



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA
LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL
CURSO DE AGRONOMIA**

**AVALIAÇÃO MULTITEMPORAL DA VARIAÇÃO DO ESPELHO
D'ÁGUA NO AÇUDE ORÓS, CE.**

Agnaldo Teixeira de Vasconcelos Filho

Redenção – CE

2017

Agnaldo Teixeira de Vasconcelos Filho

**AVALIAÇÃO MULTITEMPORAL DA VARIAÇÃO DO ESPELHO
D'ÁGUA NO AÇUDE ORÓS, CE.**

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Curso de Agronomia do Instituto de Desenvolvimento Rural Universidade Internacional da Integração da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) como requisito parcial à conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa

Redenção – CE

2017

Agnaldo Teixeira de Vasconcelos Filho

**AVALIAÇÃO MULTITEMPORAL DA VARIAÇÃO DO ESPELHO D'ÁGUA NO
AÇUDE ORÓS, CE.**

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Curso de Agronomia do Instituto de Desenvolvimento Rural Universidade Internacional da Integração da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) como requisito parcial à conclusão do curso.

Aprovado em: 20 / 12 / 2017

Nota: 9,5

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa (Orientador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB



Prof. Dr. Luis Gustavo Chaves da Silva (Examinador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB



Profa. Dra. Tatiana Oliveira Falcão Quintela (Examinadora)

Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Vasconcelos Filho, Agnaldo Teixeira de.

V446a

Avaliação Multitemporal da Variação do Espelho D'água no Açude Orós, CE / Agnaldo Teixeira de Vasconcelos Filho. - Redenção, 2017. 45f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Agronomia, Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa.

1. Desenvolvimento de recursos hídricos - Ceará. 2. Sensoriamento remoto. 3. Açudes - Ceará. I. Título

CE/UF/BSCL

CDD 627.12

AGRADECIMENTOS

Agradeço sobretudo a Deus por me dar tudo o que eu preciso para superar todos os obstáculos.

A UNILAB, por oportunizar o meu acesso em um curso de Agronomia diferente do convencional.

A equipe docente do IDR, que contribuíram enormemente para minha formação profissional e pessoal, em especial ao meu orientador Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa, pela amizade, suporte, conselhos e incentivos.

Agradeço especialmente aos meu pais por me educarem, pelo incentivo e apoio dado em cada etapa da minha vida, e a minha irmã por sempre me ajudar quando foi preciso.

Aos verdadeiros amigos que fiz durante o curso e que levarei por toda vida. Especialmente a Josilene Barbosa, Junior Souza, Leidiane Marques e a minha namorada Ingrid Beserra.

E sou grato a todos aqueles que fizeram parte da minha formação direta ou indiretamente.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma geral da estrutura de trabalho na aquisição dos dados e processamento de imagens.....	23
Figura 2 – Localização do açude Orós.....	24
Figura 3 – Imagens sensoriais orbitais e sua classificação. (a) ano de 1984; (b) ano de 2010; (c) ano de 2016.....	31
Figura 4 – Quantificação da área em km ² extraídos através da vetorização dos espelhos d'água dos anos de 1984, 2010 e 2016.....	32
Figura 5 – Sobreposição dos espelhos d'água do açude Orós.....	34
Figura 6 – Relação evaporação e precipitação do açude Orós entre os anos de 2005 a 2016. (a) ano de 2005; (b) ano de 2006; (c) ano de 2007; (d) ano de 2008; (e) ano de 2009; (f) ano de 2010; (g) ano de 2011; (h) ano de 2012; (i) ano de 2013; (j) ano de 2014; (l) ano de 2015; (m) ano de 2016.	35
Figura 7 – Plotagem de dados de precipitação total entre os meses durante os anos de 2010 a 2016.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Números das classes adotadas na classificação MAXVER.....	26
Tabela 2 – Valores para avaliar o grau de concordância a partir do índice <i>Kappa</i>	28
Tabela 3 – Matriz de confusão da classificação supervisiona da imagem do ano de 1984.....	29
Tabela 4 – Matriz de confusão da classificação supervisiona da imagem do ano de 2010.....	29
Tabela 5 – Matriz de confusão da classificação supervisiona da imagem do ano de 2016.....	29
Tabela 6 – Média mensal das chuvas observadas em mm entre os anos de 2010 a 2016.....	37
Tabela 7 – População das cidades atendidas pelo reservatório de Orós.....	39

LISTA DE ABREVIações

CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CSBHAJ	Comitê da Sub-Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra Seca
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOCS	Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOCS	Inspetoria de Obras Públicas Contra as Secas
MAXVER	Máxima Verossimilhança
NEB	Nordeste brasileiro
REM	Radiação Eletromagnética
RGB	<i>Red, Green e Blue</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	15
2.1. Geral	15
2.2. Específicos.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1. Clima no semiárido nordestino	15
3.2. Histórico das Secas no semiárido	17
3.3. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido.	19
3.4. Sensoriamento remoto e suas aplicações para monitoramento de recursos naturais.	20
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
4.1. Descrição da estratégia metodológica.	22
4.2. Área de estudo.....	24
4.3. Aquisição e processamento de dados.	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1. Análise dos dados espectrais do sensoriamento remoto	28
5.2. Precipitação e Evaporação	35
5.3. Uso e Ocupação	39
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

RESUMO

O Ceará é um dos estados do Nordeste que mais apresenta espelhos d'água, sendo que a grande maioria são corpos hídricos artificiais, como os reservatórios superficiais. O trabalho tem por objetivo avaliar as relações entre o espelho d'água do reservatório de Orós com os dados de pluviometria e evaporação durante a seca dos anos de 2010 a 2016. Foram utilizados os dados da série histórica pluviometria e evaporação, obtidos pela FUNCEME e INMET respectivamente, de 2005 a 2016. Realizou-se ainda, a aquisição de imagens de satélite Landsat-5, dos anos de 1984 e 2010, e Landsat-8, do ano de 2016 e em seguida a composição das bandas e processamento dessas imagens com o *software ArcGis 10.2* visando a quantificação do espelho d'água do reservatório com os dados do sensoriamento remoto. Os dados de precipitação dos anos de 2010 e 2016 se mostraram abaixo da média da região da Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe, com exceção o ano de 2011 onde obteve-se as médias de precipitação acima do comum durante os meses, onde-se teve um total de 938,01 mm precipitados ao longo do ano. Com o processamento das imagens orbitais observou-se que área do espelho d'água diminuiu com o passar do tempo, chegando a um decréscimo de 63,8 % do espelho d'água do reservatório de Orós no período da seca entre os anos de 2010 e 2016. Notou-se ainda que a relação espaço-temporal não influenciou na área do espelho d'água nos anos de 1984 e 2010. As baixas médias de precipitação nos anos de 2010 e 2012-16, assim como altos índices de evaporação e demanda, tiveram influência sobre a área do espelho d'água do reservatório de Orós.

Palavras-chave: Reservatórios. Seca. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

Among all the states in the Northeast of Brazil, Ceará is the one with more water mirrors, most of which are artificial water bodies, such as superficial reservoirs. The objective of this study is to evaluate the relationships between Orós reservoir water mirror and the rainfall and evaporation data during the drought from 2010 to 2016. The methods consisted of analyzing meteorological data and satellite imagery. Historical series of evaporation and pluviometry data from FUNCEME and INMET websites for the period between 2005 and 2016. Acquisition of Landsat-5 satellite images for the years 1984 and 2010 and Landsat-8 of the year 2016 was carried out, followed by the composition of the bands and the processing of these images by means of remote sensing data. After that, geoprocessing techniques were applied in order to quantify the areas of reservoir water mirror for the years of 1984, 2010 and 2016. Precipitation data from 2010 to 2016 were below the average for the Alto Jaguaribe Basin region, except for the year of 2011, where precipitation averages were above the average during the months, where there was a total of 938.01 mm precipitated over the year. With the processing of the orbital images it was observed that the area of the water mirror decreased over time, reaching a decrease of 63.8% of the water mirror of the reservoir of Orós in the period of drought between the years of 2010 and 2016. It was also noted that the space-time relationship did not influence the area of the water mirror in the years of 1984 and 2010. The low average rainfall and high evaporation values in the years 2010 and 2012-16 had influence on the area of Orós reservoir's water mirror.

Keywords: Reservoirs. Drought. Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

O Ceará é um dos estados do Nordeste que mais apresenta espelhos d'águas, sendo que a grande maioria são corpos hídricos artificiais, como os reservatórios superficiais, o que evidencia a política de construções de tais obras e pressupõe a importância do estoque de água para a região, que tem clima e geomorfologia próprios do semiárido e que por vezes é submetida cenários de escassez hídrica (FUNCEME, 2008; CAMPOS, 2015). Para Smakhtin e Shipper (2008 *apud* Santos *et al.*, 2013) esses panoramas de frequente escassez de água podem ser compreendidos como um fenômeno meteorológico, temporário e recorrente, chamado de seca, que resulta de precipitações abaixo do nível normal para uma região em um determinado período de tempo.

Historicamente, o estado do Ceará apresenta graves problemas relacionados aos recursos hídricos e isso é devido a sua condição dominante de semiaridez, onde os impactos das secas apresentam maior intensidade em relação as demais regiões do país (SABOIA, 2015). Dentre as características de ambientes semiáridos, estão os déficits hídricos e as altas taxas de evaporação que afetam diretamente a vida da população que habita essas áreas (MENDES, 2015).

O Estado, possui 85% do seu território inserido no semiárido, o qual apresenta alta variação temporal e espacial das precipitações pluviométricas, onde a média anual é de 750 mm, e mostra grandes índices de evapotranspiração, atingindo a média de 2500 mm por ano, além de estar localizado em uma área situada sobre formações do tipo cristalino, com solos pouco profundos e baixa capacidade de infiltração e armazenamento, e possuir rios intermitentes em função do baixo índice de chuvas da região, que está associada a frequentes déficits hídricos (FERNANDES; GHEYI, 2012; CAMPOS, 2015). Com isso, a insuficiência de precipitação pluviométrica e a alta taxa de evaporação na região pode se constituir em graves consequências, tais como impactos ambientais, econômicos, sociais, políticos e culturais (PEREIRA & CUELLAR, 2014).

As secas não geravam grandes problemas, antes de uma maior ocupação territorial feita pelos colonizadores em meados do século XVI no interior da região nordeste, pois o bioma caatinga que predomina na região é bem adaptado ao clima e resiliente as variações periódicas das precipitações e aos níveis de evaporação. Porém, com o passar do tempo decorreu a interferência antrópica modificando a paisagem, estabelecendo propriedades e desmatando áreas para a produção de alimentos e criação de animais, o que aumentou a fragilidade da região aos impactos das secas (CGEE, 2016a).

A seca no semiárido do cearense significa não ter água para o desenvolvimento agrícola, para os animais domésticos e outras atividades cotidianas, o que pode causar expressivos prejuízos econômicos com a perda da safra e mortalidade dos animais, e para o consumo humano, o que gera grandes impactos sociais para os cearenses (CGEE, 2016a). Assim, os trabalhos relacionados aos recursos hídricos são essenciais, pois a água é um recurso limitado com uma miríade de usos e com toda importância desse recurso aliada com as características climáticas, pedológicas e hidrológicas que estão situadas no semiárido cearense, fez com que se desenvolvesse políticas públicas voltadas para os recursos hídricos (GHEYI, 2012).

Por estar frequentemente enfrentando cenários de escassez hídrica, que gera consequentes incertezas associadas à disponibilidade de água, diversas políticas públicas já foram implementadas na região como uma forma de contornar esse problema, tendo em vista que a água é um bem essencial à vida, portando qualquer carência deste bem pode acarretar em impactos sociais, econômicos e ambientais (TOLEDO, 2013; CGEE, 2016). Porém, como uma medida principal para solucionar o problema de escassez hídrica as decisões políticas priorizam a construção de açudes, os quais permitem o armazenamento de água no período chuvoso para garantir a oferta hídrica em períodos de seca (TOLEDO, 2013).

Fundamentalmente o suprimento de água, nos períodos de seca, é efetuado por meio de açudes, dado que o Ceará se encontra em uma condição onde é imprescindível garantir a disponibilidade hídrica ao longo dos períodos de estiagem, tornando assim, a adoção de medidas capazes de conter o escoamento da água na região necessária (LEÃO, 2010; PEREIRA, 2014; LOPES, 2016). A política de

construção dos reservatórios superficiais foi a melhor solução para o desenvolvimento do Estado do Ceará para garantir o abastecimento hídrico das populações (PEREIRA, 2014).

Os açudes são responsáveis por receber excedente hídrico proveniente do escoamento de eventos pluviométricos e barrar a água para abastecer municípios e disponibilizar nos períodos de estio, assim, tornaram-se de grande importância para a região do semiárido no Ceará por conter a água e garanti-la durante os anos seca (RÊGO, 2008; LOPES, 2016). Desse modo, sendo o segundo maior reservatório do Estado, o reservatório de Orós traz aspectos positivos para a região centro-sul do Ceará (FERNANDES, 2012).

Os reservatórios são de suma importância, pois são capazes de ofertar água para garantia do desenvolvimento de uma determinada região e é possível evidenciar isso através da construção do açude de Orós que tem a função de regularizar a vazão e perenizar o rio Jaguaribe juntamente com o açude Castanhão. O rio Jaguaribe foi conhecido como “o maior rio seco do mundo”, por apresentar fluxo hídrico nos períodos de chuva e secar durante os períodos de seca. Atualmente, o rio Jaguaribe é um importante curso d’água por ter uma extensão de 610 Km que drena cerca de 48 % da área do estado do Ceará (CAVALCANTE & DA CUNHA, 2011; PEREIRA, 2014).

O reservatório de Orós é importante para as atividades humanas em seu entorno, em especial na piscicultura. Em relação aos demais usos, pode-se destacar diversas outras atividades que são desenvolvidas como a criação de animais e atividades agrícolas, com destaque para o cultivo de arroz e agricultura irrigada, além da finalidade doméstica (BATISTA *et al*, 2014). Quando a disponibilidade de água fica abaixo da média isso acarreta em problemas em todas as atividades citadas e com mais secas, menos água, os impactos podem chegar a ser maiores na agricultura, na economia e nas condições de vida dos habitantes da região (MARENGO, 2010).

Sendo imprescindíveis ao desenvolvimento de uma região, principalmente no semiárido, as construções das obras de armazenamento de água necessitam de gestão e monitoramento de seu recurso hídrico (LOPES, 2016). No eixo das

geotecnologias, o uso do sensoriamento remoto com a finalidade de gerir recursos naturais é um fato consolidado, assim como o uso do mesmo como uma ferramenta para monitorar constantemente modificações no ambiente (DA SILVA & DOS SANTOS, 2007). Simplificadamente, Rudorff (2012) refere-se ao sensoriamento remoto (SR) como um termo utilizado nas geociências para a obtenção de imagens à distância, sobre a superfície terrestre.

O SR junto as tecnologias de processamento e análise de dados fornecidos por sensores remotos é uma fonte potencial para a análise quantitativa de elementos do ambiente (MACHADO & BAPTISTA, 2016). Além disso, surge como uma alternativa de monitoramento, uma vez que, as imagens orbitais dos sensores remotos têm sido eficazmente utilizadas para mapeamento de áreas, dando a possibilidade de uma análise temporal e assim permitindo um acompanhamento das possíveis evoluções de cenários ambientais em um determinado período de tempo (DA SILVA & DOS SANTOS, 2007; MACHADO & BAPTISTA, 2016).

Nesse contexto, a avaliação da variação do espelho d'água no açude de Orós entre os anos de 2010 e 2016 é de grande relevância tendo em vista a importância dos corpos hídricos para o semiárido cearense em um período de estiagem prolongada entre esses anos. Ao avaliar os impactos gerados pela seca sobre o açude de Orós é possível compreender melhor a relação do acúmulo de água no reservatório e a irregularidade das chuvas, que juntamente com as altas taxas de evaporação têm grande influência nos aspectos de vida das populações que dependem desse recurso.

O presente trabalho está tem sua estrutura organizada em introdução, objetivos, revisão de literatura, procedimentos metodológicos, resultados e discussões, conclusões e referências. Primeiramente nesta introdução, contextualizou-se os temas relacionados com o estudo. Em seguida, os objetivos mostram o intuito do trabalho realizado. Na revisão de literatura aborda-se as principais temáticas que envolvem o trabalho com embasamento na literatura existente. Os procedimentos metodológicos, além de explicar sobre o objeto de estudo, abordam técnicas utilizadas no desenvolvimento do trabalho, que foram um artifício para se chegar aos resultados. Por sua vez os resultados e discussões, apresentam as informações alcançadas e a discussão sobre elas. As conclusões apresentam as considerações

feitas com base nos principais resultados alcançados na pesquisa. E as referências bibliográficas exibem os trabalhos citados ao longo deste documento que contribuíram para o desenvolvimento do mesmo.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar as relações entre o espelho d'água do reservatório de Óros com os dados meteorológicos de pluviometria e evaporação na seca dos últimos anos.

2.2. Específicos

1. Mapear espelho d'água do reservatório de Óros nos anos de 2010 e 2016.
2. Correlacionar os dados de pluviometria com o mapeamento do espelho d'água.
3. Avaliar os dados de evaporação entre os anos estudados relacionando-os com os resultados do mapeamento.
4. Levantar informações sobre as finalidades do açude Óros e compreender os impactos causados pelo seu uso e ocupação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Clima no semiárido nordestino

O nordeste brasileiro (NEB) conta com a presença basicamente de três climas predominantes, o clima equatorial úmido, abrangendo parte do estado do Maranhão,

clima litorâneo úmido, compreendido do litoral da Bahia ao Rio Grande do Norte, e o clima tropical semiárido, onde se enquadra grande parte do estado do Ceará e do sertão nordestino (DA SILVA *et al*, 2002; CAVALCANTI *et al*, 2009). A região semiárida se caracteriza especialmente por apresenta acentuada variabilidade dos regimes de chuvas, tendo sua média anual de precipitação inferior a 750 mm, e conta ainda com elevadas temperaturas e níveis evaporação, que chegam em torno de 2500 mm, além de sofrer com a distribuição de chuva irregular no tempo e no espaço (VIANNA *et al*, 2006; CAVALCANTI *et al*, 2009; CGEE, 2016b).

A precipitação no NEB tem uma acentuada variação interanual, onde apresenta anos extremamente secos e outros chuvosos, sendo que seu regime pluvial se concentra em poucos meses do ano e esse regime pode variar significativamente não só dentro de escalas de tempo diferentes, mas como também no espaço mesmo com alguns quilômetros de distância (CAVALCANTI *et al*, 2009; DA SILVA *et al*, 2011). Embora a média do regime pluvial seja inferior a 800 mm, em algumas áreas a média não ultrapassa 400 mm (GHEYI *et al*, 2012). O regime de chuvas no nordeste de modo geral é bastante complexo, tendo sua irregularidade ligada as mudanças de frequência ou intensidade de eventos como fenômenos El Niño e La Niña e pela Zona de Convergência Tropical (DA SILVA *et al*, 2011; FERNANDES, 2012).

O fenômeno El Niño é caracterizado pelo aquecimento fora do comum da superfície do oceano pacífico, enquanto La Niña é o seu esfriamento e ambos fenômenos causam mudanças nos padrões de vento, onde em anos típicos de El Niño os ventos alísios enfraquecem podendo até mesmo se inverter e anos de La Niña esses ventos tornam-se mais intensos (FERNANDES, 2012). De modo geral, o El Niño está associado aos eventos de seca (CGEE, 2016a). Haylock *et al* (2006 *apud* FERNANDES, 2012) mostra que alterações nas condições do El Niño tem papel expressivo nas mudanças das series temporais de precipitação, dessa forma, o comportamento da climatologia da temperatura da superfície do mar (TSM) exerce influência nos valores de precipitação sobre a região nordeste (NÓBREGA, 2016).

O regime de precipitação no Ceará, especificamente, é influenciado principalmente pelo deslocamento mais ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) de acordo com Molion (2002). A posição da ZCIT está

relacionada com as anomalias induzidas pela distribuição espacial TSM o que interfere deslocação latitudinal da mesma (FERNANDES, 2012). A mudança anômala da temperatura da superfície da água do mar no oceano Atlântico Tropical, pode ainda induzir o fenômeno designado de Dipolo do Atlântico, onde se a TSM do Atlântico Tropical Norte está mais quente que a do Atlântico Equatorial e Sul pode ocasionar seca e ocorrendo o inverso pode-se intensificar a formação de nuvens e aumentar os índices pluviométricos da região (NÓBREGA, 2016).

Em âmbito nacional o semiárido aparece sendo uma das regiões mais sensíveis ao clima, por ter variabilidade climática que ocasiona a carência de chuvas e eventuais episódios de seca com o passar dos anos, além de historicamente ser afetada por secas severas com grandes agravos na produção agrícola e consumo humano (PEREIRA, 2014; LINDOSO *et al*, 2016).

3.2. Histórico das Secas no semiárido

As secas fazem parte do semiárido e sempre coexistiram no nordeste brasileiro, porém seu primeiro registro segundo o historiador Joaquim Alves (1982 *apud* Da SILVA, 2006) foi em 1587, com um relato sobre a migração de índios nativos do sertão para o litoral em busca de mantimentos, o que acabou intrigando os colonizadores que viam a quantidade de índios que fugiam para o litoral em razão da seca. As longas estiagens caracterizaram os povos nativos do sertão nordestino como nômades, onde de tempos em tempos diante das secas anuais os povos indígenas aderiram o nomadismo como um de seus modos de vida para aproveitar os recursos disponíveis na natureza (DA SILVA, 2006).

Entretanto, os portugueses não tinham a mesma característica e demoraram pouco mais de um século, após sua chegada, para ocupar o interior do semiárido, isso devido à falta de interesse dos mesmos em explorar uma terra onde não produzia tantas riquezas e a resistência de algumas tribos indígenas. A partir do séc. XVI houve o adensamento do início ocupação humana no interior da região, até então o semiárido não apresentava grandes problemas com as secas, por conta do ecossistema predominante, a Caatinga, que era adaptado ao clima e suas variações, porém depois da invasão dos colonizadores, houve a modificação da

paisagem, estabelecendo fazendas e com desmatamentos para criação de gado e produção agrícola onde a partir disso começou a aumentar a vulnerabilidade da região às secas (DA SILVA, 2006; CGEE, 2016a).

A ocupação só se concretizou nas últimas décadas do século XVIII onde a seca passou a ser um problema relevante para a população que efetivou a apropriação das terras no sertão. Desde então as secas entraram de forma permanente nos relatos históricos, enfatizando principalmente a calamidade da fome, causando prejuízos aos colonizadores e as fazendas de gado, com perda de safra e mortalidade de animais, e sendo o grande motivo do aumento do fluxo migratório outras regiões como sudeste, norte e centro-oeste. Além disso, em períodos de prolongadas estiagens crescia a desordem e violência nos sertões onde a população faminta junto com escravos e moradores deixados para morrer pelos fazendeiros saqueavam fazendas, vilas e povoados como uma forma de superar a seca (DA SILVA, 2006).

Depois disso, foram notados outros períodos de estio que causaram enormes impactos consequentemente a medida que a densidade populacional aumentava, a seca de 1845 foi uma delas, a qual deixou uma profunda marca na economia nordestina. No entanto, a seca mais impactante de todas ocorreu nos anos de 1877 a 1879, que acabou dizimando metade da população daquela época e quase todo o rebanho bovino. Posteriormente a 1877, outras grandes secas seguiram, muitas delas acarretando em desemprego, fome, sede, desnutrição e até mortes, para citar as principais, no século XX foram as secas de 1900, 1915, 1919, 1932, 1958, 1979 a 1983, 1987, 1990, 1992 a 1993 e 1997 a 1998, já no século atual já se registraram grandes secas como a de 2002 a 2003 e 2010 a 2015 (DA SILVA, 2006; CGEE, 2016a).

Com o passar das secas aumentaram-se os clamores por parte dos habitantes do NEB, o que acabou gerando a preocupação no centro do poder governamental, até que tiveram que tomar decisões para auxiliar aos que sofriam nos intensos casos de escarces hídrica e a cada seca que se passava a ideia de políticas públicas voltadas para o combate à seca era reforçada (CGEE, 2016a).

3.3. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido.

As políticas públicas são definidas de acordo com Campo (2014) como ações, práticas, diretrizes fundadas em leis e empreendidas como funções de Estado por um governo, para resolver questões gerais e específicas da sociedade. É consenso a água ser um elemento primordial ao desenvolvimento (MONTENEGRO, 2012). Assim, no semiárido nordestino em razão das situações de seca, sempre houve apreensão para os habitantes rurais do interior da região e a seca foi objeto de preocupação para a sociedade e organismos do governo, principalmente com os eventos mais extremos observados ao longo dos anos (FERNANDES, 2012).

Tendo em vista isso, diversas políticas públicas têm sido criadas voltadas para os recursos hídricos da região semiárida (MONTENEGRO, 2012). Em paralelo com as secas dos últimos dois séculos, várias medidas têm sido implementadas para convivência com o semiárido, de início houveram insucessos com decisões equivocadas e medidas insuficientes o que aumentou ainda mais o desafio da convivência com as secas (MONTENEGRO, 2012; CGEE, 2016a). Uma das primeiras reações governamentais para conter as contrariedades que secas causavam na região ocorreu quando o Brasil ainda era império, onde foi nomeada uma Comissão Científica para estudar a região do NEB e posteriormente a foi recomendada a importação de camelos com o intuito de facilitar o transporte no semiárido (CGEE, 2016a).

Quanto mais o tempo passava, mais as crises climáticas pressionavam o governo a combater a seca (DA SILVA, 2006). Em geral as primeiras medidas do governo para combater as secas foram unicamente assistencialistas, somente após passado o ano de 1879, o ainda governo imperial nomeou uma comissão de engenheiros destinados a solucionar “permanentemente” à seca. Essa comissão por sua vez comissão sugeriu a transposição das águas do rio São Francisco, de fluxo permanente, para as bacias do Ceará que possui rios intermitentes e a mesma ainda recomendou a construção de açudes com a finalidade de garantir a água em anos que fossem necessários, começou-se então a perenização dos rios (CGEE, 2016a).

A estratégia de construir açudes continuou no decorrer dos anos e era ainda mais reforçada sempre quando surgia um evento de escassez hídrica. Em 1909, as

respostas governamentais deram um grande passo em relação a luta contra as secas, o Governo Federal criou uma instituição chamada de Inspetoria de Obras Públicas Contra as Secas (IOCS), que tinha um plano de ação que se resumia a realização de estudos, planejamento e execução de obras hídricas (DA SILVA, 2006). O IOCS em 1919 acabou dando lugar a Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS) e no ano de 1945 se transformou no Departamento Nacional de Obras Contra Seca (DNOCS) (DA SILVA, 2006; CGEE, 2016a).

O DNOCS por sua vez, além de avançar nos estudos para o conhecimento da realidade do semiárido de da caatinga, foi responsável por executar a política de açudagem (CGEE, 2016a). A construção de açudes foi priorizada no combate à seca, pois era vista como a ação mais efetiva para solucionar o problema (CAMPOS, 2014). Porém com o passar dos anos outras políticas públicas tiveram importância para o desenvolvimento do semiárido brasileiro, como a perfuração de poços profundos, que era bastante limitada pelo embasamento cristalino e qualidade inferior da água com altos teores de salinidade, construções de cisternas rurais para captação de água, que foi difundida na década de 90, e o transporte de água a grandes distancias, por adutoras e canais, como atualmente é realizado o transporte e abastecimento de água por meio de carros-pipa (GHEYI, 2012; BEZERRA, 2014).

A estratégia de construir açudes continua até os dias atuais e no presente estima-se cerca de 30.000 reservatórios tenham sido construídos no Ceará desde a fase hidráulica das respostas governamentais, com as construções de açudes, que perdurou por grande período de tempo (TOLEDO, 2013; CGEE, 2016a). Diante disso, presume-se a importância do monitoramento e gestão desses açudes, que garante a disponibilidade hídrica através da vazão regularizada (LOPES, 2016).

3.4. Sensoriamento remoto e suas aplicações para monitoramento de recursos naturais.

Atualmente o SR faz parte de uma das ciências mais estudadas no mundo para o levantamento e monitoramento de recursos naturais, sendo o Brasil um dos países com mais adeptos a tecnologia de coleta automática de dados. Hoje difundido em todo o globo terrestre, foi um termo usado pela primeira vez em 1960 (FARIA, 2015).

O SR pode ser definido como uma tecnologia que possibilita a obtenção de imagens e outros dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície terrestre (FLORENZANO, 2011). A definição parte do princípio que os sensores são dispositivos, instalados em plataformas terrestres, aéreas (aeronaves) e orbitais (satélites artificiais), capazes de captar a energia refletida ou emitida por uma superfície qualquer à distância, o que justifica o termo remoto, e registra-la na forma de dados digitais diversos, como imagem, gráficos, dados numéricos etc. Dessa forma, o sensoriamento remoto contribui ao processamento, análise e interpretação dos dados, entretanto para isso, antes é necessário a aquisição de dados pelos sensores (FITZ, 2008; FLORENZANO, 2011).

A aquisição de dados realizada por sensores remotos é feita em razão da existência de três elementos básicos. Entre eles está o próprio sensor, um sistema de imageamento ótico, o objeto que é visado, que é o alvo na superfície, e a fonte de energia radiante, que pode ser obtida pela radiação solar sobre a superfície terrestre (FITZ, 2008). Nesta aquisição os sensores convertem a energia eletromagnética refletida pelos objetos sobre a terra, dessa maneira, o sensoriamento remoto está relacionado com toda a dinâmica que ocorre entre um objeto na superfície terrestre com a radiação solar eletromagnética (DE ALMEIDA & FERREIRA, 2012; FARIA, 2015).

De maneira geral, o principal requisito para o sensoriamento remoto é a fonte de energia radiante, que serve para ilumina o alvo e o Sol é a mais importante fonte natural de radiação eletromagnética (REM) (LOPES, 2013). Ao interagir com a superfície terrestre a REM do Sol proporciona fenômenos de absorção, aquecimento, transmissão e reflexão de energia e os sensores orbitais tem a função de medir a energia que é refletida, entre outros elementos do ambiente, pela vegetação, solo e água, dessa maneira converter os comprimentos de onda refletidos em imagem (FITZ, 2008; LOPES, 2013; FARIA, 2015). A água, entretanto, apresenta intensidades diferentes entre absorção e refletância da REM, pois se encontra em diferentes estados físicos: líquido, gasoso e sólido (FARIA, 2015).

A água pode ter maior ou menor absorção em diferentes faixas do espectro eletromagnético, se o estado físico que ela se encontra for o líquido a absorção da

REM pode ser total, dependendo da limpidez da água, quando no estado gasoso e sólido a REM é mais refletida do que absorvida (NOVO, 2010; MOREIRA, 2011). Com isso, em corpos d'água desprovidos de sedimentos em suspensão é possível perceber uma diferenciação maior entre vegetação e solo exposto com a água, sendo bastante útil para estudos envolvendo recursos hídricos (FIZT, 2008). Porém, as técnicas de SR não têm sido muito empregadas em pesquisas de sistemas aquáticos na região semiárida brasileira, embora tenha contribuído enormemente para estudar os mais diversos ambientes naturais (LOPES, 2013).

Florenzano (2011) destaca que o SR pode ser usado como um recurso para a análise do meio ambiente. Essa utilidade é devido a alcance sinótico dos dados fornecidos com essa técnica, bem como a sua resolução temporal, permitindo obtenção de informações em distintas épocas do ano e também em diferentes anos, e devido a sua resolução espacial, o que acaba possibilitando a coleta de dados em diferentes escalas, desde escalas maiores como continentais, até escalas menores como as escalas regionais (SAUSEN, 2007). Esses dados são os produtos do SR que podem ser armazenados, manipulados e analisados por meio de softwares específicos (FITZ, 2008).

Com o geoprocessamento, entendido como um conjunto de técnicas para o processamento eletrônico e tratamento de informações espacializadas, é possível analisar conjuntamente variáveis ambientais (DE ALMEIDA & FERREIRA, 2012). Essas tecnologias computacionais de processamento e análise de dados fornecidos por sensores de satélites, surgem como uma fonte potencial para a análise quantitativa de dados ambientais (MACHADO & BAPTISTA, 2016). Assim, o SR se torna, portanto, uma ferramenta indispensável à obtenção e processamento de dados do meio ambiente (ARAÚJO & FREIRE, 2013).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1. Descrição da estratégia metodológica.

Para o desenvolvimento do trabalho, tem-se como meta a avaliação das relações que podem ser feitas do espelho d'água do reservatório de Orós, nos anos de 2010 a 2016, período este reconhecidamente de seca. A estratégia metodológica do trabalho é estruturada seguindo os passos de obtenção e organização dos dados de pluviometria do reservatório de Orós, juntamente com dados de evaporação da região do açude, aquisição de imagens de satélite, utilização de ferramentas de sistema de informação geográfica (SIG) para o tratamento das imagens, quantificação do espelho d'água do reservatório e análises de dados e dos levantamentos realizados a partir das imagens orbitais digitalizadas (Figura 1).

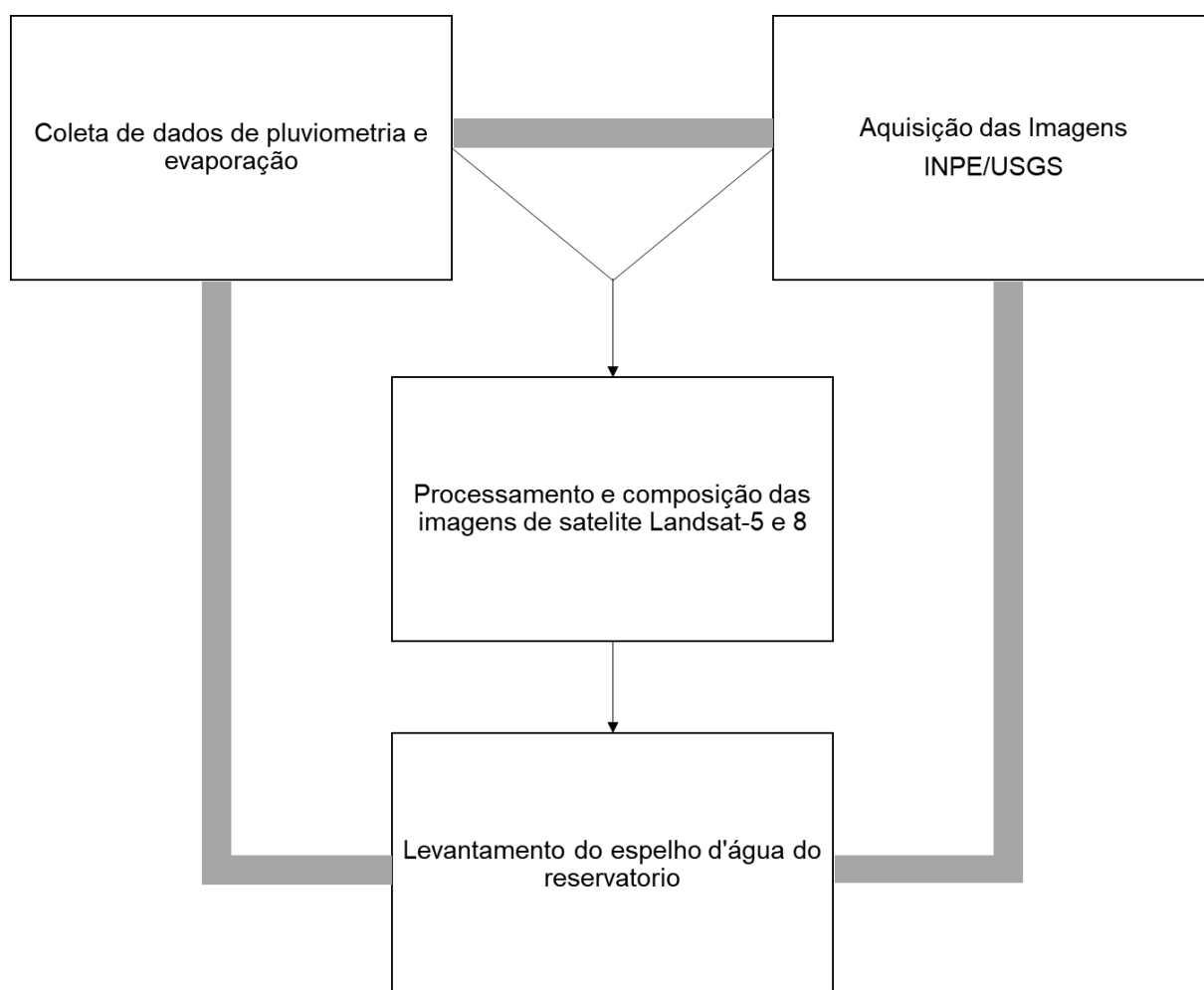


Figura 1. Fluxograma geral da estrutura de trabalho na aquisição dos dados e processamento de imagens.

4.2. Área de estudo

O objeto de estudo está localizado na região sul do estado, na bacia hidrográfica do alto Jaguaribe, no município de Orós com as coordenadas de 06° 14' 38" S e 38° 54' 50" O (Figura 2). O açude Orós é o segundo maior reservatório do estado do Ceará com um volume máximo de armazenamento da ordem de 1,94 bilhões de metros cúbicos (FERNANDES, 2012). A barragem do reservatório, projetada pelo DNOCS, foi concluída em 1961 (DNOCS, 2011).

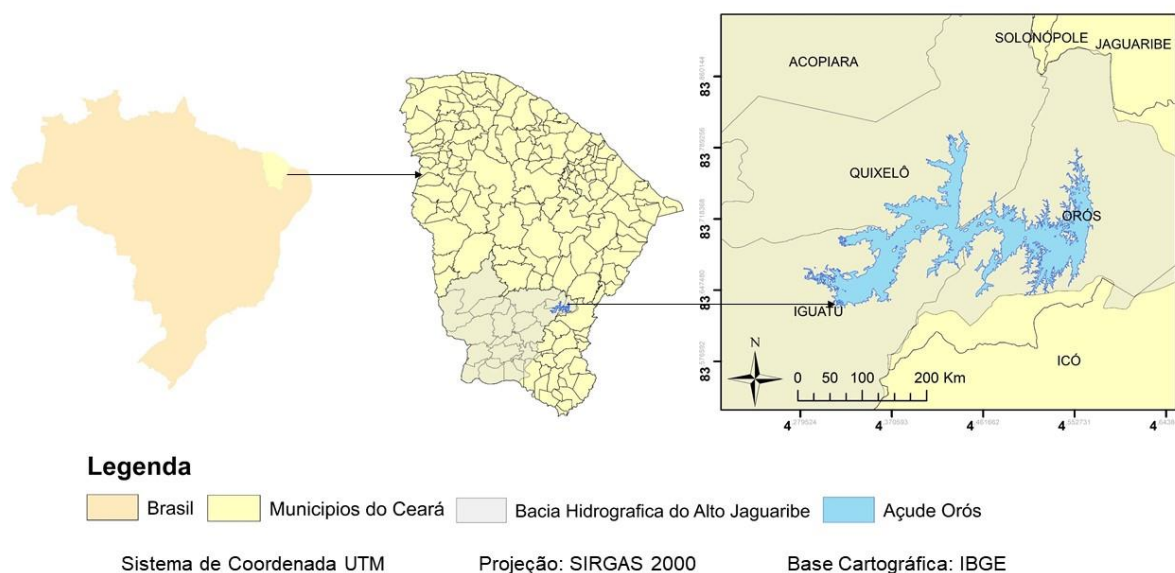


Figura 2. Localização do açude Orós.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é BSw'h', semiárido quente com temperatura média mensal de 28°C (TOLEDO, 2013). As precipitações e evaporações médias anuais, ficam em torno de 750 mm e 2500 mm, respectivamente (FERNANDES; GHEYI, 2012). Já em relação a caracterização fisiográfica da área de estudo, geologicamente há o predomínio de embasamento cristalino, o relevo da bacia é representado basicamente por depressões, a declividade de acordo com a classificação da Embrapa (1999) mostra que existe a predominância de relevos planos e suavemente ondulados. Os solos comumente

encontrados são das classes de Argissolos e Neossolos, além de ser encontrados Luvisolos e Vertissolos. E sua vegetação natural encontrada é tipicamente do bioma Caatinga (LOPES; TOLEDO, 2013; LOPES, 2016).

4.3. Aquisição e processamento de dados.

No estudo, serão utilizados os dados de pluviometria da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), fornecidos no portal hidrológico do Ceará, dados de evaporação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), adquirido a partir do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), durante os anos de 2005 a 2016 e dados de população obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além disso, realizou-se a aquisição de imagens do satélite Landsat-5 e Landsat-8, ambos com resolução espacial de 30 metros, que estão disponíveis para download no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> e na página *EarthExplorer* do *United States Geological Survey* (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>, respectivamente, dos anos de 1984, 2010 e 2016.

As imagens digitalizadas foram selecionadas em conformidade com sua visibilidade e de modo a cobrir a órbita 217 e o ponto 64, para que seja possível a visualização do açude de Orós, nas passagens de 15/06/1984 e 13/10/2010 do satélite Landsat-5, e na passagem de 14/11/2016 do satélite Landsat-8. Após a aquisição das imagens, foi utilizado o programa ArcGIS 10.2 para se fazer o processamento dessas mesmas, para a composição RGB (*Red*, *Green* e *Blue*) das imagens. Desse modo, escolhendo-se as bandas 5, 4 e 3 do Landsat-5 e as bandas 6, 5 e 4 do Landsat-8 foi possível gerar uma combinação para cores simuladas onde é visivelmente claro os limites entre solo, vegetação e água. Posteriormente, realizou-se a classificação supervisionada das imagens, pelo método de máxima verossimilhança (MAXVER), onde se considerou 4 classes: área antropizada, área agrícola, vegetação natural e corpos d'água.

Na classificação adotou-se os critérios de fotointerpretação de Florenzano (2011), onde na composição das bandas utilizadas no trabalho para cores simuladas, no Landsat-5 e Landsat-8, a área urbana possui uma cor magenta com

textura ligeiramente rugosa e forma irregular, áreas agrícolas possuem uma coloração verde claro para culturas em estágio inicial, e coloração verde intenso para culturas de estágio mais avançado, com textura lisa, forma regular, geralmente geométrica, com o padrão de talhões ou glebas, já a vegetação natural é interpretada por ter uma cor verde mais escuro com textura rugosa e forma irregular, os corpos d'água, por sua vez, iram apresentar a cor preta com uma textura lisa e forma irregular, para rios observa-se uma forma linear curvilínea ou até mesmo retilínea. Ao classificar a imagem no programa definiu-se os números das classes (Tabela 1).

Tabela 1. Números das classes adotadas na classificação MAXVER.

Classes adotadas	Nº
Corpos d'água	1
Área Antropizada	2
Mata Nativa	3
Área Agrícola	4

Para avaliar a acurácia da classificação realizada pelo programa *ArcGIS 10.2* foi utilizado o índice *Kappa*, que é um coeficiente de concordância bastante usado para analisar a confiabilidade de classificação digital gerados por *softwares* (ANTUNES & LINGNAU, 1997). Na realização dessa validação, foi necessária a geração da matriz de confusão que é uma forma que representa a qualidade obtida de uma classificação digital de imagem gerada por um programa, onde os dados matriciais tabulados e organizados expressam a relação do que foi classificado por um programa com o que é compreendido como verdadeiro (PRINA & TRENTIN, 2015).

O programa *ArgGIS 10.2* não gera a matriz de confusão automaticamente, portanto adotou-se procedimentos semelhantes aos de Antunes & Lingnau (1997) para geração dessa matriz, os quais consistem em selecionar amostras de referências de forma aleatória na imagem classificada e compara-las com o que é observado na realidade.

Geralmente a verificação das amostras de referências são realizadas no campo, no entanto devido a defasagem temporal das imagens classificadas, com o

ano atual de 2017, inviabilizou-se a verificação de campo que acabaria prejudicando a análises das classes. Contudo utilizou-se imagens disponibilizadas pelo *Google Earth Pro* para a verificação das amostras, uma vez que a plataforma é capaz de conceder um acervo de imagens históricas e oferecer imagens com alta resolução espacial de diferentes fontes de satélites como *IKONOS* e *Quickbird*, que permite uma visualização com elevado grau de detalhes, contribuindo assim com a verificação (LOPES, 2009).

Dessa maneira foram selecionados automaticamente um total de 100 amostras de referência de forma aleatória na imagem classificada através da ferramenta *Create Random Points* no *ArcGIS 10.2* e em seguida extraiu-se os dados das classes aos respectivos pontos onde estavam inseridos utilizando *Extract Values Points*. Depois foram criados marcadores no *Google Earth Pro*, que serviu como imagem de referência para a verificação com a realidade respeitando o período temporal de cada classificação, e adicionadas as coordenadas de cada ponto aleatório criado no programa *ArcGIS 10.2*.

Tomando como base as observações feitas por intermédio das imagens do *Google Earth Pro* foi possível a inserção da realidade aos pontos de validação tendo como parâmetro aos números das classes adotados na classificação (Tabela 1). Com isso, foi possível realizar comparação da quantidade de amostras classificadas corretamente e incorretamente, de acordo com suas respectivas classes, pela classificação do programa *ArcGIS 10.2* usando o método MAXVER. Em seguida, a esse procedimento, foi elaborada a matriz de confusão com os dados tabulados em planilhas eletrônicas no *Excel*, assim como o cálculo da equação (1) do índice *Kappa* para validação da classificação.

$$k = \frac{n \sum x_{ij} - \sum x_{+i} x_{+j}}{n^2 - \sum x_{+i} x_{+j}} \quad (1)$$

Onde, k é o índice kappa; $\sum x_{ij}$ é o somatório da diagonal da matriz de confusão; n é o número total de amostras; e x_{+i} é dado pela soma das linhas e x_{+j}

pela soma das colunas dada na matriz de confusão, desse modo, $\sum x_{+j}$ é o somatório do produto das somas entre colunas e linhas. Para interpretação do resultado da equação admitiu-se os seguintes valores para concordância pelo método *Kappa* (tabela 2).

Tabela 2. Valores para avaliar o grau de concordância a partir do índice *Kappa*.

Valor do Kappa		Concordância
<	0,20	Pobre
0,21 -	0,40	Fraca
0,41 -	0,60	Moderada
0,61 -	0,80	Boa
0,81 -	1,00	Muito boa

Fonte: Leão (2007).

Após a classificação e validação, extraiu-se exclusivamente o espelho d'água do reservatório de Orós, vetorizando o mesmo em polígono para a realização de ajustes e obtenção de sua área em km². Além disso, o ajuste no espelho d'água vetorizado foi necessário, pois, havia a existência de nuvens sobre o reservatório o que acabou gerando falsos polígonos de outras classes e para corrigir isso procedeu-se a exclusão desses falsos polígonos, além do ajuste no tamanho da área superficial levantada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise dos dados espectrais do sensoriamento remoto

Autenticou-se a extração e plotagem do espelho d'água do açude de Orós, através da validação da imagem classificada, que foi adquirida por meio da geração da matriz de confusão das classificações supervisionadas das imagens de satélite (Tabela 3, 4 e 5). Conforme pode-se ver, as diagonais das matrizes de confusão indicam a quantidade de amostras classificadas corretamente de acordo com suas respectivas classes, os demais números mostram a quantidade de amostras classificadas de maneira incorreta pelo programa *ArcGIS 10.2*.

Tabela 3. Matriz de confusão da classificação supervisiona da imagem do ano de 1984.

		Realidade			
		Corpos d'água	Área antropizada	Área mata nativa	Área agrícola
Classificado	Corpos d'água	11	1	0	0
	Área antropizada	0	33	0	0
	Área mata nativa	0	2	33	5
	Área agrícola	0	2	0	13

Tabela 4. Matriz de confusão da classificação supervisiona da imagem do ano de 2010.

		Realidade			
		Corpos d'água	Área antropizada	Área mata nativa	Área agrícola
Classificado	Corpos d'água	12	0	0	0
	Área antropizada	0	34	0	2
	Área mata nativa	0	1	28	3
	Área agrícola	0	4	1	15

Tabela 5. Matriz de confusão da classificação supervisiona da imagem do ano de 2016.

		Realidade			
		Corpos d'água	Área antropizada	Área mata nativa	Área agrícola
Classificado	Corpos d'água	9	0	0	0
	Área antropizada	0	37	1	1
	Área mata nativa	0	1	26	3
	Área agrícola	0	4	2	16

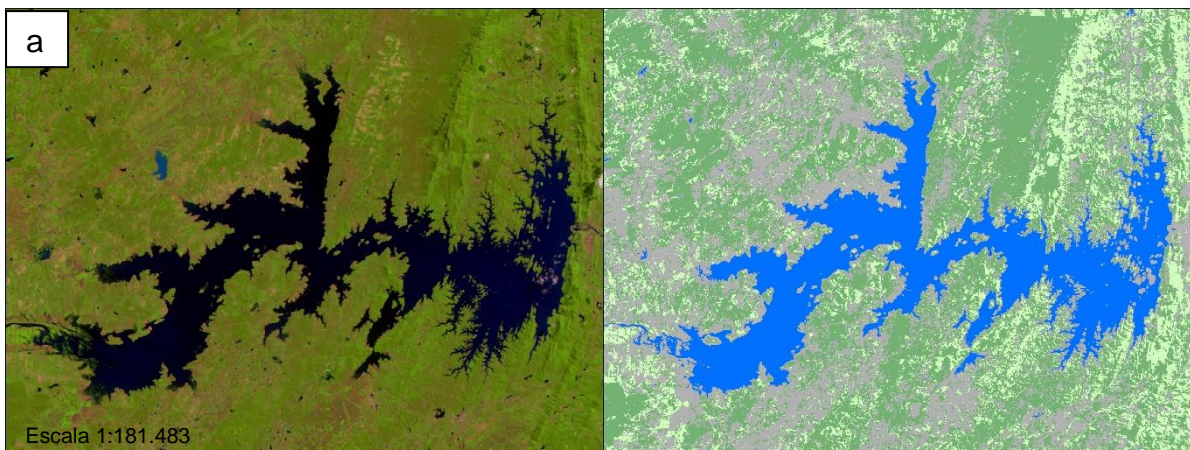
Efetuando o cálculo do índice *Kappa* (equação i), para avaliar a acurácia dos dados obteve-se um grau de concordância muito boa conforme Leão (2007) (Tabela 2). Onde o índice *Kappa* para a classificação da imagem de satélite Landsat-5 do ano de 1984 e do ano de 2010 foram, respectivamente, de 0,86 e 0,85, para a classificação da imagem de satélite do Landsat-8 se alcançou um total de 83% de acurácia, ou seja, seu índice *Kappa* foi igual a 0,83. Desse modo, para todos os

casos a classificação supervisionada obteve uma precisão satisfatória, que nesse caso valida a classificação e os dados do espelho d'água obtidos através dela.

Desse modo a classificação supervisionada, pelo método de MAXVER, utilizando a fotointerpretação de Florenzano (2011), realizada no programa *ArcGIS 10.2* permitiu que fossem divididas, com um nível de aceitação muito bom, as classes nas imagens de satélite Landsat-5 e Landsat-8. Para méritos do trabalho foi pertinente apenas a classificação dos corpos d'água, especificamente do açude de Orós, objeto de estudo, por meio dessa classificação foi possível compreender o espelho d'água do reservatório e posteriormente extrai-lo através da vetorização do mesmo (Figura 3).

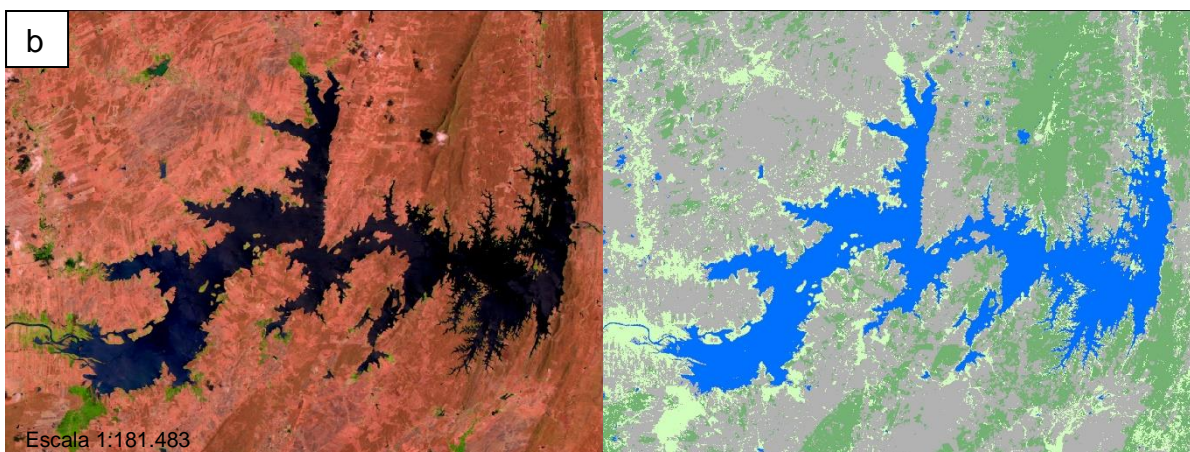
Landsat-5

Classificação



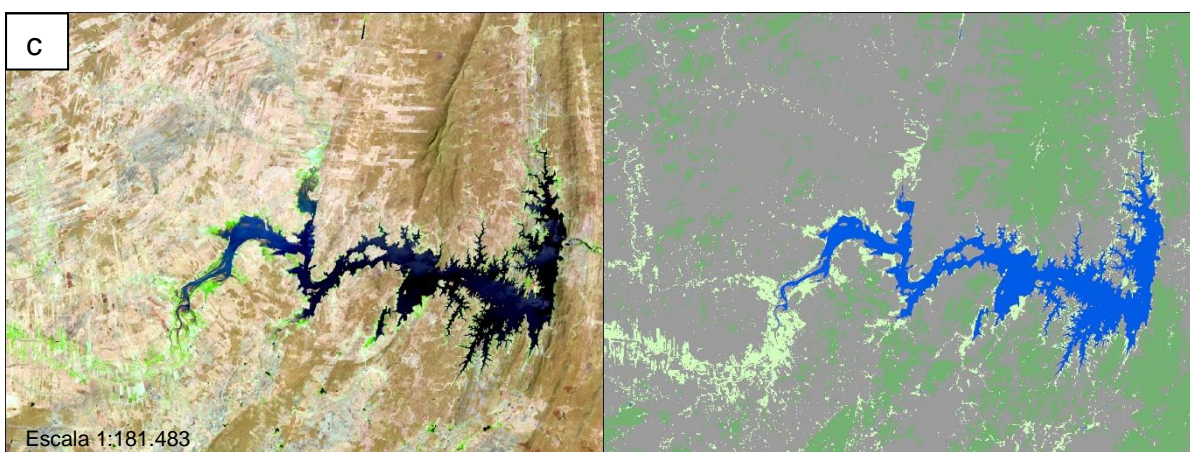
Landsat-5

Classificação



Landsat-8

Classificação



Classes adotadas conforme (Tabela 1):

■ Corpos d'água ■ Área antropizada ■ Mata nativa ■ Área agrícola

Figura 3. Imagens sensoriais orbitais e sua classificação. (a) ano de 1984; (b) ano de 2010; (c) ano de 2016.

Ao vetorizar o espelho d'água do açude de Orós das imagens classificadas e obter sua área, foi possível observar com a comparação temporal, que houve uma diminuição, sendo drástica no período da seca entre os anos de 2010-16 (Figura 4). E ainda se nota que não existe uma grande alteração da área do ano de 1984 e 2010, o que indica que a relação espaço-temporal não influenciou na variação hídrica entre esses anos. Apesar de que no ano de 1983 foi registrada uma seca de acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, (2016a) e segundo a instituição supracitada a última seca registrada antes de 2010 foi nos anos de 2002-03, seis anos se passaram até a recente seca chegar, ou seja, houve mais tempo para recuperação de área hidráulica e ainda assim o espelho d'água de 2010 possui uma área pouco inferior a área de 1984. Essa diferença pode estar relacionada com o assoreamento do açude, tendo em vista que o assoreamento diminui o volume útil do reservatório e consequentemente sua área, e aliada a alta demanda atual de água (CAMPOS, 2015).

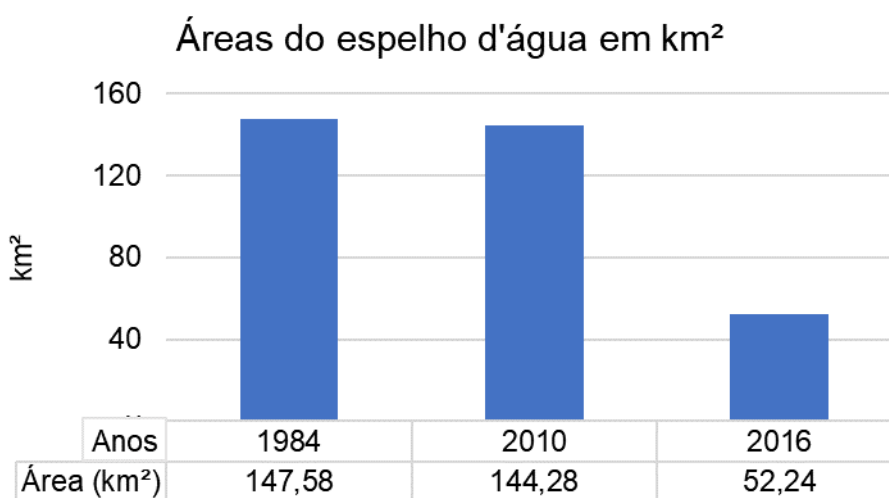


Figura 4. Quantificação da área em km² extraídos através da vetorização dos espelhos d'água dos anos de 1984, 2010 e 2016.

Ao analisar a área do espelho d'água entre os anos de 2010 e 2016 (Figura 5), percebe-se uma redução expressiva na área de abrangência desse açude, a qual representa um decréscimo de 63,8% em virtude da seca prolongada. O resultado obtido é semelhante aos de Zhang *et al* (2017) que, através de resultados

alcançados por meio do SR, evidenciou significativas reduções, na área de vários reservatórios, causadas por fenômenos de secas.

Assim como foi comprovado por Bueno (2014) e Zhang (2017), essa perda de água do reservatório e conseqüentemente redução da área do espelho d'água é compatível com as perdas por evaporação e aos usos de água através das principais demandas do açude. Com tudo isso, constata-se que o produto do processamento do SR contribuiu para compreender a dinâmica dos processos de ganho e perda de área do espelho d'água do reservatório de Orós, que através desses métodos de SR foi possível estimar as perdas da área do reservatório durante o período de seca entre 2010 e 2016.

Mapa dos espelhos d'água do açude Orós dos anos de 1984, 2010 e 2016 sobrepostos.

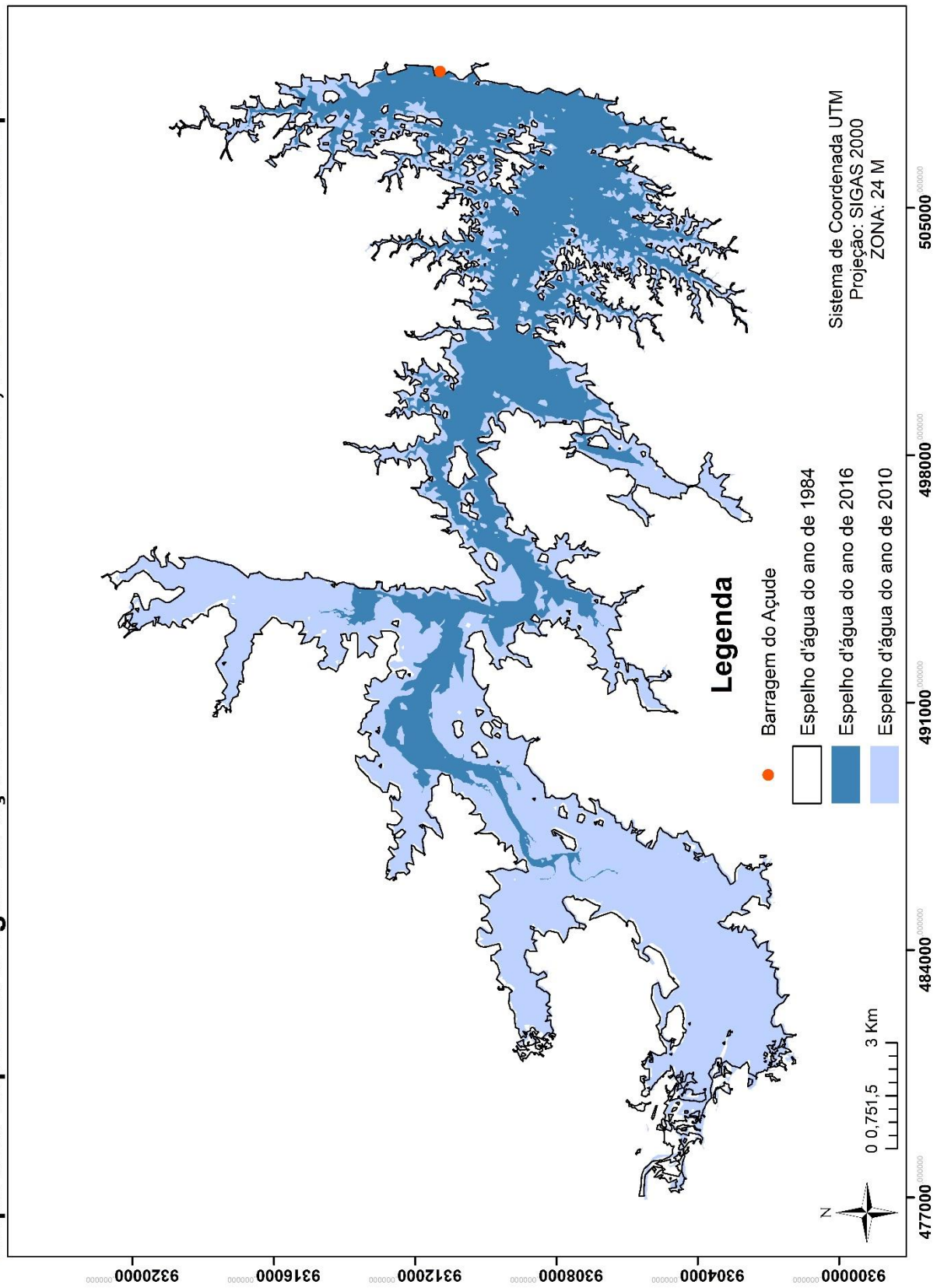
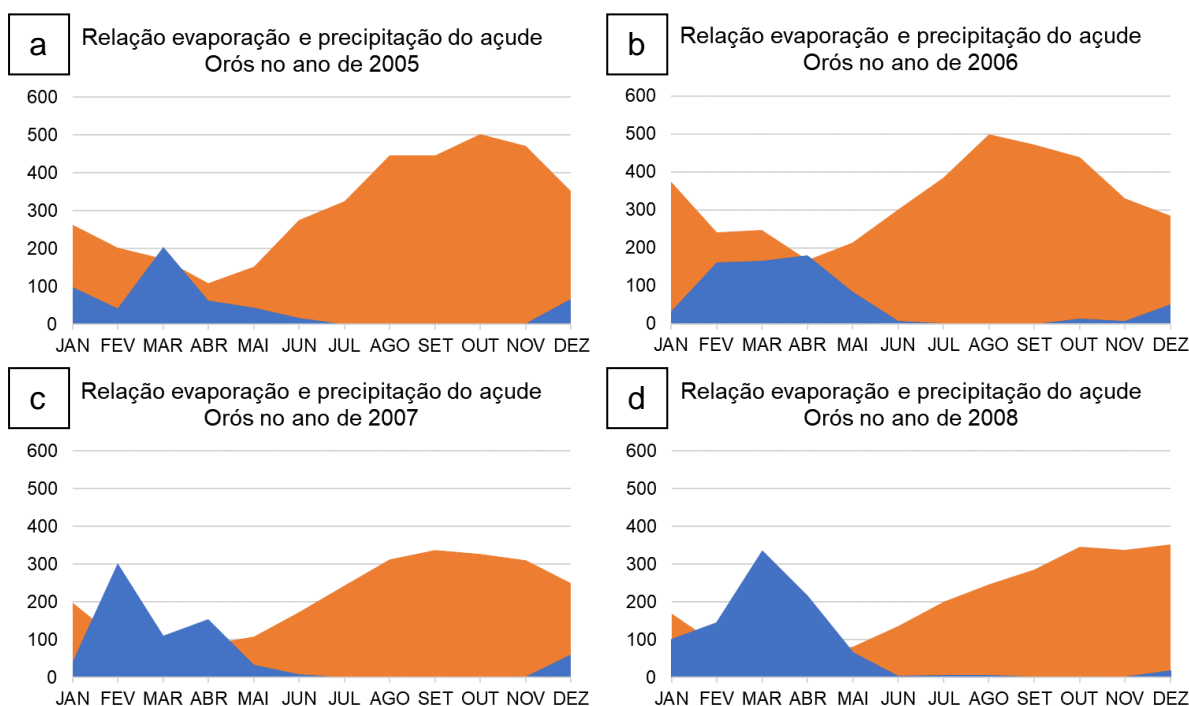


Figura 5. Sobreposição dos espelhos d'água do açude Orós.

5.2. Precipitação e Evaporação

A precipitação anual da região da Bacia Hidrográfica do Alto Jaquaribe, normalmente tem uma média de 750 mm e geralmente se tem 2500 mm de evaporação média anual na região (FERNANDES; GHEYI, 2012). Observa-se que na relação evaporação e precipitação sempre há uma contribuição menor de precipitação do que de evaporação (Figura 6), o que indica um aporte negativo ao espelho d'água do açude Orós. Entretanto, em anos chuvosos (2006, 2007, 2008, 2009 e 2011), os quais apresentam pluviosidade aproximada e inclusive superior à média historicamente observada, nota-se a predominância das chuvas nos meses entre fevereiro a maio, onde nesses meses, quando a precipitação pluviométrica não supera a evaporação, existe uma retirada efetiva de água para a atmosfera menor que nos demais meses.



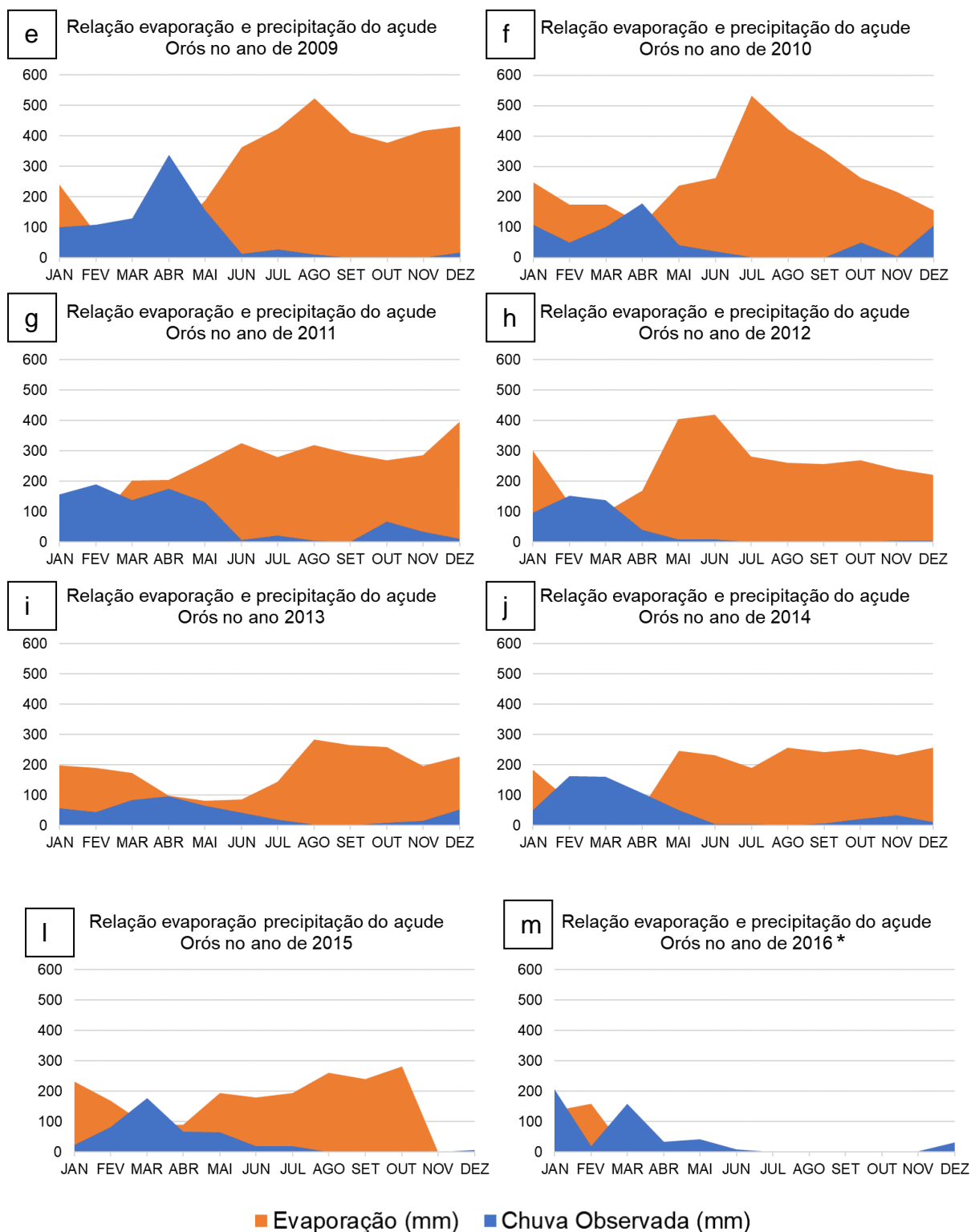


Figura 6. Relação evaporação e precipitação do açude Orós entre os anos de 2005 a 2016. (a) ano de 2005; (b) ano de 2006; (c) ano de 2007; (d) ano de 2008; (e) ano de 2009; (f) ano de 2010; (g) ano de 2011; (h) ano de 2012; (i) ano de 2013; (j) ano de 2014; (l) ano de 2015; (m) ano de 2016. Fonte: FUNCEME e INMET.
 * Não havia informações disponíveis de evaporação de março a dezembro para o ano de 2016.

Houve uma carecia de dados no ano de 2016 para aos meses a partir março, mesmo assim, ao observar o período de seca entre anos de 2010 e 2016, é notável

que há uma queda no índice de evaporação ao passar dos anos. Onde em 2010 a maior marca no índice de evaporação mensal superou os 500 mm, nos dois anos seguintes os maiores índices mensais ficaram em torno de 400 mm e nos anos de 2013, 2014 e 2015 a evaporação mensal não ultrapassou a faixa de 300 mm. Isto ocorre, segundo Fontes *et al* (2003) devido ao decréscimo do espelho d'água, o que acaba proporcionando, conseqüentemente, uma menor evaporação.

Em relação aos dados pluviométricos obtidos ao longo dos anos de 2010 e 2016, observa-se (Tabela 6) que as precipitações foram significativamente abaixo da média da região, com exceção ao ano de 2011 onde se observou as médias mais altas de precipitação durante os meses, onde teve-se um total de 938,01 mm de chuva no ano inteiro.

Tabela 6. Média mensal das chuvas observadas em mm entre os anos de 2010 a 2016.

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010	107,75	50,4	102,68	178,1	41,05	20,98	1,32	0	0	49,3	4,16	106,51
2011	156,5	191,17	138,02	175,86	131,59	5,99	20,9	5,26	0	67,86	33,21	11,65
2012	95,93	152,86	137,30	41,15	8,64	8,72	0,34	0,03	0,42	1,02	5,74	5,09
2013	57,82	44,88	84,44	95,56	65,5	42,81	18,97	2,45	0,14	9,94	15,14	52,94
2014	49,8	163,92	161,67	107,27	49,64	4,74	3,81	0,09	6,99	20,7	34,19	10,76
2015	23,73	80,86	177,58	67,99	65,48	19,25	18,64	0,21	0,27	0,34	0,1	6,77
2016	207,76	18,36	158,42	34,5	41,76	8,15	0	0	3,64	1,09	3,37	32,1

Fonte: FUNCEME.

As precipitações na região são influenciadas principalmente pela posição da ZCIT, pela temperatura da superfície do mar e fenômenos como *El Niño* e *La Niña* (DA SILVA *et al*, 2011; FERNANDES, 2012; TOLEDO, 2013; NÓBREGA, 2016). Os maiores índices de precipitação pluviométrica se concentram nos meses de fevereiro, março, abril e maio, que compreendem a quadra chuvosa da região (MOURA *et al*, 2015). Porém no período de seca não há característica de quadra chuvosa, com os níveis de chuva baixos, pode-se notar uma variação no nível de precipitação durante os meses, não sendo possível definir com certeza onde se inicia o período de precipitações e onde se termina o mesmo em ocasiões de seca, tendo em vista que no ano de 2010, por exemplo, precipitações maiores que 100 mm ocorrem apenas em janeiro, março, abril e dezembro, em 2012 apenas dois

meses, fevereiro e março, já em 2013 nenhum mês teve precipitação superior a 100 mm e nos anos de 2014 a 2016 também se observa variação semelhante aos demais, em baixos níveis de chuva.

Embora a isso, nota-se que mesmo com os baixos índices de pluviometria ainda é possível diferenciar a variação intra-anual de precipitação ao longo dos anos de 2010 a 2016, onde observa-se que os meses que compreendem a estação chuvosa de janeiro a maio possuem uma, ainda que pequena e insuficiente, taxa maior de contribuição de chuvas sem comparados aos meses de estiagem, junho a dezembro (Figura 7). De todo modo, entende-se que a precipitação contribui para o aumento do espelho d'água e a evaporação desconta do mesmo, nos anos dessa última seca a contribuição não compensou a quantidade descontada o que consequentemente implica na capacidade do reservatório (FONTES *et al*, 2003).

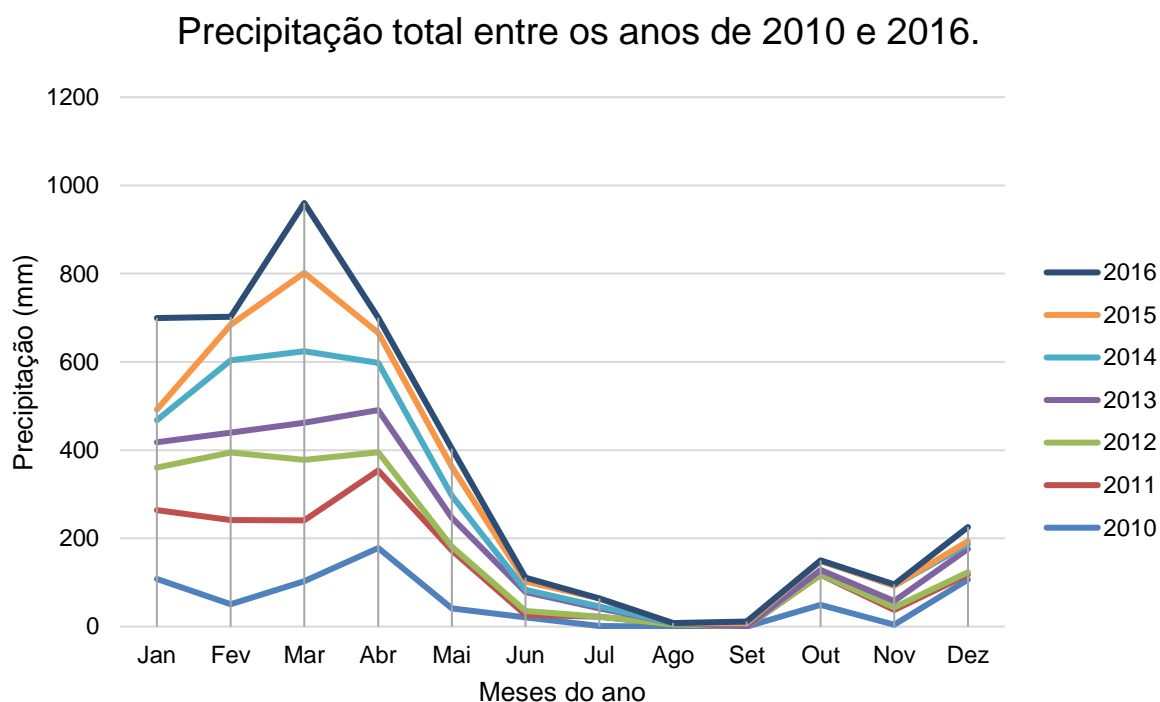


Figura 7. Plotagem de dados de precipitação total entre os meses durante os anos de 2010 a 2016. Fonte: FUNCEME

5.3. Uso e Ocupação

De maneira geral as principais finalidades do açude de Orós são no abastecimento das cidades localizadas no Médio e Baixo Jaguaribe, irrigação, piscicultura, culturas agrícolas em áreas de montante, e além desses usos, a água do açude Orós é também usada para o abastecimento da cidade de Fortaleza (ARRAES et al, 2012). O reservatório de Orós atualmente atende diretamente um total de seis municípios, onde ao todo estima-se que atenda a demanda de cerca de 250.612 pessoas (Tabela 7). Essas demandas segmentam-se especificamente em demandas de montante, que constituem em carência do recurso hídrico onde se situa o reservatório, principalmente as margens do mesmo, e de jusante da barragem, que consiste nas requisições de água ao decorrer do fluxo do rio perenizado após a barragem (CSBHAI, 2017).

Tabela 7. População das cidades atendidas pelo reservatório de Orós.

Cidades	Habitantes
Icó	65.456
Iguatu	96.495
Jaguetama	17.863
Jaguaribe	34.409
Orós	21.389
Quixelô	15.000
Total	250.612

Fonte: IBGE cidades (2010)

Para as demandas de montante, a água é retirada diretamente do espelho d'água do reservatório, essas demandas incluem principalmente finalidades relacionadas ao abastecimento humano, dessedentação animal e piscicultura. Em relação ao abastecimento humano o açude Orós atende a sede municipal de Orós, além de inúmeras vilas e distritos dos municípios de Orós, Iguatu e Quixelô, os quais estão situados ao longo das margens do reservatório. Além disso algumas comunidades possuem sistemas adutores com captação no manancial e ainda há o atendimento das demandas dos caminhões-tanques através da operação carro-pipa (CSBHAI, 2017).

Em relação as demandas de jusante, elas se subdividem em três, onde existem as demandas ao longo do leito perenizado do rio, as demandas do sistema de

transferência de água Orós-Lima Campos e as do Sistema de transferência de água Orós-Feiticeiro, sendo que para atingir todas essas demandas o açude Orós libera uma vazão de 2.300 L/s. A requisição hídrica ao longo do leito perenizado, se designam ao atendimento do abastecimento humano da sede municipal de Jaguaribe, assim como de vilas e distritos ao longo das margens do fluxo do rio perenizado. Além de atender o abastecimento humano na sede do município de Jaguaribama, de forma emergencial devido à atual condição de escassez hídrica. As demandas de jusante do reservatório de Orós ainda atendem o consumo de água através da dessedentação animal e irrigação de áreas de até 3 ha ao longo do leito perenizado (CSBHAI, 2016; 2017).

O açude Orós ainda conta com um canal de integração com o açude Lima Campos, denominado de Sistema Orós-Lima Campos, que fica situado no município de Icó, composto por canais escavados, túnel e torre de tomada d'água, através do qual se faz a transferência das águas por gravidade. Este sistema em condições normais de armazenamento atende diversas demandas como o abastecimento dos distritos e diversas comunidades nos municípios de Orós e Icó, inclusive a sede municipal de Icó. Já a demanda do Sistema Orós-Feiticeiro, que é um sistema composto por canais de concreto, adutora e estação de bombeamento, é capaz de atender em condições normais de armazenamento as de abastecimento dos distritos de Feiticeiro e Nova Floresta, em Jaguaribe e diversas comunidades ao longo do canal e do riacho Feiticeiro (CSBHAI, 2016; 2017).

Todas as atividades citadas implicam em uma alta demanda pelo uso da água que em períodos de seca o açude não é reabastecido com as chuvas, que acaba diminuindo de maneira drástica a quantidade de água disponível no reservatório (ARRAES et al.,2012). Assim altas demandas aliadas as baixas precipitações influenciaram na diminuição da área do espelho d'água do ano de 2016, uma vez que o tipo de escoamento predominante da região é hortiniano, a água não é capaz de infiltrar totalmente no solo e a alta taxa de evaporação registrada na região faz grande parte da pouca água precipitada durante os anos de seca ser evaporada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreende-se que as baixas medias de precipitação, e altas medidas de evaporação, da região durante a seca tiveram influência negativa sobre a área do espelho d'água do reservatório de Orós. Com base no mapeamento do espelho d'água do reservatório de Orós nos anos de 2010 e 2016 pode-se concluir que no início da seca em 2010 a área do espelho d'água era de 144,28 Km² e durante os anos houve um decréscimo chegando à 52,24 Km² em 2016, isso equivale a uma diminuição de 68,3% do espelho d'água do reservatório de Orós durante esse período de estio.

Adicionalmente, não houve diferença significativa na área do espelho d'água dos anos de 1984 e 2010, os quais foram 147,58 Km² e 144,28 Km² respectivamente, sendo assim é possível afirmar que a relação espaço-temporal não influenciou na variação hídrica entre esses anos.

Notou-se ainda que o ano de 2011 foi o único ano, entre 2010 e 2016, que superou a média de pluviometria da região alcançando um total de 938,01 mm, entretanto os demais anos foram abaixo da média da região. Com menos chuvas houve, ao decorrer dos anos de seca, uma diminuição gradativamente dos índices de evaporação conseqüentemente à diminuição do espelho d'água. Além disso, a retirada efetiva de água do açude pelas suas diversas demandas não permitiu que o mesmo reabastecesse sua área hidráulica.

Este trabalho ressalta a necessidade de uma gestão adequada dos recursos hídricos, pois os açudes construídos no Nordeste brasileiro são importantes para manter o abastecimento das cidades em períodos de seca. Os produtos, apresentados ao definir as áreas do espelho d'água, permitiram fazer uma análise clara e adequada face às alterações aceleradas que observamos no semiárido.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- 1) Compreender os processos de sedimentação do açude Orós: para compreender o processo de assoreamento do açude, tendo em vista que a perda da profundidade juntamente com as elevadas taxas de evaporação favorecem a redução do aporte hídrico do açude.

2) Estudar as relações entre a secas e a percepção e uso da água por parte das populações das cidades atendidas pelo Orós com vistas a direcionar melhor as intervenções dos gestores e tomadores de decisão junto às comunidades no que diz respeito à intervenções e educação ambiental.

3) Utilizar técnicas de modelagem ambiental para avaliar os impactos das mudanças climáticas em açudes, tendo em vista sua importância socioambiental no contexto do semiárido.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRAES, F. D. D.; DE ANDRADE, E. M.; DA SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o Açude Orós e Suas adjacências. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 119-127, 2012.

BATISTA, A. A. et al. Sazonalidade e variação espacial do índice de estado trófico do açude Orós, Ceará, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 39-48, 2014.

BEZERRA, G. M. Políticas públicas e a convivência com a seca: uma análise geográfica no município de Tacima–PB. 2014.

BUENO, E. O. Evaporação do reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos: caracterização da pegada hídrica. 2014.

CAMPOS, J. **Influência da forma do assoreamento na vazão regularizada de reservatórios do Estado do Ceará**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **estudos avançados**, v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014.

CAVALCANTE, A. A.; DA CUNHA, S. B. Dinâmica fluvial no semiárido e gestão dos recursos hídricos: enfoques sobre a bacia do Jaguaribe-CE. **Os recursos hídricos do ceará: integração, gestão e potencialidades**, p. 83, 2011.

CAVALCANTI, I. F.A. FERREIRA, N. J. DIAS, M. A. F. S. DA SILVA, M. G. A. J. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, p. 213-234, 2009.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Secas no Brasil: política e gestão proativas**, DF: 2016a.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília, DF: 2016b.**

CIDADES, I. B. G. E. Censo 2010. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 24 de novembro de 2017.

COMITÊ DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JAGUARIBE - CSBHAIJ. **Relatório**. Orós, 2016. Relatório. Disponível em: <<http://www.csbhaj.com.br/relatorios/relatorio-de-visita-tecnica-ao-sistema-de-transposicao-oros-lima-campos/>>. Acesso em: 17 de novembro de 2017.

COMITÊ DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JAGUARIBE – CSBHAIJ. Site do Comitê da Sub-bacia do Alto Jaguaribe. **Ata da reunião realizada no dia 25 de maio de 2017**. Disponível em: <<http://www.csbhaj.com.br/atas/>>. Acesso em: 17 de novembro de 2017.

DA SILVA, J.; DOS SANTOS, P. R. A. A utilização dos modelos SRTM na interpretação geomorfológica: técnicas e tecnologias aplicadas ao mapeamento geomorfológico do território brasileiro. **INPE, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 4261-4266, 2007.

DA SILVA, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento**. 2006. 298 f., il. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável)-Universidade de Brasília, Brasília.

DA SILVA, V. P. R.; GUEDES, M. J. F.; LIMA, W. F. A.; CAMPOS, J. H. B. C. Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.83-87, 2002.

DA SILVA, V. P.R. et al. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011.

DE ALMEIDA, F. C.; FERREIRA, D. A. C. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado a recursos hídricos**. 2012. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/98>>. Acesso em: 6 de novembro de 2017.

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Barragem Orós**. 2011. Disponível em: <<http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20do%20Ceara/oros.htm>>. Acesso em: 27 outubro 2017.

FARIA, R. M. CLASSIFICAÇÃO TEMPORAL DE IMAGENS LANDSAT 8 PARA O MONITORAMENTO DAS MUDANÇAS DO USO DA TERRA. 2015

FERNANDES, W. S. **Avaliação do impacto das mudanças climáticas na oferta hídrica da bacia hidrográfica do reservatório Óros usando os modelos de mudanças climáticas do IPCC-AR4, levando em consideração as diversas**

incertezas associadas. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

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

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** São Paulo: Oficina de Texto, p. 7, 2011.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da Pesquisa Científica. 2002.

FONTES, A. S.; DE OLIVEIRA, J.; MEDEIROS, Y. D. P. A evaporação em açudes no semi-árido nordestino do Brasil e a gestão das águas. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 15, 2003.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. **Mapeamento dos espelhos d'água do Brasil.** Abr/2008. p. 96.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** Plageder, 2009.

GHEYI, H. R. et al. Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações. **Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,** 2012.

LEÃO, C. et al. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Florianópolis: INPE,** p. 939-946, 2007.

LEÃO, R. A. O. et al. Caracterização fisiográfica e simulação hidrológica em reservatórios da bacia do Jaguaribe-CE. 2010.

LINDOSO, D.; EIRÓ, F.; ROCHA, J. D. Desenvolvimento sustentável, adaptação e vulnerabilidade à mudança climática no Semiárido nordestino: Um estudo de caso no Sertão do São Francisco. **Revista Econômica do Nordeste,** v. 44, p. 301-332, 2016.

LOPES, E. E. et al. Proposta metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para a produção de mapas. 2009.

LOPES, F. B. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil.** 2013. Tese de Doutorado.

LOPES, José Wellington Batista. **Disponibilidade hídrica em reservatórios no semiárido brasileiro: interações entre assoreamento e escassez.** 2016. 106 f. Tese (Doutorada em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MACHADO, M. T. S; BAPTISTA, G. M. M. Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, 2016.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MENDES, S. M. Impactos das Mudança Climáticas na Disponibilidade Hídrica no Bioma Caatinga. 2015.

MOLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações**. Campina Grande: Insa, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa, MG: EDUFV, 2011.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, C. F.; AYANE, G. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista de geografia Norte Grande**, n. 63, p. 9-26, 2016.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PEREIRA, F. A. C. **Uma análise computacional e geo espacial do sistema hídrico do Complexo Portuário do Pecém**. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

PEREIRA, G. R.; CUELLAR, M. D. Z. Impactos ambientais e socioeconômicos da seca de 2012/2014 no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará, Brasil. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, v. 8, 2014.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. GMC: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS®. 2015.

RÊGO, T. C. C. C. **Proposta metodológica para gestão de secas: o caso da bacia do Alto Jaguaribe, Ceará**. 2008. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RUDORFF, B. F. T. Produtos de sensoriamento remoto. **Divisão de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos-SP**. v. 10, 2012. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 6 de novembro de 2017.

SABOIA, A. L. **Água para quem? Os meandros da gestão de recursos hídricos no estado do Ceará**. 2015. 178 f. Dissertação (mestrado em desenvolvimento e meio ambiente)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2015.

SANTOS, M. S. et al. Definição de limiares de secas e cálculo do índice de precipitação padronizada por meio de análise regional de frequências na bacia do alto São Francisco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos–RBRH**, p. V18, 2013.

SAUSEN, T. M. Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais. **Divisão de sensoriamento remoto INPE**. v. 29, n. 05, 2007. Disponível em:< <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acessado em: 6 de novembro de 2016.

TOLEDO, C. E. **Conectividade hidrológica em ambiente semiárido: estudo de caso bacia hidrográfica do açude Orós**. 2013. Tese de Doutorado.

VIANNA, P. J. R.; AMARAL FILHO, J.; LÓCIO, A. B. Os Recursos hídricos do Ceará: integração, gestão e potencialidades. **Texto para discussão, Fortaleza: IPECE**, n. 22, 2006.

ZHANG, H. et al. A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss. **Journal of Hydrology**, v. 555, p. 213-227, 2017.