remote Sensing of Environment, 112, 2495-2513.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Características do satélite LANDSAT 5.** 2010. Disponível em http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php Acesso em 24 de fevereiro de 2017.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **LANDSAT.** 2010. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/portugues/satelites.php> Acesso em: 24 de fevereiro de 2017.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Manual do Usuário SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas).** 2006a Disponível em: <HTTP://<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2017.

INPE/DP (2003b). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Divisão de processamentos de imagens. (INPE/DPI). **SPRING: Tutorial de geoprocessamento.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>. Acesso em: 25 de janeiro de 2016.

IPCC. **Climate change 2001: the scientific basis: summary for policymakers.** Geneva: IPCC, 2001. 20 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>. Acesso em: 26 de maio de 2016.

IPCC-AR4. **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers.** Geneva: IPCC, 2007. 18 p. 10 Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM2FEB07.PDF>. Acesso em: 13 de setembro de 2016.

KNUST, S. S. A. **Avaliação das imagens RADARSAT-1 sob diferentes geometrias de observação em aplicação geológica no Vale do Rio Curuçá (Bahia)**. 146 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007.

MARENGO, J. A. **Impactos das mudanças climáticas no bioma Caatinga e na desertificação do Semiárido**. Parcerias Estratégicas. Brasília, DF. n.27. Dezembro, 2008.

MARENGO, J. A. **Possíveis impactos da mudança de clima no Nordeste**. Disponível em: <https://www.algosobre.com.br/atualidades/possiveis-impactos-da-mudanca-de-clima-no-nordeste.html>. Acesso em: 16 de agosto de 2016.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P; Alves, L.M. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico**. 2016. São Paulo, Brasil. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>. Acesso em: 27 de julho de 2017.

MATHER, P. M. (1999). **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. Ed. John Wiley & Sons, 2 ed Great Britain: 1999. 352 pg.

MELO, C. R. **Análise do eixo leste da transposição do Rio São Francisco face aos cenários de uso previstos**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO Centro de Tecnologia e Geociências Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado. Recife, 2010.

MIN (Ministério da Integração Nacional). **Projeto de Transposição das águas do rio São Francisco, Relatório Geral, TOMO I, TOMO II; Análise Prospectiva da Irrigação, TOMO 2b**. VBA Consultores. 2000.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Moxotó, Volume III – Documento Síntese**. IICA – Agência de Cooperação Técnica do Brasil. 1998, 9, 10p.

MONTENEGRO, A. A. A. **Programa de Capacitação de Técnicos em Hidrometria para Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e Perímetros Irrigados**. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, 2009. Disponível em: <http://www.pgea.ufrpe.br/cursos/hidrometria/apresentacao.html> Acesso em: 20 de junho de 2017.

MORALES, C. Pobreza, desertificación y degradación de tierras. In. MORALES, C.; (Edt.). **Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales**. Santiago: CEPAL, 2005. p.25-57.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos. 2.ed.** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

NAE 2005a. **Mudança de Clima, Vol. I: Negociações internacionais sobre a mudança de clima; vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança de clima.** Cadernos NAE, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, NAE-SECOM 2005. Brasília, 250p.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). **LANDSAT 8 Thermal Infrared Sensor (TIRS).** Ottawa: WDL Publications, 294 p. 1989. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/about_LU_Vol_8_Issue_2.php#2a. Acesso em: 20 de outubro de 2016.

NOBRE, C. **Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado brasileiro.** In. LIMA, R.C.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; MARIM, A.M.P. (Edt.). Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Campina Grande: ISNA/PB, 2011, P.25-36.

OLIVEIRA, T. H. **Balço de radiação da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE através de imagens TM Landsat-5 e ETM+ Landsat 7.** Monografia de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia). Departamento de Ciências Geográficas – UFPE, 2009.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO, J. D. 2008. **Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Moxotó – PE usando sensoriamento remoto termal.** Revista Brasileira de Geografia Física, 1, 2, 30-49.

OLIVEIRA, T. H; GALVÍNCIO, J. D; SILVA, J. S; SILVA, C. A. V; SANTIAGO, M. M; MENEZES, J. B; SILVA, H. A; PIMENTEL, R. M. M. **Avaliação da Cobertura Vegetal e do Albedo da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com Imagens do Satélite Landsat 5.** Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2865-2872.

OLIVEIRA, T. H; MACHADO, C. C. C; SILVA, J. S; GALVÍNCIO, J. D; PIMENTEL, R. M. M; SILVA, B. B. **Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE.** Revista Brasileira de Geografia Física 03 (2010) 55-69.

OKE, T.R. 1987. **Boundary layer climates. 2nd edition.** Methuen, New York and London, 435p.

PEDROSA, V; SANTOS, J; VIANNA, W. **Diagnostico das disponibilidades hídricas do Rio Moxotó**. Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos. Gramado, RS, de 5 a 8 de Outubro de 1998.

PEREIRA, L. V. **Análise especial da evolução da cobertura e uso da terra no distrito de Santa Flora, Santa Maria, RS**. Dissertação de Mestrado, 2008.

PERNAMBUCO. **Plano estadual de mudanças climáticas**. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Recife, 2011.

PINHEIRO, M. R. DE. C; WERNECK, B. R; Oliveira A. F. DE; MOTÉ, F; MARÇAL, M. DOS. S; SILVA, J. A. F. DA; FERREIRA, M. I. P. **Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4247-4254.

PINTO, S. A. F. **Utilização de imagens TM/LANDSAT na análise comparativa entre dados de uso da terra e de aptidão agrícola** Revista Brasileira de Ciências do Solo. Campinas, 1989.

RABELLO, A. **Seca de 2012 a 2017 no semiárido foi a mais longa na história do Brasil**. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2018/03/03/seca-de-2012-a-2017-no-semiarido-foi-a-mais-longa-da-historia.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso em: 03 de março de 2018.

RIGHETTO, A. M; GUIMARAES, Jr, J. A. 2003. **Utilização Ótima dos Recursos Hídricos Superficiais do Estado do Rio Grande do Norte**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 8. n2. Abr/Jun 2003, 19-29.

RODRIGUES, V. et al. **“Avaliação do Quadro da Desertificação no Nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectivas”**. In: GOMES, G.M. et al. (eds). Desenvolvimento Sustentável no Nordeste. IPEA: Brasília, 1995.

SANTOS, A. M; GALVÍNCIO, J. D. **Mudanças climáticas e cenários de susceptibilidade ambiental à desertificação em municípios do estado de Pernambuco**. OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia, v.5, n.13, p. 66-83, jun. 2013.

SANTOS, A. R. DOS S.; PELUZIO, T. M. DE O.; SAITO, N. S.. **SPRING 5.1.2 Passo a Passo: Aplicações Práticas**. 2010. Alegre – ES: CAUFES, 153 p. 2010.

SANTOS, H. R. A; CAVALCANTI, E. R. **Conservação e recuperação dos recursos hídricos e vegetais da bacia do Rio Moxotó-PE.** 2006.

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TEIXEIRA, A. H. C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M.A. **Processo de desertificação no semiárido brasileiro.** In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (Orgs.). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação.* Petrolina: EMBRAPA semiárido, 2010. p.125-158.

SCHOTT, J. R; GERACE, A; RAQUENO, N; IENTILUCCI E; RAQUENO, R. **"Chasing the TIRS ghosts: calibrating the Landsat 8 thermal bands "** Proc. SPIE 9218, Earth Observing Systems XIX, 92181A 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2063236>. Acesso em: 23 de setembro de 2016.

SECTMA/PE (Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco). **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco.** Recife, 2006.

SILVA, B. B. Da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. 2005a. **Determinação do albedo de áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, 13, 2, 201-211.

SILVA, H. P. DA. **Mapeamento das áreas sob risco de desertificação no semiárido de Pernambuco a partir de imagens de satélites.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2009.

SILVA, S. G. D; SELVA, V. S. F. **Vulnerabilidade climática e adaptação às mudanças em comunidades de baixa renda na Cidade do Recife – PE.** Sociedade Nordestina de Ecologia - SNE Recife, 2014.

SRHE (Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos). **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco.** Recife. Disponível em: <http://www.srhe.pe.gov.br>. Acesso em: 21 de agosto de 2016.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos.** Brasília: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002. 150 p.

VALÉRIO, F. M. **Gerenciamento de bacias hidrográficas com a aplicação de técnicas de geoprocessamento.** In: TALK - TORNOSIELO, S. M. et al. *Análise ambiental: estratégias e ações.* Rio Claro, SP: Centro de Estudos Ambientais, UNESP, 1995.

VEIGA, J. E. **Aquecimento global: frias contendas científicas.** São Paulo: SENAC, p.17-106, 2008.

VIEIRA, V. P. P. B. 2003. **Desafios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Semiárido**, - RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 8 n.2 Abr/Jun 2003, 7–17.

VIEIRA R. M. S.P; TOMASELLA J; ALVALA R. C. S; SESTINI M. F; AFFONSO A. G; RODRIGUEZ D. A; BARBOSA A. A; CUNHA A. P. M. A; VALLES G. F; CREPANI E; DE OLIVEIRA S. B. P; DE SOUZA M. S. B; CALIL P. M; DE CARVALHO M. A; VALERIANO D. M; CAMPELLO F. C. B; SANTANA M. O. **Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast**. Solid Earth 6:347–360. 2015.

ZARCO-TEJADA, P. J.; RUEDA, C. A.; USTIN, S. L. **Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods**. Remoting Sensing of Environment, v. 85, p. 109-124, 2003.

WANG, X.; YANG, Y.; DONG, Z.; ZHANG, C. **Responses of dune activity and desertification in China to global warming in the twenty-first century**. *Global and Planetary change*, v.67, p.167-185, 2009.