



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS CAMPINA GRANDE - PB

MARIA CLARA PALMEIRA FURTADO ANDRADE

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: ANÁLISES DE TENDÊNCIAS DE
VARIÁVEIS ESPECTRAIS NO SEMIÁRIDO**

CAMPINA GRANDE

2019

MARIA CLARA PALMEIRA FURTADO ANDRADE

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: ANÁLISES DE TENDÊNCIAS DE
VARIÁVEIS ESPECTRAIS NO SEMIÁRIDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para
encerramento do componente curricular e conclusão da
graduação em Engenharia Civil.

Orientadores: Dra. Iana Alexandra Alves Rufino

Dr. John Elton Brito Leite Cunha

CAMPINA GRANDE – PB

19 DE JUNHO DE 2019

MARIA CLARA PALMEIRA FURTADO ANDRADE

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: ANÁLISES DE TENDÊNCIAS DE
VARIÁVEIS ESPECTRAIS NO SEMIÁRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Aprovada em: ____ de _____ de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Nota: _____

**Dra. Iana Alexandra Alves Rufino – Universidade Federal de Campina Grande
(Presidente – Orientadora)**

Nota: _____

**Dr. John Elton Brito Leite Cunha – Universidade Federal de Campina Grande
(Orientador)**

Nota: _____

**Dr. Ricardo Aragão – Universidade Federal de Campina Grande
(1° Examinador)**

Nota: _____

**Dra. Rochele Sheila Vasconcelos – Universidade Federal de Pernambuco
(2° Examinador)**

A Deus, minha essência de vida. Aos meus pais Júnior e Micheline, meus avós Salete, Emília e Francisco, meus irmãos Ivo e Luísa, por sempre acreditarem na minha capacidade, sem nunca medirem esforços para todas as minhas concretizações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por seu infinito Amor. À minha Mãe Santíssima e intercessora, Maria, por me ensinar a seguir firme diante dos desafios e através de seu Filho operar tantas Graças na minha vida.

Aos meus pais, João Mucio Andrade Júnior e Micheline Palmeira Furtado Andrade, por tanto amor, pelos valores que me ensinaram, por priorizarem a educação e mesmo diante de tantas dificuldades se doarem incansavelmente. Pela confiança e força que me passaram, especialmente quando os obstáculos foram maiores. Aos meus irmãos Ivo Gabriel e Maria Luísa pelo companheirismo e entusiasmo.

Aos meus avós maternos, Salete, Emília e Francisco que nunca mediram esforços para apoiar todos os meus sonhos e por todos os cuidados e orações. Anjos da guarda existem e certamente os meus são os três. Aos meus avós paternos, Ângela, Mucio e minha bisavó Maura, por todo carinho e confiança depositada.

Estendo meus agradecimentos a todos os meus tios, primos e familiares pela afeição e por também acreditarem na minha capacidade. Em especial, à minha prima e afetivamente irmã, Rebeca, por toda lealdade, unidade e fraternidade, a qual foi instrumento de crescimento na minha vida. A Roberto, Vera, Maria e Ulysses pela bondade, paciência e partilha, o quais foram essências nesse percurso.

Aos professores e pesquisadores, Iana Alexandra Alves Rufino, John Elton Brito Leite Cunha, Rochele Sheila Vasconcelos e Carlos de Oliveira Galvão pelas riquíssimas contribuições, suporte e incentivo, não somente na construção desse trabalho científico, mas por serem para mim inspiração e motivação no universo da academia e da pesquisa.

A todos os docentes, que ao longo de toda minha vida, foram comprometidos em compartilhar o conhecimento, agradeço em nome do professor Ricardo Aragão que compõe a banca examinadora deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Hidráulica II pela cooperação, acolhimento e carinho, serão sempre para mim a família Lab. doce Lab.

Aos amigos Gabriela, Laís, Eduardo, Pamêlla, Isabelle, e a Família Filhos da Luz pelos momentos partilhados, pelo suporte e especialmente por serem instrumento de Deus na minha vida. Enfim, a todos os bons laços de amizade, gratidão.

“Só quem tenta o absurdo consegue o impossível”.

(Albert Einstein)

RESUMO

O acompanhamento, ao longo dos anos, da variação da cobertura vegetal e das mudanças climáticas do Semiárido brasileiro deve ser visto como uma medida eficiente de segurança na tentativa de mitigação dos efeitos das secas na região. A inocuidade do monitoramento do Semiárido frente à variabilidade climática e as ações antropogênicas, estabelecem a vulnerabilidade dessa região. A análise da variação espaço-temporal do albedo de superfície e do índice de vegetação melhorado (Enhanced Vegetation Index - EVI), em paralelo com estudos sobre a precipitação acumulada, tornam-se ações eficazes para a fiscalização dessa área, com características e riquezas ambientais exclusivas do Brasil. Desta forma, esse estudo tem como finalidade identificar áreas degradadas do semiárido, sobretudo da região recortada da bacia de contribuição do Açude de Boqueirão a partir da cena 215/065 (órbita/ponto), utilizando-se longas séries temporais de sensoriamento remoto. Para este fim, proveu-se de imagens de satélite da família Landsat, num intervalo temporal de 34 anos, juntamente com dados meteorológicos para aplicação no Serviço Automático de Processamento do SEBAL e consequente obtenção dos subprodutos desejados, Albedo de Superfície e EVI. Para identificar as áreas de degradação foi aplicado um teste de correlação linear entre as variáveis espectrais e o tempo. Os resultados obtidos demonstraram a importância dos sistemas de processamento automáticos de dados orbitais, o que permitiu produzir um grande volume de informações para área de estudo. As variáveis utilizadas provaram ser eficientes no processo de monitoramento das alterações na superfície do solo demonstrando a capacidade do sensoriamento remoto para monitorar a variabilidade espaço-temporal da vegetação do Semiárido.

Palavras chaves: Albedo de superfície, Computação em Nuvem, Landsat, Sensoriamento Remoto, Bacia do Boqueirão.

ABSTRACT

Over the years, monitoring of the vegetation cover and climate change of the Brazilian semi-arid region should be seen as an efficient safety measure in an attempt to mitigate the effects of droughts in the region. The safety of monitoring of the semi-arid region in the face of climatic variability and anthropogenic actions establish the vulnerability of this region. The analysis of space-time variation of surface albedo and Enhancement Vegetation Index, in parallel with studies on accumulated precipitation, become effective actions for the inspection of this area, with characteristics and environmental richness unique to Brazil. Thus, this study aims to identify degraded areas of the semi-arid region, especially the cut-off area of the contribution basin of the Boqueirão reservoir, from the 215/065 scene (orbit / point), using long time series of remote sensing. To this end, satellite imagery of the Landsat family was used, in a temporal interval of 34 years, together with meteorological data for application in the Automatic Processing Service of SEBAL and consequent obtaining of the desired byproducts, surface albedo and index of enhancement of the vegetation. Then, the linear correlation coefficient was calculated between the spectral variables and the time to identify the areas of degradation. The results obtained demonstrated importance of the orbital data processing automatic systems, which allowed the production of a large volume of information for the study area. The variables used proved to be efficient in the process of monitoring changes in land cover, demonstrating the capacity of the remote sensing to monitor the spatial and temporal variability of the semi-arid vegetation.

Keywords: Surface Albedo, Cloud Computing, Landsat, Remote Sensing, Boqueirão Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Tipos de clima segundo a amplitude de aridez e a escala de susceptibilidade à desertificação	18
Figura 2 - Áreas susceptíveis à desertificação.....	19
Figura 3- Monitor de Secas: Julho/2014 e Julho/2018	20
Figura 4 - Radiação solar incidente e refletida	22
Figura 5- Obtenção de imagens por sensoriamento remoto	23
Figura 6 - Órbitas de satélites artificiais.....	25
Figura 7 - Cronologia histórica do Programa Landsat	26
Figura 8- Localização da bacia de contribuição do Açude de Boqueirão	27
Figura 9- Caracterização da bacia de contribuição do Açude de Boqueirão.....	28
Figura 10 - Bacia de contribuição do Açude de Boqueirão sobreposta a cena 215/065	29
Figura 11 - Área de estudo final com demarcação da região retirada	29
Figura 12- Descrição das etapas metodológicas.....	33
Figura 13 - RasterStack	34
Figura 14 - Linha de tendência da série de precipitação acumulada (mm/ano)	36
Figura 15 - Coeficiente de correlação linear e indicação das áreas de hotspots para a série histórica do albedo de superfície	38
Figura 16 - Coeficiente de correlação linear e indicação das áreas de hotspots para a série histórica do EVI.....	39
Figura 17 - Áreas de Hotspots para o albedo de superfície e EVI.....	41
Figura 18- Histograma do Raster Albedo de Superfície.....	42
Figura 19- Histograma do Raster EVI.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Número de imagens processadas por ano e satélite	30
Tabela 2 – Precipitação média acumulada por ano	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas
ASD - Áreas susceptíveis à desertificação
BLD IT - Bolsa de Longa Duração – Iniciação Tecnológica
CBERS - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CCD - Convenção Internacional de Combate à Desertificação
CREA-BA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERS - European Remote Sensing Satellite
ERST-1 - Earth Resources Technology Satellite – 1
ETM - Landsat Enhanced Thematic Mapper
ETP - Evapotranspiração potencial total anual
EVI - Índice de Vegetação Melhorado
IA - Índice de aridez
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LS - Landsat
MMA - Ministério do Meio Ambiente
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
OLI - Operational Land Imager
P - Precipitação média anual
PAN-BRASIL - Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
RIO-92 - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente
SA - Albedo de Superfície
SAPS - Serviço Automático de Processamento do SEBAL
SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land
SPOT - Satellite Pour l'Observation de la Terre
SSR/MECB - Satélite de Sensoriamento Remoto/ Missão Espacial Completa Brasileira
SR- Surface reflectance
TM - Landsat Thematic Mapper
UFCG - Universidade Federal de Campina Grande
UNCCD - Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca
USGS - United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
2.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	DESERTIFICAÇÃO	17
3.1.1	<i>Áreas suscetíveis à desertificação</i>	17
3.2	SAPS - SERVIÇO AUTOMÁTICO DE PROCESSAMENTO DO SEBAL	20
3.2.1	<i>Albedo de superfície</i>	21
3.2.2	<i>Índice de Vegetação Melhorado</i>	22
3.3	GEOTECNOLOGIAS E SENSORIAMENTO REMOTO	22
3.3.1	<i>Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação e dos Solos</i>	24
3.4	SATÉLITES ORBITAIS	24
3.4.1	<i>Programa Landsat</i>	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	ÁREA DE ESTUDO	27
4.2	MATERIAIS	29
4.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
	APÊNDICE A – Código Fonte 1 Utilizado no R	52
	APÊNDICE B – Código Fonte 2 Utilizado no R	53

1 INTRODUÇÃO

Quase toda a humanidade vive sobre uma base sólida terrestre, que compreende 26% da superfície de terras expostas, os outros 74% são cobertos por água. Desta forma, é importante possuir informações mais precisas sobre a localização, a qualidade e a abundância dos solos, com o objetivo de conservar da melhor forma possível esses recursos naturais não renováveis (JENSEN, 2009).

No Brasil, cerca de 32 milhões de pessoas vivem em áreas suscetíveis à desertificação. Isto inclui principalmente a região do semiárido, que ocupa boa parte dos nove estados do Nordeste. Segundo Nelson Luiz Wendel, engenheiro agrônomo do Ministério do Meio Ambiente (MMA) que atua na Coordenação Técnica de Combate à Desertificação: “esse fenômeno natural da desertificação pode provocar o esvaziamento econômico de regiões inteiras. Pode gerar desagregação social e institucional, além do surgimento de movimentos migratórios de refugiados ambientais para outras regiões. E isto é ainda agravado pela aridização, ou redução de chuvas, prevista para a região Nordeste devido às mudanças climáticas” (CREA-BA, 2018).

No âmbito da análise de recursos hídricos, o impacto decorrente da alteração do uso do solo reflete-se em todos os componentes do ciclo hidrológico, como no escoamento superficial, na recarga dos aquíferos, na qualidade da água e no transporte de sedimentos (MENDES e CIRILO, 2001). Diante desse contexto, técnicas de sensoriamento remoto podem assumir um papel importante no auxílio do monitoramento e identificação das áreas susceptíveis à degradação, como também na caracterização das capacidades dos ambientes do semiárido, e desta maneira, possibilitar a boa convivência entre o homem e o meio ambiente.

A aplicação desenvolvida neste trabalho utilizou séries temporais do Landsat 5, 7 e 8, a fim de investigar os padrões espaciais e temporais das áreas sujeitas à desertificação no semiárido na cena Landsat 215/065 (órbita/ponto). Para este fim, utilizou-se a análise do EVI e do albedo de superfície a partir do algoritmo SEBAL desenvolvido por Bastiaanssen (2000), e automatizado pelo SAPS - Serviço Automático de Processamento do SEBAL (CUNHA et al., 2019).

O SAPS foi desenvolvido no âmbito de um projeto de pesquisa internacional da UFCG com alguns países da comunidade europeia (EUBrazilCloudConnect) e teve sua continuidade através do financiamento do Fundo Setorial de Informática do PaqTc/CEEI. O Trabalho de

conclusão de curso apresentado neste documento foi desenvolvido no contexto deste segundo projeto de pesquisa.

O albedo de superfície (Surface Albedo - SA) pode ser um indicador mais preciso de áreas de solo degradada induzida pela ação humana em comparação com a abordagem tradicional dos índices de vegetação. Este indicador é sensível às variações fenológicas sazonais (WANG et al., 2017) e a mudanças nas propriedades do solo provavelmente causadas por práticas de manejo humano (WANG et al., 2016). Apesar da capacidade reconhecida do albedo para mostrar áreas de solos degradados, não é comum usar suas séries temporais para distinguir entre os efeitos da variabilidade climática e as mudanças antrópicas na cobertura terrestre na floresta seca sazonal (CUNHA, 2018).

Ao longo dos anos, diversas pesquisas relatam a importância do albedo para o entendimento de processos relacionados com mudanças climáticas, desertificação, entre outros (ANDRADE et al., 2010; BERBET, 2002; CULF et al., 1995). Também segundo a pesquisa de Júnior (2018) os resultados de albedo da superfície e dos índices de vegetação foram satisfatórios, corroborando com vários autores e conseguindo demonstrar a degradação sofrida na região, como o aumento das culturas, a diminuição da área vegetada e o aumento do solo exposto. ZHAO et al. (2018) correlacionaram tipos de solo e vegetação em conjunto de dados de baixa magnitude e os resultados indicaram que o albedo remotamente relacionado se correlaciona com a multifuncionalidade, ou as múltiplas funções ecossistêmicas, que tem sido associada a estados alternativos em terras secas globais. E constataram que como tal, o albedo tem o potencial de monitorar as mudanças no funcionamento do ecossistema da terra seca, o que pode informar sobre o início da desertificação nessas áreas.

Enquanto o EVI consiste de uma relação na refletância relativa da radiação vermelha e infravermelha próxima, no entanto também inclui fatores de ajuste que o tornam mais robusto para quantificação de biomassa quando comparado ao NDVI (GARROUTE et al., 2016). De acordo com Gurung et al. (2009), esse índice vegetativo melhora a sensibilidade para as variações estruturais e arquitetônicas do dossel de tipos de vegetação com maior densidade de biomassa e minimiza muitos dos problemas de contaminação, tais como os associados com o fundo do dossel e com a atmosfera. Os resultados do estudo de Texeira et al. (2019) demonstram que a distinção entre os estágios médio e avançado obtida pelo EVI foi superior à do NDVI.

A coleta de dados pelos cientistas no campo ou por instrumentos colocados no campo fornecem muitos dos dados para as pesquisas científicas físicas, biológicas e sociais. Entretanto, não importa quão cuidadoso seja o pesquisador que realiza a coleta em campo, erros como a intrusão na coleta de dados *in situ*, falha humana produzida pelo método adotado e a má calibração do equipamento de medição contribuem para o erro na coleta de dados em campo (JENSEN, 2009).

Em contrapartida os sensores de média resolução espacial (15 – 120 metros) a bordo dos satélites, a exemplo da série Landsat, permitem o monitoramento ao nível de pequenas propriedades rurais, pois um pixel de 30 metros apresenta área de 0,09 ha e um histórico de visualização da superfície terrestre superior a 30 anos (CUNHA, 2018). Desta forma, constata-se que o uso do sensoriamento remoto para o monitoramento do meio ambiente é perfeitamente acessível, extremamente atrativo e eficiente diante da demanda pela mitigação dos efeitos da seca nas regiões semiáridas.

Portanto, a análise do desempenho do albedo de superfície e do EVI na identificação de áreas degradadas pode ser uma ferramenta eficiente para o reconhecimento de processos de degradação no semiárido, especialmente dentro de um cenário de ocorrências de seca, fenômeno natural que afeta a segurança alimentar de milhares de pessoas no Nordeste brasileiro, uma vez que a eficiência produtiva nas regiões susceptíveis às estiagens depende de medidas de monitoramento eficazes (EMBRAPA, 2018).

2 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como finalidade analisar o desempenho das variáveis espectrais: albedo de superfície e índice de vegetação melhorado, na identificação de áreas degradadas do semiárido utilizando séries temporais de sensoriamento remoto.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a variabilidade espaço temporal do albedo de superfície e do índice de vegetação em áreas propensas a degradação do solo.
- Analisar a sensibilidade do albedo e do EVI por Sensoriamento Remoto diante dos efeitos da seca e de pressões antropogênicas.
- Identificar a eficiência das variáveis espectrais em estudo como indicadores de área degradada no semiárido.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 DESERTIFICAÇÃO

Segundo Santos e Aquino (2016) há 80 anos a problemática da desertificação ganhou notoriedade no cenário mundial e despertou o interesse da comunidade científica, devido à grande estiagem no Sahel, sul do Saara, na África, a qual aliada à fragilização do solo inviabilizou a agricultura e matou de fome meio milhão de pessoas. Em 1994, na França, foi fundada a Convenção Internacional de Combate à Desertificação (CCD), e em conjunto com a efetiva contribuição da Agenda 21 - importante documento norteador lançado pela RIO-92 - definiu o conceito de desertificação atualmente válido e internacionalmente aceito: “a degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas resultantes de fatores diversos tais como as variações climáticas e as atividades humanas” (UNCCD, 2018).

O evento natural da desertificação além de provocar impactos ambientais, sociais e econômicos (AQUILES et al., 2017), é uma das principais causas de estresse nas sociedades humanas (D’ODORICO et al., 2013). No Brasil, após os compromissos assumidos por ocasião da CCD e das diretrizes propostas pela Agenda 21 surgiram as políticas públicas mais importantes de combate à degradação do solo, com preocupações voltadas para o desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental recomendada para regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas (AQUILES et al., 2017). Um grande passo foi dado com a criação de um instrumento norteador do processo de transformação da realidade das áreas susceptíveis à desertificação: o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil), o qual levou em consideração os conhecimentos acumulados pela população local, representando um avanço entre a integração das áreas de atuação do Poder Público e dos diferentes grupos sociais relevantes (MMA, 2005).

3.1.1 Áreas susceptíveis à desertificação

A Caatinga possui uma população de 28 milhões de pessoas e é a região semiárida mais populosa do mundo, a qual detém 95% das áreas susceptíveis à desertificação (AMÉRICO, 2011), esse bioma exclusivamente brasileiro destaca-se como presumivelmente comprometido com o processo de desertificação, que surge espontaneamente e se acentua após cada seca. E mesmo com o retorno do período chuvoso apresenta um esforço de recuperação que nem sempre é recompensado integralmente (MMA, 2005). D’ODORICO et al. (2013) denominou

esse balanço incerto entre recuperação e degradação como “dinâmica do ecossistema biestável”, ainda observou e destacou a resiliência limitada dos sistemas biestáveis.

No intuito de identificar a suscetibilidade de cada região ao processo de degradação do solo, a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (UNCCD) considerou as amplitudes de aridez para cada tipo de clima exposto na Figura 1. O índice de aridez é estimado pelo quociente entre a quantidade de precipitação média anual (P) e a perda máxima possível de água por meio da evapotranspiração potencial total anual (ETP). Esse parâmetro nos permite, conforme a figura acima, observar que as áreas susceptíveis à desertificação no Brasil estão localizadas na região Nordeste com variação no IA entre 0,21 a 0,65 (AILTON; SILVA, 2002). No Atlas das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil, produto dos compromissos assumidos entre o MMA e a UNCCD, temos a determinação dessas áreas seguindo os pressupostos norteadores da UNCCD, que propõem a adoção do índice de aridez (IA), base da classificação climática de Thornthwaite (1941). As equações empíricas para estimar os índices de aridez para o Nordeste foram elaboradas pelo Profº José Ivaldo Barbosa Brito da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG em 2000 (MMA, 2007).

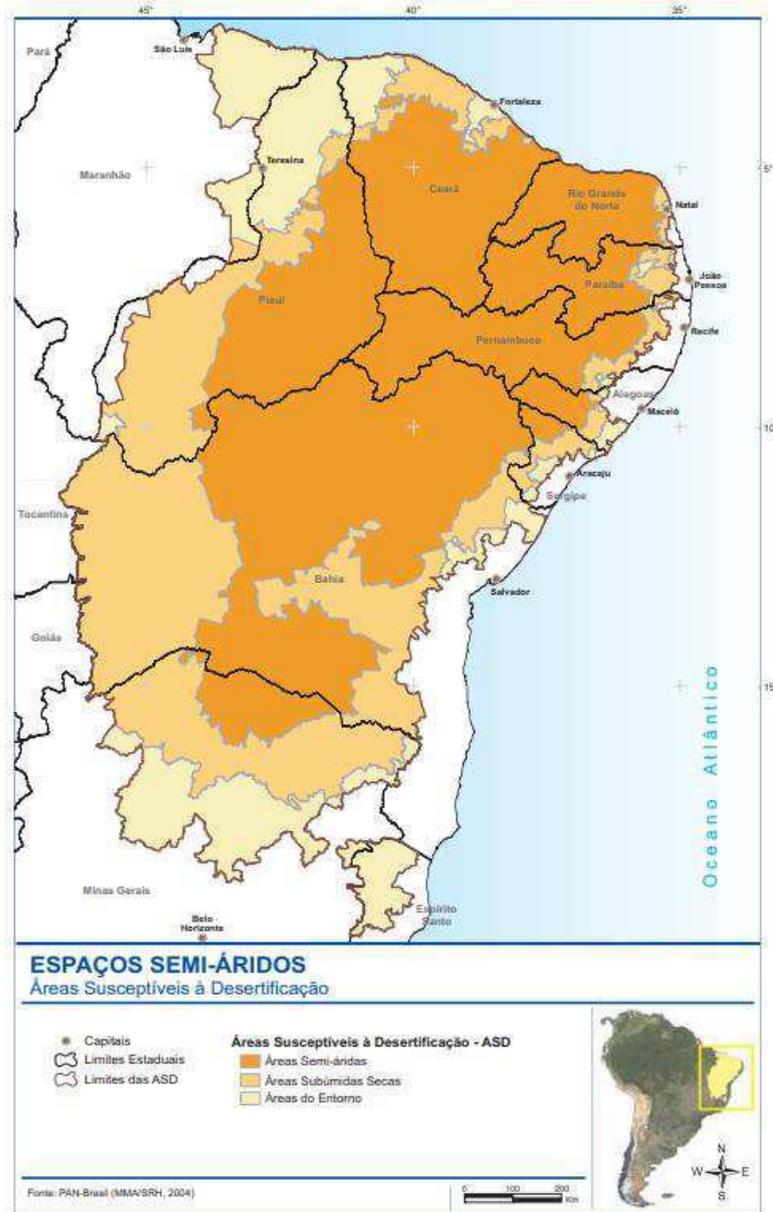
Figura 1 –Tipos de clima segundo a amplitude de aridez e a escala de susceptibilidade à desertificação

Zonas climáticas	Amplitude do Índice de Aridez (IA)	Escala de susceptibilidade à desertificação
Hiper-árido	< 0,005	Nenhuma
Árido	0,05 – 0,20	Muito alta
Semiárido	0,21 - 0,50	Alta
Subúmido Seco	0,51 - 0,65	Moderada
Subúmido e Úmido	> 0,65	Nenhuma

Fonte: Ailton; Silva, 2002

O mapa exibido na Figura 2 apresenta a área de atuação do “Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca-PAN-Brasil”, no qual é feita a classificação das ASD em áreas semiáridas, subúmidas secas e áreas do entorno, estas últimas embora não se enquadrem no padrão climático de susceptibilidade, apresentam características comuns às duas outras áreas, bem como elevada ocorrência de secas. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (2007) essa área abrange uma superfície de 1.340.863 km² e engloba um total de 1488 municípios nos nove Estados do Nordeste, além do norte de Minas Gerais e do Espírito Santo.

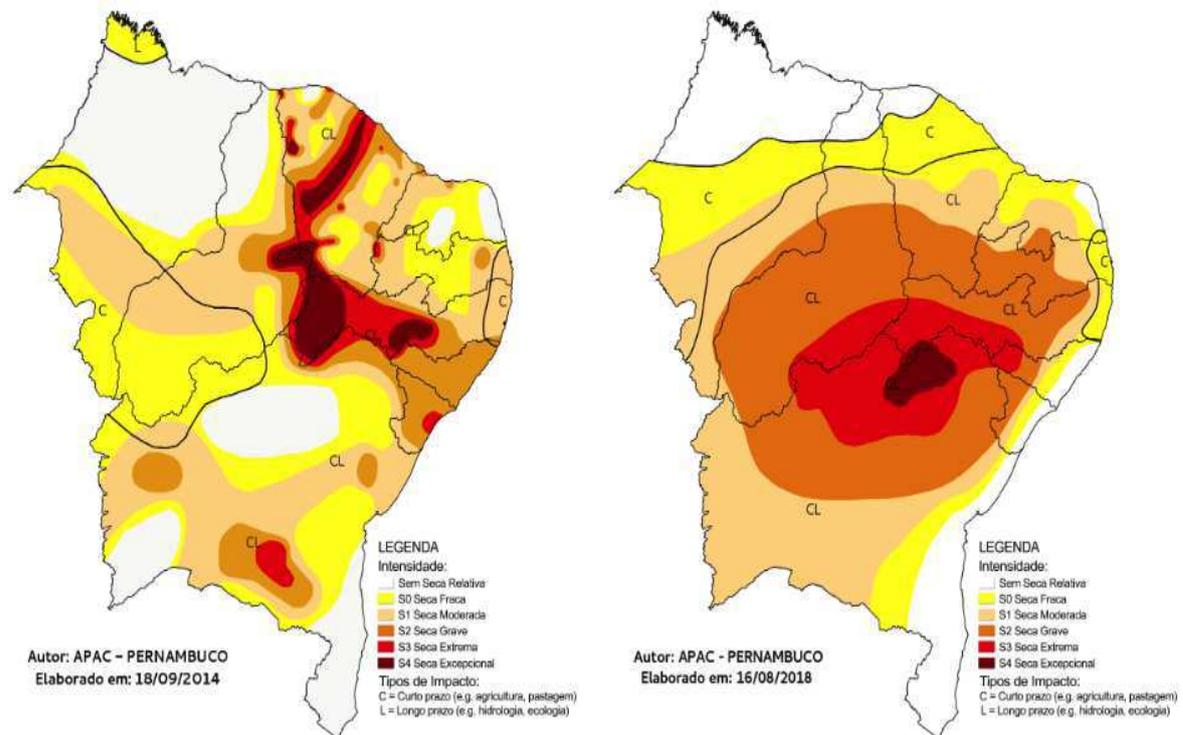
Figura 2 - Áreas susceptíveis à desertificação



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2007)

Comparando-se dados de Julho de 2014 e Julho de 2018 fornecidos pelo Monitor de Secas do Nordeste, podemos perceber claramente na Figura 3, a expansão das áreas que estão sendo atingidas pela seca histórica que teve início em meados de 2012 no Nordeste brasileiro, constatando-se a necessidade de monitoramento e identificação dessas áreas com maior acurácia.

Figura 3- Monitor de Secas: Julho/2014 e Julho/2018



Fonte : ANA (2018)

3.2 SAPS - SERVIÇO AUTOMÁTICO DE PROCESSAMENTO DO SEBAL

O Sistema automático de Processamento do SEBAL foi desenvolvido no projeto European Union – Brazil Cloud Connect (<http://www.eubrazilcloudconnect.eu/>) e utiliza processamento em segundo plano para obtenção de dados meteorológicos, aquisição de imagens de satélite diretamente do repositório de imagens da USGS (Serviço Geológico Americano) e execução do algoritmo SEBAL (CUNHA, 2018). A problemática incentivadora para a concepção desse sistema foi a necessidade de acomodar grandes volumes de dados nas pesquisas ambientais de Sensoriamento Remoto Orbital. Para tanto, pesquisadores do Laboratório de Sistemas distribuídos em parceria com o grupo do Laboratório de Hidráulica, ambos da UFCG desenvolveram procedimentos de substituição das análises visuais e interativas por procedimentos computacionais automáticos.

A autora deste trabalho integrou-se ao grupo do Laboratório de Hidráulica em novembro de 2017 por meio do Programa de Bolsas de Fomento da Fundação Parque Tecnológico da Paraíba – Iniciação Tecnológica (BLD – IT), sob orientação dos mesmos mentores desse Trabalho de Conclusão de Curso, com o objetivo de participar no aprimoramento do sistema através de contribuições nas funções de recorte espacial e álgebra de bandas espectrais ligadas

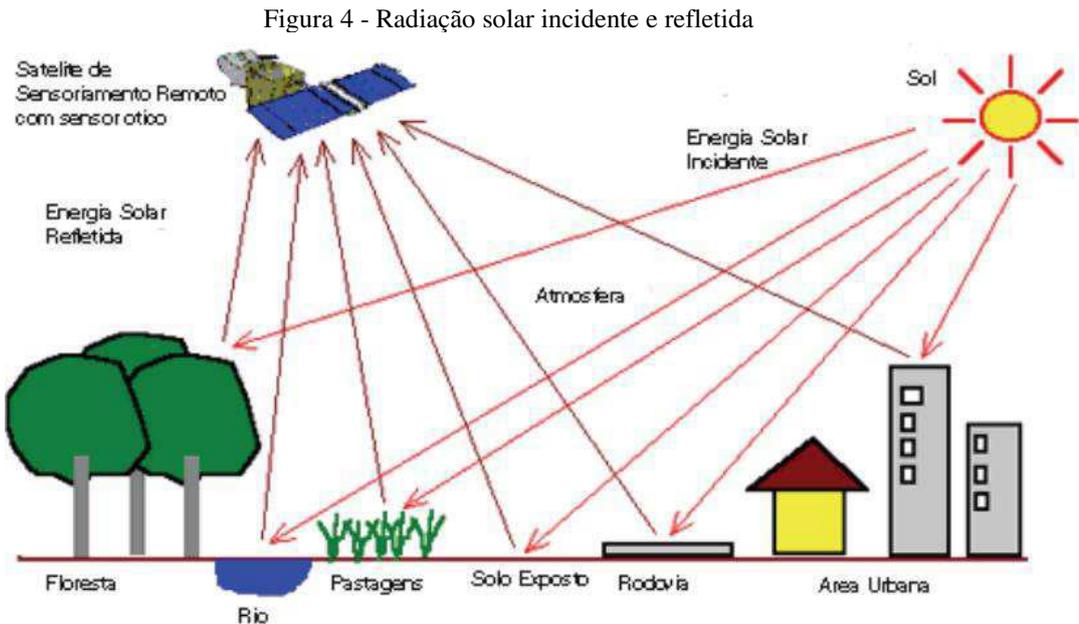
a execução do algoritmo SEBAL que lança mão da linguagem de programação R. Em suma o SAPS fornece, de forma mais rápida, confiável - através da computação em nuvem - a automação completa de todas as etapas de trabalho utilizadas para estimar a evapotranspiração a partir de dados de entrada fornecidos pela família de satélites Landsat. (CUNHA, 2018). Gerando nove produtos diferentes nas etapas de cálculo do algoritmo SEBAL, dentre os quais está o albedo, objeto de estudo deste trabalho. Permitindo assim, a expansão da capacidade de análise de dados de mudança de uso e cobertura do solo disponíveis na atualidade.

3.2.1 *Albedo de superfície*

O albedo pode ser definido como a razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente em uma superfície. No decorrer dos anos, diversas pesquisas relatam a importância do albedo para o entendimento de processos relacionados com mudanças climáticas, desertificação, entre outros (ANDRADE et al., 2010).

Segundo Ferreira (2006), quando a radiação solar incide em uma superfície opaca, como uma rocha sólida, parte dela é refletida e outra absorvida, como ilustrado na Figura 4. O albedo expressa a fração de radiação visível refletida pela superfície, ou seja, a capacidade das superfícies refletirem a radiação incidente sobre elas. Como exemplo de superfícies que apresentam albedo muito alto, temos: areia, neve e nuvens espessas. Já em superfícies escuras como em asfaltos e florestas, sua absorvância é maior que sua refletância, possuindo nesses casos um albedo menor. Portanto, o mesmo varia conforme as propriedades físicas existente em várias superfícies do planeta.

O albedo está relacionado diretamente com as trocas de energia e afeta os regimes radiativos, ocasionando variações na temperatura, modificação no clima local, mudanças no calor latente e sensível e alterando significativamente o balanço energético da atmosfera (PEREIRA et al., 2000). Logo é um índice fundamental para a estimativa do saldo de radiação nos diversos tipos de uso e cobertura da terra (ANDRADE et al., 2010).



3.2.2 Índice de Vegetação Melhorado

O Índice de Vegetação Melhorado, ou de Realce da Vegetação – *Enhanced Vegetation Index* – (EVI) é um índice desenvolvido por HUETE et al. (2002) como um produto do sensor MODIS. Apresenta-se como uma variação do NDVI, sendo aprimorado em relação à redução de influências atmosféricas e do solo. Quantificado em um intervalo que varia de 0 a 1, onde os valores mais próximos de 1 indicam um acúmulo maior de biomassa, o EVI reflete os parâmetros biofísicos da vegetação e é mais sensível a variações na estrutura do dossel. As imagens EVI são geradas por meio das bandas individuais na faixa espectral do azul, vermelho e infravermelho do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS).

3.3 GEOTECNOLOGIAS E SENSORIAMENTO REMOTO

A busca contínua de conhecimento sobre o nosso universo e a consequente conquista do espaço pelo homem possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias espaciais (FLORENZANO, 2002), as quais podem ser trabalhadas de maneira mais ágil e fácil. As geotecnologias podem ser entendidas como novas tecnologias ligadas às geociências, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico (Fitz, 2008).

Segundo Elachi e Zyl (2006) sensoriamento remoto implica na obtenção de informação a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que o circundam, sejam estes campos eletromagnéticos, acústicos ou potenciais. As definições mais clássicas das técnicas de sensoriamento remoto geralmente enfatizam termos como distância, informação e contato físico, que de fato estão fortemente associados à sua fundamentação, mas que, de alguma forma, ofuscam os conceitos principais que permitiriam uma perfeita e mais completa compreensão. Dentre esses conceitos destacam-se aqueles intrínsecos aos processos de interação entre radiação eletromagnética, considerada a peça fundamental das técnicas de sensoriamento remoto e os diferentes objetos, ou alvos, dos quais se pretende extrair alguma informação (PONZONI et al., 2012).

A partir da análise da Figura 5 percebe-se um conjunto de elementos de aquisição de informação, que segundo Novo (2008) pode ser dividido em dois subsistemas, o de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto e o de Produção de Informações. O primeiro é formado por: fonte de radiação, plataforma (satélite, aeronave), sensor, centro de dados ou estações que recebem e processam esses dados. Enquanto o subsistema de produção de informações é composto pelo sistema de aquisição de informações de solo para calibragem dos dados de sensoriamento remoto, sistema de processamento de imagens e sistema de geoprocessamento. As informações obtidas por sensoriamento remoto através de satélites fornecem dados de observação com alta frequência temporal e alta resolução espacial, que cobrem praticamente toda a área da superfície terrestre e podem ser utilizadas para complementar áreas com poucos dados de campo disponíveis (Liu, 2007).

Figura 5- Obtenção de imagens por sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano (2007)

3.3.1 *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação e dos Solos*

Para o caso do sensoriamento remoto da superfície terrestre, esses objetos incluem os diferentes recursos naturais como a água, os solos, rochas e a vegetação. Pensando exclusivamente na aplicação em estudos de vegetação, um profissional especializado em fisiologia vegetal, por exemplo, explora o processo de interação mencionado para quantificar taxas de absorção de radiação por conta da ação de pigmentos fotossintetizantes (PONZONI et al., 2012). Para os solos o sensoriamento remoto pode desempenhar importante função na identificação, inventário, e mapeamento dos solos superficiais terrestres, especialmente quando não estão recobertos por vegetação (JENSEN, 2009).

3.4 SATÉLITES ORBITAIS

Os satélites artificiais terrestres são equipamentos construídos pelo homem que contam com a presença de sistema de sensores remotos e de funcionalidade diversa, entre elas a observação da Terra, o monitoramento do clima, o estudo da atmosfera e do campo magnético terrestre, e também como elo em telecomunicações. Todas estas atividades requerem que se tenha uma supervisão do satélite após ter sido lançado. É através desta comunicação estabelecida entre uma base de apoio e o satélite que se pode saber como está o funcionamento dos equipamentos de bordo. A forma de comunicação baseia-se na transmissão e recepção de códigos, chamado de telemetria e telecomando, que os equipamentos do satélite entendem e interpretam corretamente (KUGA; CARRARA; RAO, 2011).

O padrão orbital dos satélites em relação à Terra é variável, e para o sensoriamento remoto analisam-se duas grandes categorias: os de órbita baixa, ou órbita polar (altitude inferior a 1.000km) e os de órbita alta, como ilustrado na

Figura 6 . Estes últimos são os geoestacionários e têm maior aplicabilidade em pesquisas meteorológicas, enquanto os de órbita baixa englobam a maioria dos satélites de sensoriamento remoto (EPIPHANIO, 2002). Os principais satélites utilizados no Brasil, especialmente os voltados para o sensoriamento remoto da superfície terrestre são o Landsat, SPOT, NOAA, Terra, Radarsat e ERS, o CBERS e o SSR/MECB (FLORENZANO, 2008).

Figura 6 - Órbitas de satélites artificiais



Fonte: Florenzano (2018)

3.4.1 Programa Landsat

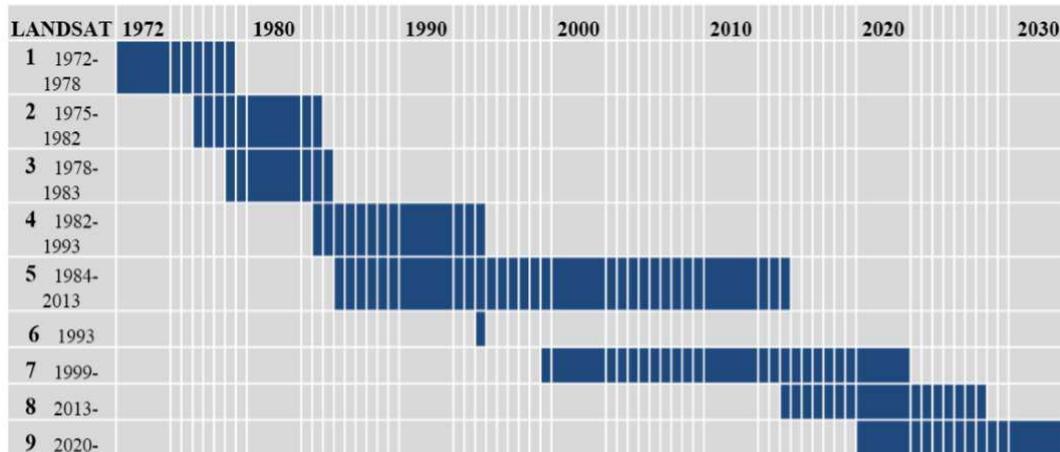
O Programa Landsat constitui-se em uma série de 7 satélites desenvolvidos e lançados pela National Aeronautics and Space Administration NASA. O primeiro satélite da série recebeu inicialmente o nome de Earth Resources Technology Satellite – 1 (ERTS-1), lançado em 1972, passando a ser chamado de Landsat em janeiro de 1975. Em sequência entraram em operação os satélites Landsat 2 (em 1975), Landsat 3 (em 1978), Landsat 4 (em 1982) e por conseguinte o Landsat 5 (em 1984), Landsat 7 (em 1999) e Landsat 8 (em 2013) (NOVO, 2008).

Segundo a USGS (2018), com o intuito de ajudar a comunidade científica a distinguir entre mudanças naturais e induzidas pelo homem na paisagem, o Landsat 9 estará em prontidão de lançamento em dezembro de 2020, permitindo que dados mais valiosos sejam adicionados ao arquivo de imagens terrestres globais da série Landsat, tendo em vista que ele terá uma capacidade de imagiologia mais elevada do que os satélites Landsat anteriores (aproximadamente 740 cenas/dia).

O Landsat representa a mais longa coleção de dados de sensoriamento terrestre de resolução moderada baseados em espaços do mundo, tornando-se uma das fontes mais valiosas de observação do solo devido aos 40 anos de dados em média resolução espacial que cobrem

uma faixa espectral vantajosa (infravermelho visível, próximo, médio e térmico). A cronologia histórica do programa Landsat está apresentada na Figura 7. A qualidade das imagens Landsat foi melhorada nos últimos anos (WULDER et al., 2016), permitindo que os usuários tenham acesso aos dados de reflectância de superfície (JU; MASEK, 2016).

Figura 7 - Cronologia histórica do Programa Landsat



Fonte: Oliveira (2018)

Os dados Landsat também podem fornecer índices de vegetação e outras variáveis que usam diferentes faixas do espectro eletromagnético, como o albedo de superfície ($0,3 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$) (CUNHA, 2018), objeto de estudo deste trabalho. Os sensores TM e ETM dos satélites Landsat 5 e 7 possuem sete bandas, com numeração de 1 a 7, cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite. Estes satélites revisitam e observam a mesma área a cada 16 dias, e sua imagem inteira abrange uma área de $185 \times 185 \text{ km}$. A resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 m, ou seja, cada "pixel" da imagem representa uma área no terreno de 0,09 ha. Para a banda 6, a resolução é de 120 m (cada "pixel" representa 1,4 ha). O mapeamento temático dessas bandas depende de fatores como características da área em estudo, época do ano, e de variações regionais (INPE, 2018).

O Landsat 8 foi lançado em 11 de fevereiro de 2013, da Base Aérea de Vandenberg, na Califórnia, atualmente tem adquirido regularmente 550 cenas por dia, enquanto o Landsat 7 adquire 438 cenas/dia. Isso aumenta a probabilidade de capturar cenas sem nuvens para a massa de terra global. O sensor Operational Land Imager (OLI) presente no Landsat 8, representa um avanço evolutivo na tecnologia dos sensores passados da mesma família, apresenta menor interferência de ruídos e coleta dados para bandas espectrais - faixas de frequências ao longo

do espectro eletromagnético- de infravermelho visível, infravermelho próximo e onda curta, bem como uma banda pancromática (NASA, 2018).

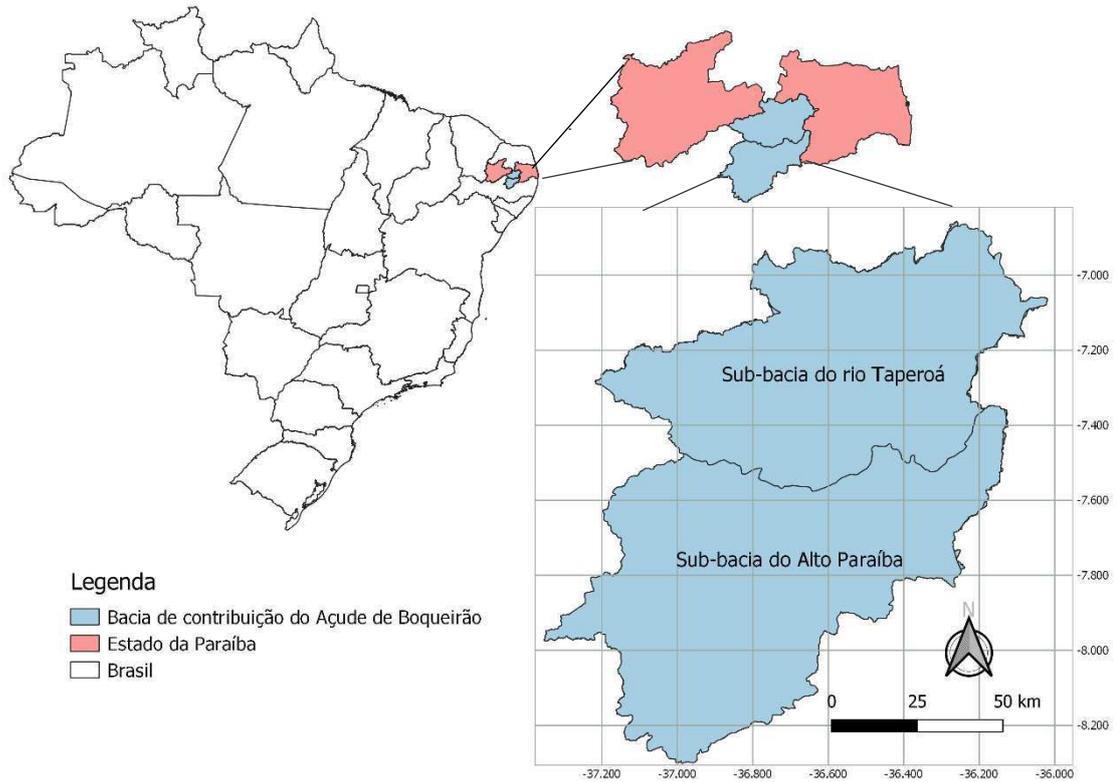
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O Açude Epitácio Pessoa, ou comumente chamado Açude de Boqueirão, é de domínio Federal e foi construído em 1956 no município de Boqueirão, no estado da Paraíba, com a finalidade de perenizar o rio que passa no setor, prover atividades de irrigação, piscicultura e turismo, e principalmente para abastecer de água algumas cidades circunvizinhas, em especial a cidade de Campina Grande, que fica a cerca de 45 km de distância e se destaca por ser o segundo maior centro urbano no Estado da Paraíba (DNOCS, 2019).

Segundo a ANA (2019) o Açude possui 43,85 km² e de acordo com o DNOCS tem uma capacidade máxima de 535.680.000 m³, o mesmo está compreendido dentro das sub-bacias do Rio Taperoá e do Alto Paraíba. Portanto, a junção das duas sub-bacias citadas forma a grande calha hídrica de contribuição do Açude de Boqueirão, podendo-se, desta forma, adotar-se para este trabalho como bacia de contribuição do Açude de Boqueirão, a qual está inteiramente localizada no estado da Paraíba (Figura 8).

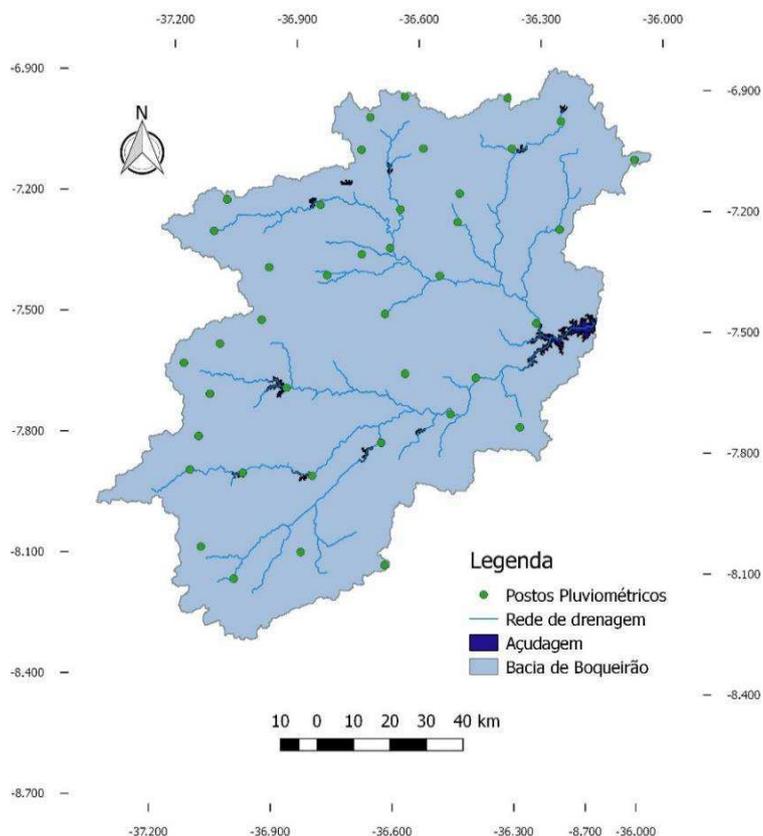
Figura 8- Localização da bacia de contribuição do Açude de Boqueirão



Fonte: Autor

A bacia estudada possui uma área de 12.569,353 km² e abrange ainda 10 pequenos outros açudes, bem como os Rios Paraíba e Taperoá e outros riachos. Dentro dos seus limites temos ainda 40 postos pluviométricos, dos quais menos da metade apresentam medições cadastradas. Essa caracterização da bacia com sua rede de drenagem, corpos hídricos e postos pode ser melhor analisada na Figura 9.

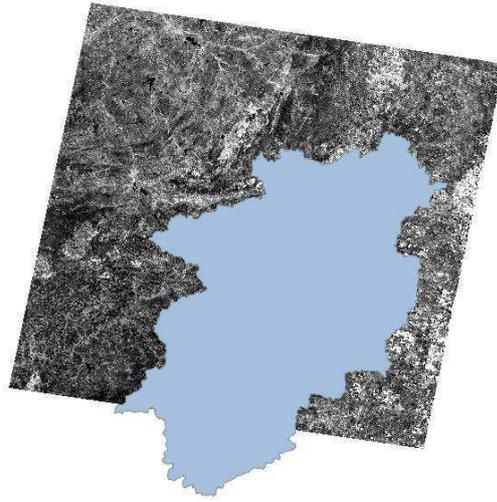
Figura 9- Caracterização da bacia de contribuição do Açude de Boqueirão



Fonte: Autor

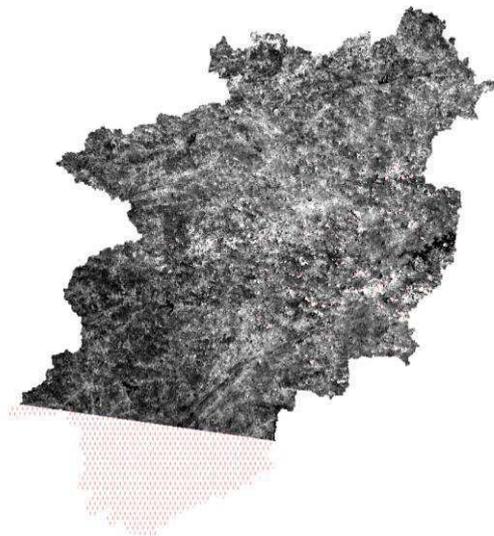
Entretanto, no desenvolvimento do projeto SAPS a cena Landsat processada foi a 215/065 (órbita/ponto) e a mesma não engloba toda a área da bacia de contribuição do Açude de Boqueirão como podemos ver na Figura 10. Portanto, a área final de estudo foi reduzida e passou a ser a região que podemos observar na Figura 11, sendo a parte pontilhada em vermelho a extensão retirada. Tal recorte foi feito para que fosse possível seguir a linha de análise de dados automatizados gerados para as variáveis espectrais. Embora o processamento do recorte da bacia seja factível, demandaria maior capacidade operacional e, portanto, mais tempo, desta forma, optou-se por analisar apenas a área da bacia de contribuição que está contida na imagem já processada no âmbito do projeto.

Figura 10 - Bacia de contribuição do Açude de Boqueirão sobreposta a cena 215/065



Fonte: Autor

Figura 11 - Área de estudo final com demarcação da região retirada



Fonte: Autor

4.2 MATERIAIS

- Séries históricas de imagens Landsat;

A aplicação desenvolvida neste trabalho utilizou séries temporais do Landsat por um período de 34 anos. O conjunto de dados Landsat SR (Surface Reflectance) apresenta potencial para aplicação em análises ambientais que requerem a utilização de extensas séries temporais, devido ao baixo número de procedimentos e demanda por dados meteorológicos para obtenção do albedo de superfície (CUNHA, 2018).

Para tanto, na Tabela 1 temos a quantidade de imagens processadas para cada ano e seu respectivo satélite de obtenção, de cada índice, ou seja, para o Albedo temos 571 produtos e para EVI mais 571 imagens processadas com dados pixel a pixel para as análises.

Tabela 1- Número de imagens processadas por ano e satélite

	LT5	LE7	LC8	Número de Imagens
1984	3	-	-	3
1985	4	-	-	4
1986	14	-	-	14
1987	19	-	-	19
1988	13	-	-	13
1989	13	-	-	13
1990	15	-	-	15
1991	13	-	-	13
1992	15	-	-	15
1993	16	-	-	16
1994	12	-	-	12
1995	11	-	-	11
1996	13	-	-	13
1997	10	-	-	10
1998	4	-	-	4
1999	10	4	-	14
2000	9	3	-	12
2001	12	17	-	29
2002	5	14	-	19
2003	1	-	-	1
2004	17	6	-	23
2005	16	7	-	23
2006	12	11	-	23
2007	14	6	-	20
2008	18	5	-	23
2009	18	12	-	30
2010	8	-	-	8
2011	2	8	-	10
2012	-	12	-	12
2013	-	10	13	23
2014	-	12	20	32
2015	-	12	18	30
2016	-	20	20	40
2017	-	4	20	24
Total	317	163	91	571

Fonte: Autor

- Dados meteorológicos

Para a execução do algoritmo SEBAL (BASTIAANSEN, 2000) de forma automatizada, é necessário não somente as imagens de satélite, como também a obtenção de dados meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade do vento, altura média da vegetação (m) circundante no local da medição da velocidade do vento). No nosso sistema Serviço Automático de Processamento do SEBAL (SAPS) essa aquisição acontece por meio de processamentos em segundo plano, no qual

esses dados meteorológicos de entrada são baixados do National Centers for Environmental Information (NCEI) da NOAA.

- Coleção de dados da base CHIRPS

O período analisado levou em consideração toda a série histórica, 34 anos, dos dados gerados no projeto SAPS visando uma maior acurácia na análise da mudança na área de estudo. Para seguir a mesma análise dos demais índices deste trabalho, albedo e EVI, optou-se por produtos anuais, dessa forma as séries foram criadas para o período de 1 de janeiro a 31 de dezembro de cada ano. As precipitações acumuladas do período foram obtidas com a somatória dos dados da precipitação diária da coleção Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS), com resolução espacial de 5,5 km. O processamento das imagens foi feito no Google Earth Engine (GEE), plataforma baseada em nuvem para análise geoespacial em escala planetária (Gorelick et al., 2017).

Na Tabela 2 – *Precipitação média acumulada por anotemos* os dados gerados de precipitação acumulada da região da bacia de contribuição do Açude de Boqueirão para todos os anos que compreendem a longa série histórica.

Tabela 2 – Precipitação média acumulada por ano

Ano	Precipitação Média Acumulada (mm/ano)	Ano	Precipitação Média Acumulada (mm/ano)
1984	569,851	2001	439,32
1985	1032,08	2002	591,44
1986	696,32	2003	401,21
1987	396,82	2004	683,06
1988	518,25	2005	513,81
1989	619,99	2006	621,70
1990	230,77	2007	524,70
1991	426,49	2008	744,75
1992	447,15	2009	805,57
1993	169,93	2010	560,15
1994	569,44	2011	731,84
1995	568,20	2012	269,09
1996	491,52	2013	382,63
1997	493,37	2014	496,36
1998	222,61	2015	406,33
1999	372,20	2016	401,87
2000	634,37	2017	434,64

Fonte: Autor

- Software QGIS¹ 2.18.10;

Na análise visual dos produtos do SAPS foi utilizado o Software QGIS¹ 2.18.10 para possíveis detecção de ruídos e falhas em cada imagem, pois a extensão dos arquivos gerados pelo SAPS permite essa compatibilização. Essa multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG) que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciado, também foi utilizada para delimitação da área de estudo. Esse processo partiu da aquisição das *shapefiles* no Geo Portal AESA, onde tem-se a *shape* da sub-bacia do Rio Taperoá, e Regiões dos Rios, na qual a bacia do Rio Paraíba apresentava suas subdivisões e, portanto, contendo também a outra sub-bacia alvo para este trabalho (Alto curso do rio Paraíba). Em uma segunda etapa, ambas as *shapes* das sub-bacias de interesse foram unidas e por fim delimitadas no formato necessário para as análises.

- Software R² - Interface RStudio

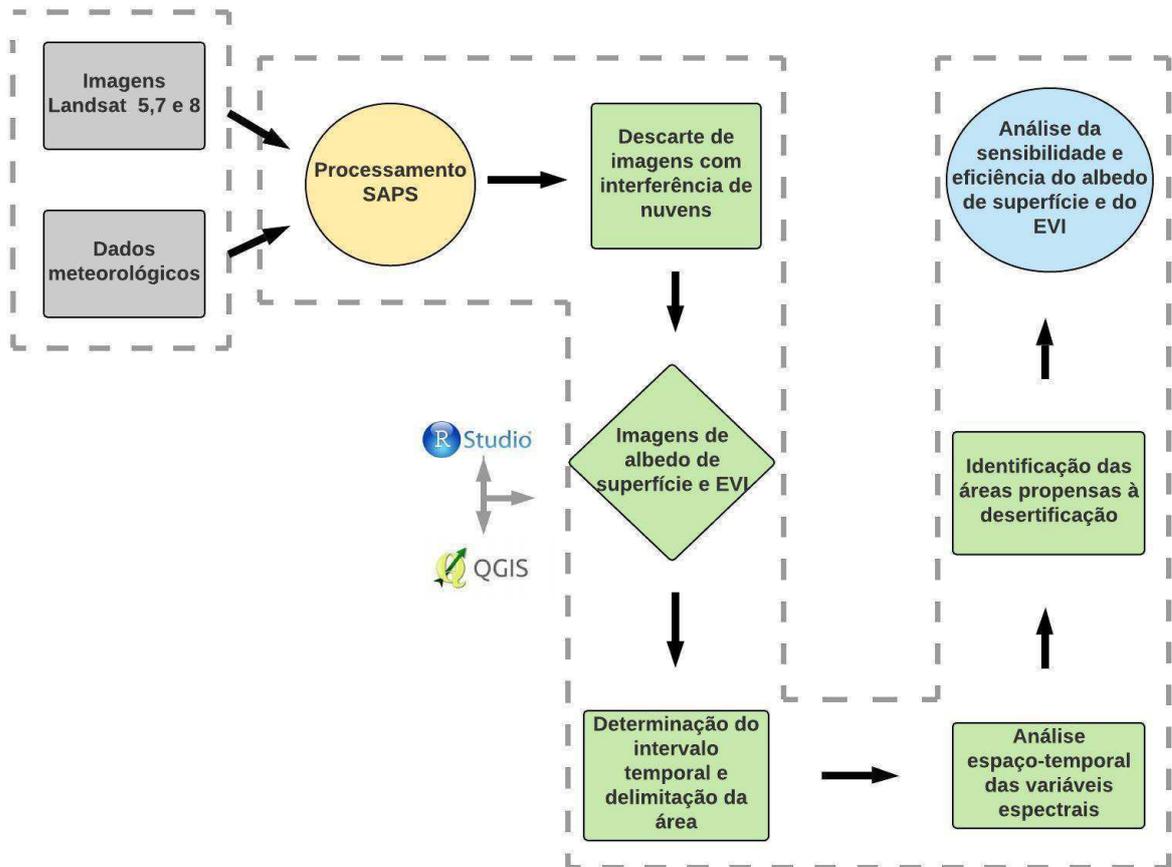
Em todas as etapas deste trabalho fez-se uso do software R (R Core Team, 2016) com o auxílio da interface RStudio (RStudio Team, 2016). Inicialmente a utilização se deu nos processamentos de automatização do SEBAL com um *script* que precisou ser melhorado e monitorado frequentemente, em seguida para manipulação dos produtos gerados, bem como para as análises dos mesmos, a partir de *scripts* simples e curtos desenvolvidos pela autora desse trabalho de conclusão de curso.

Simplificando os processos desenvolvidos nessa interface para efeito de melhor compreensão têm-se que o primeiro *script* utilizado foi o do SAPS (disponível no repositório do GitHub com nome *saps-station-util*), que apresenta 571 linhas de código e tem como produto final a Evapotranspiração, e durante o processo consegue gerar albedo, EVI e outros índices como subprodutos. O segundo leva o nome de *median_rasterstack* pois realiza o empilhamento dos produtos dos dias julianos disponíveis e em seguida processa a mediana dos mesmos (APÊNDICE A). O terceiro e último *script* opera o teste de correlação linear dos 34 anos para cada índice e fornece o valor do coeficiente de correlação para cada pixel (APÊNDICE B).

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia a ser adotada e seus respectivos ambientes de processamento está ilustrada de forma simplificada na Figura 12.

Figura 12- Descrição das etapas metodológicas



Fonte: Autor

Os dados meteorológicos e as imagens Landsat são os elementos de entrada para o primeiro processamento. As informações meteorológicas são adquiridas e introduzidas no código de automatização do SEBAL de maneira automática, e os arquivos Landsat são obtidos junto ao USGS, através da plataforma *EarthExplorer*, e processados no formato padrão que são disponibilizados, extensão netcdf4.

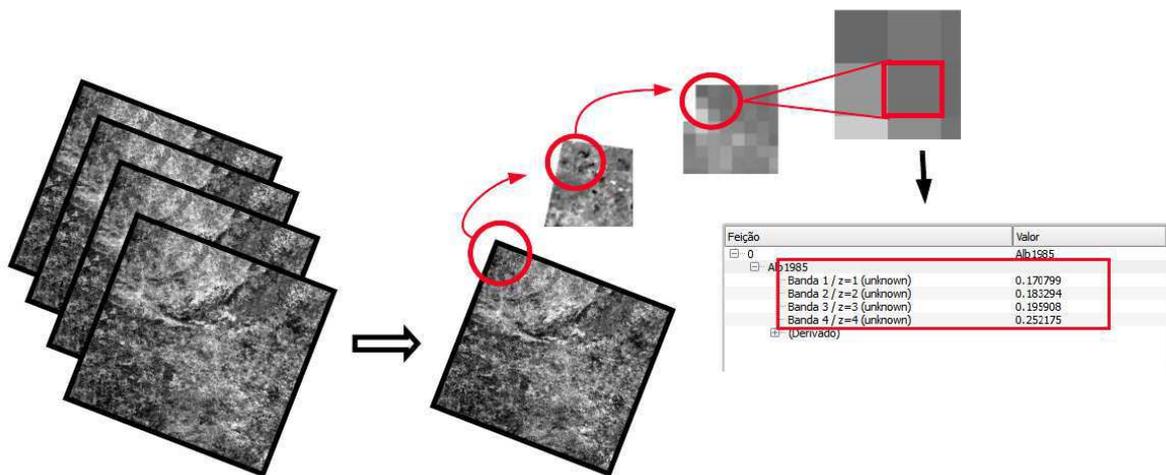
A primeira etapa de processamento ocorreu no Sistema Automático de Processamento do SEBAL (SAPS), que além de gerar a evapotranspiração como produto final foi desenvolvido para fornecer outros oito índices já citados inicialmente nesse trabalho, sendo o albedo e o EVI os produtos usados como objetos de interesse nesse estudo. A arquitetura do sistema SAPS foi desenvolvida pelo grupo de pesquisadores do Laboratório de Sistemas Distribuídos em parceria com o grupo do Laboratório de Hidráulica, ambos da UFCG, utilizando a linguagem de programação JAVA, e os componentes implantados em máquinas virtuais.

Foi feita a análise temporal das imagens para o recorte da área da sub-bacia de contribuição do Açude de Boqueirão que está localizada dentro da cena Landsat 215/065 (órbita/ponto). Foram descartadas imagens que apresentavam mais de 99% de interferência de nuvens, pois dificulta a análise espaço temporal dos índices de vegetação estudados.

A aplicação desenvolvida neste trabalho utilizou séries temporais do Landsat por um período de 34 anos, a fim de investigar os padrões espaciais e temporais da mudança de cobertura do solo na área da sub-bacia de contribuição do Açude de Boqueirão, inserida no semiárido do estado da Paraíba, no Brasil.

Flood (2013) mostrou que o medoide (um análogo multidimensional da mediana) é uma medida melhor para produzir composições temporais representativas. Fundamentando-se nesses resultados, as séries temporais de Albedo e EVI foram reduzidas para composições anuais, no software R (R Core Team, 2018) através da interface Rstudio (RStudio Team, 2018) a princípio desenvolvendo um *RasterStack* (pilha de objetos com a mesma extensão espacial e resolução) que compila todos os dias julianos de cada ano, como podemos visualizar na Figura 13. Em seguida foi calculado a mediana para cada ano do *RasterStack* de cada variável em cada pixel. Os valores indisponíveis (Not Available - NA) observados em alguns pixels são desconsiderados.

Figura 13 - RasterStack



Fonte: Autor

Para compreender e identificar áreas propensas à desertificação foi feita uma análise de regressão linear simples do pacote R. Essa análise de regressão é uma técnica estatística utilizada para investigar a relação existente entre variáveis através da construção de uma

equação (um modelo). De forma geral, essa técnica pode ser utilizada com vários objetivos, dentre os quais se pode destacar a descrição da relação entre variáveis para entender um processo ou fenômeno (AMARAL et al., 2009). Para suprir as demandas traçadas para essa pesquisa, focou-se na obtenção do coeficiente de correlação linear.

Portanto, a princípio o script descrito no APÊNDICE B recebe todas as medianas anuais, em seguida aplica a função *lm*, que é utilizada no ajuste do modelo de regressão linear, e então é estabelecido no código que o R retorne o coeficiente de correlação angular, o qual é estimado via Método de Mínimos Quadrados. Desta forma, obtêm-se para cada pixel a correlação linear estabelecida entre a variação do tempo e do albedo de superfície, assim como do EVI.

Para efeito de visualização foram criadas seis categorias com os valores de correlação linear encontrados entre os pixels das longas séries temporais. Para o produto final do albedo de superfície as três classes estabelecidas para os valores positivos (tons de marrom) sugerem regressão linear positiva, ou seja, um crescimento na reta e desta forma, no albedo de superfície, o que traduz áreas de perda de cobertura vegetal.

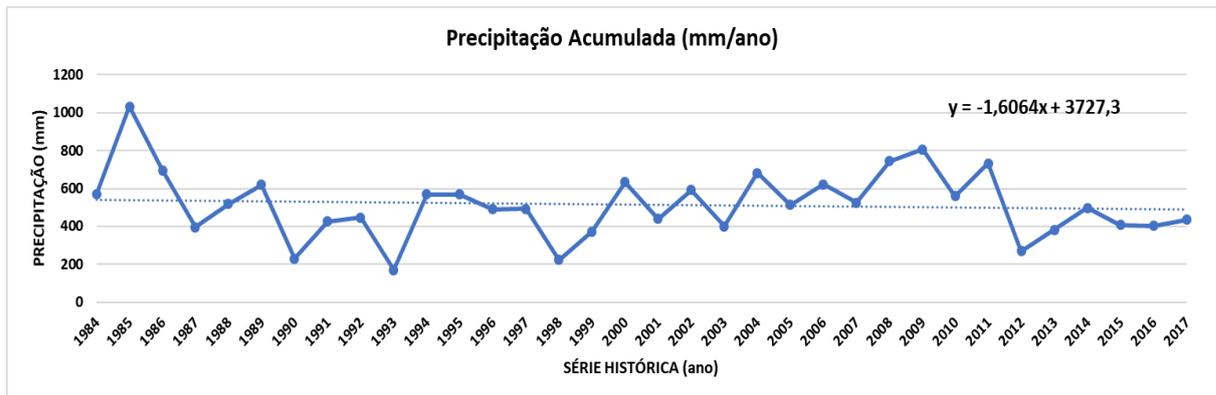
As classes que enquadram valores menores que zero (tons de verde) indicam uma relação linear negativa, um decréscimo na reta e nos valores de albedo, o que significa a existência de uma região de recuperação da vegetação.

Enquanto que para o produto final do EVI, valores positivos indicam regressão linear positiva, aumento na reta da variável EVI para a situação atual, o que representa um verdejar da área. Em oposição, valores negativos sugerem áreas de solo degradado.

Os pixels que se apresentam na cor branca estão sem dados, e essas regiões são consequência da presença de nuvem e sombra de nuvem que comprometem a qualidade da imagem, gerando assim espaços sem dados.

No tratamento dos dados pluviométricos foi traçada a linha de tendência para o gráfico gerado com as precipitações médias acumuladas de cada ano e em seguida obtido o coeficiente angular que representa a inclinação da reta em relação ao eixo das abscissas, Figura 14. O valor negativo desse coeficiente angular indica uma tendência de decréscimo nas precipitações.

Figura 14 - Linha de tendência da série de precipitação acumulada (mm/ano)



Fonte: Autor

Todas essas análises nos permitem ter a percepção do comportamento que cada tipo de dado apresenta no período de tempo escolhido e com isso entender a sensibilidade e desempenho principalmente do albedo de superfície frente ao EVI e a precipitação, bem como o porquê de tais desempenhos determinarem uma maior sensibilidade à degradação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A compreensão das condições hidro-meteorológicas, especialmente a pluviométrica, é essencial para o entendimento das condições vegetacionais da área de estudo, uma vez que a vegetação é bastante resiliente, isto é, capacidade da cobertura vegetal retornar às suas condições originais após ser afetada por condições climáticas adversas, bem como perturbações antrópicas; tanto porque a precipitação nessa região é elemento chave para o desenvolvimento e regeneração da biomassa (RIBEIRO et al., 2016)

Dessa maneira, averiguou-se a precipitação pluviométrica da bacia de contribuição do Açude de Boqueirão através da precipitação média acumulada por ano, com o intuito de verificar os períodos chuvosos.

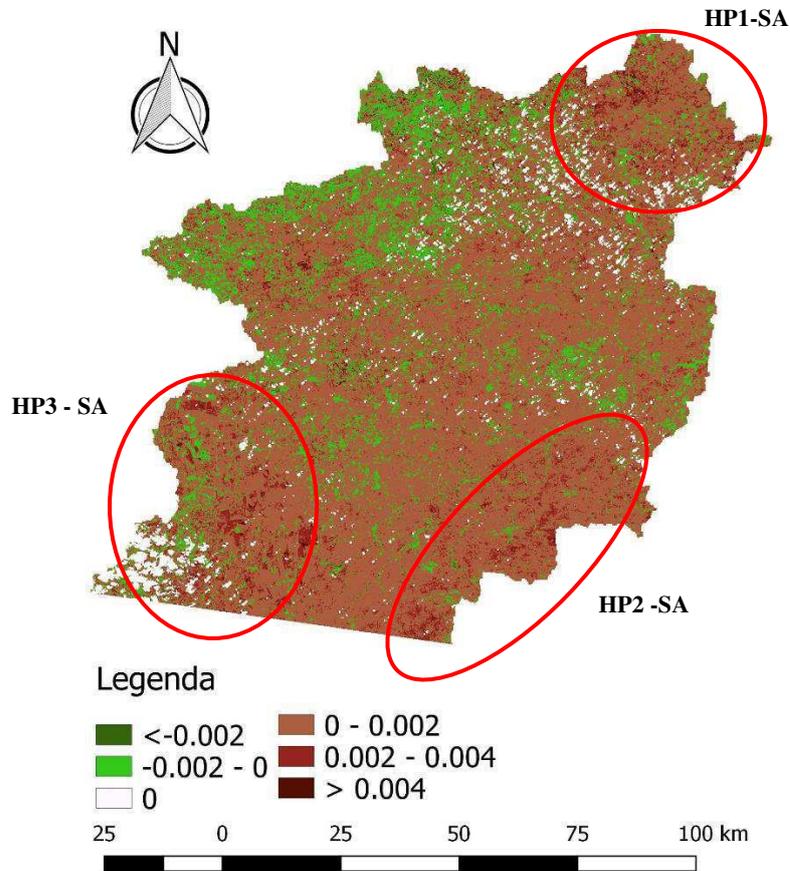
Através da Tabela 2 exibida no item materiais desse trabalho pode-se perceber a variável meteorológica ao longo da série, com anos de maior volume de chuva como o de 1985 apresentando 1032,08 mm/ano, seguido de 1986 com uma precipitação acima de 600 mm/ano. Entretanto os anos seguintes indicam uma baixa nas precipitações ocorridas, com destaque para 1993, ano mais seco, 169,93mm/ano.

Entre os anos de 2000 e 2011 as precipitações médias acumuladas anualmente se mantêm acima de 400 mm/ano alcançando até 805,57mm/ano em 2009, os quais são considerados níveis relativamente elevados. Contudo, no ano de 2012 a região do Semiárido Nordeste sofreu com os baixos níveis de pluviosidade, sendo esse período seco estendido até o último ano da série em análise.

Segundo ALVES et al. (2018) a vegetação representa uma resposta direta à ocorrência da precipitação. Desta forma, certifica-se que essa variabilidade climática do Semiárido e por conseguinte da bacia em estudo, traduz a vulnerabilidade a degradação que a região manifesta.

Nas Figura 15 e 16, temos os produtos gerados e classificados para os valores dos coeficientes de correlação linear. Obtidos a partir das mudanças ao longo da série histórica. Assim sendo, foi possível identificar as áreas que ao final do período apresentaram perda ou ganho vegetativo para cada variável espectral.

Figura 15 - Coeficiente de correlação linear e indicação das áreas de hotspots para a série histórica do albedo de superfície



Fonte: Autor

Com relação ao albedo (Figura 15), os valores positivos para o coeficiente, pixels classificados pelos tons de marrom, representam uma relação de diminuição da cobertura vegetal ao longo dos anos. Enquanto que os pixels nos tons de verde indicam áreas que mesmo diante da variação climática do Semiárido obtiveram ganho de área foliar.

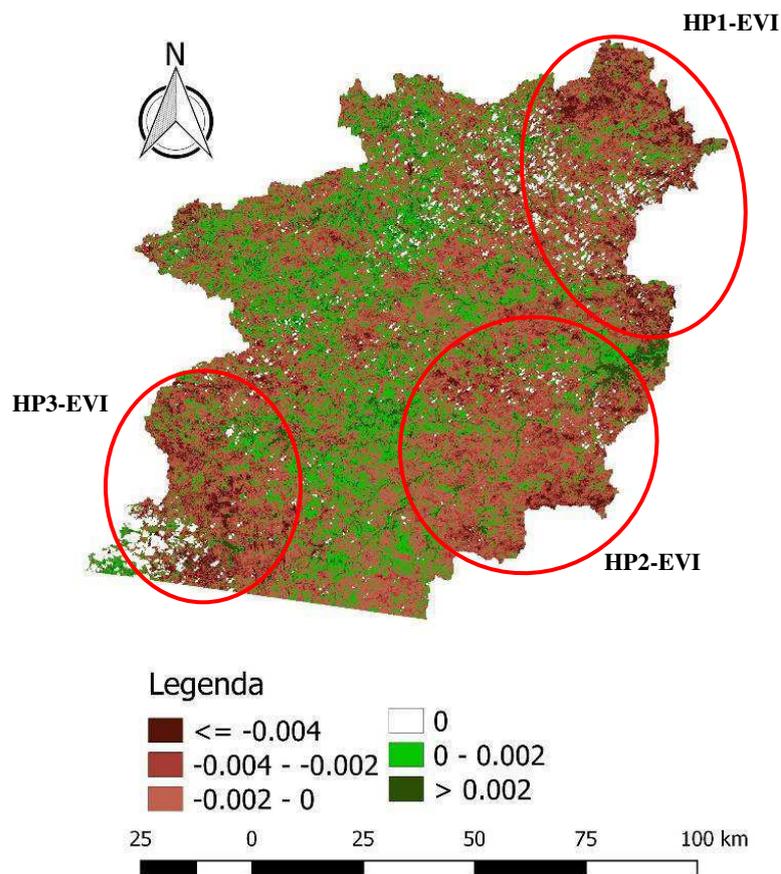
Diante disso, entende-se que à medida que a vegetação perde ou diminui sua folhagem, seja por fatores antropogênicos ou em decorrência do estresse hídrico da estação da seca, a refletividade aumenta, pois o solo fica mais exposto e as áreas mais claras. Em contrapartida, quando a vegetação se desenvolve nas estações chuvosas, o albedo diminui consideravelmente.

Na Figura 15 foram feitas as indicações dos hotspots (HP) das três áreas mais degradadas para a série do albedo de superfície (Surface Albedo – SA), os mesmos estão indicados pelos círculos vermelhos e foram selecionados por apresentarem valores mais altos

para os coeficientes de correlação linear, assim sendo, sugerirem áreas mais propensas à degradação.

No tocante ao índice de vegetação, percebe-se na Figura 16 que a área esverdeada, ou área de recuperação da cobertura do solo apresenta-se mais fortemente espacializada do que a região dos pixels que apontam prejuízo na vegetação (tons de marrom), se comparada à figura anterior. Detecta-se que além de ter uma menor sensibilidade para identificar áreas sem cobertura vegetal, o EVI indica áreas com alterações mais severas na superfície terrestre, perceptível pelos tons mais escuros que indicam um coeficiente de relação linear mais baixo, ou seja, uma correlação negativa tendendo ao máximo.

Figura 16 - Coeficiente de correlação linear e indicação das áreas de hotspots para a série histórica do EVI



Fonte: Autor

CUNHA (2018) em seu estudo de aplicação do método TSS RESTREND também registrou que o índice EVI indicou um alto número de pixels em que o método não detectou

mudança de cobertura do solo. Além de detectar que o melhor desempenho do EVI foi observado para as parcelas que tiveram alteração nos períodos de eventos de seca mais graves.

Na Figura 16 também foram destacados os três hotspots (HP) para a série do EVI, levando em conta os menores valores do coeficiente de correlação linear, e assim sendo áreas que estão mais predispostas à degradação.

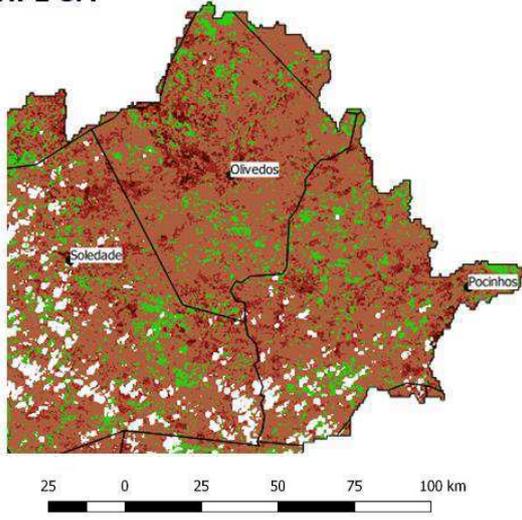
A partir da detecção dos hotspots de áreas degradadas utilizando séries históricas Landsat (Figura 17), observa-se na primeira área selecionada para as duas variáveis que no HP1-ALB as maiores perdas de vegetação foram constatadas nos municípios e proximidades de Soledade, Olivedos e Pocinhos, enquanto que no HP1-EVI os municípios de Boqueirão e Boa Vista também indicaram fortes tendências de degradação. Para o HP2-ABL constata-se áreas de perda de vegetação apresentadas de maneira mais densa na superfície se comparadas ao HP2-EVI, embora nesse último note-se que no entorno do município de Barra de São Miguel os índices de degradação tenham sido mais altos e, portanto demonstram níveis de menor resiliência da vegetação do que o albedo de superfície tenha conseguido detectar no HP2-ALB.

Por fim, no último e terceiro hotspot do albedo de superfície nota-se a mesma característica destacada no HP2-ALB, uma área indicando solo exposto mais denso do que no HP3-EVI. Nos municípios de Monteiro, Prata, Ouro Velho e Amparo ambos os mapas apontaram regiões mais degradadas, embora novamente o EVI apresente índices mais elevados para certas áreas.

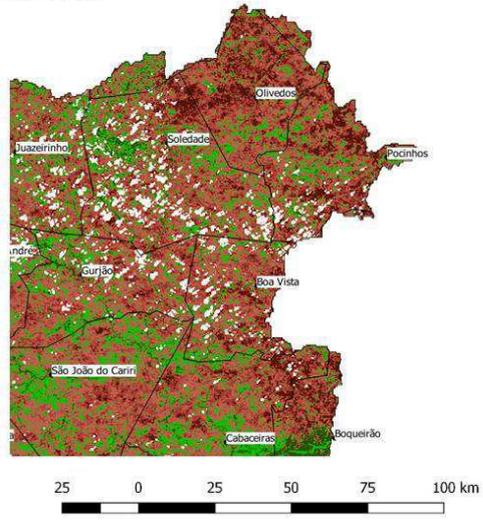
Verifica-se pelas figuras dos hotspots a seguir que o produto da série do albedo de superfície exprime uma menor quantidade de áreas verdes comparado ao índice de vegetação, o qual apresenta sensibilidade ao regime hídrico, fato identificado pelo sensível aumento desse índice nas regiões que apresentam presença de água superficial, como riachos e açudes, tal efeito pode ser bem visto no HP2-EVI ao sul de Cabaceiras, onde o Açude de Boqueirão expõe-se com tons de verde mais escuro.

Figura 17 - Áreas de Hotspots para o albedo de superfície e EVI

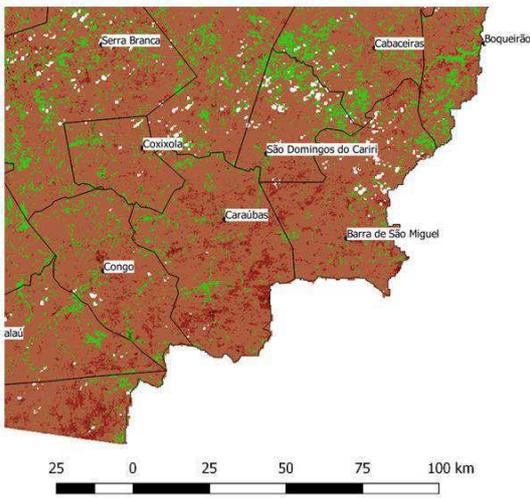
HP1-SA



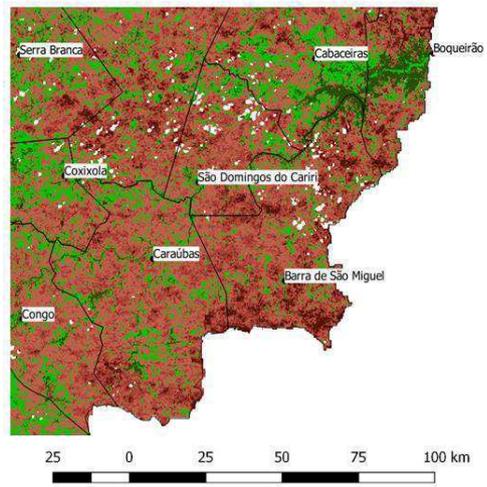
HP1-EVI



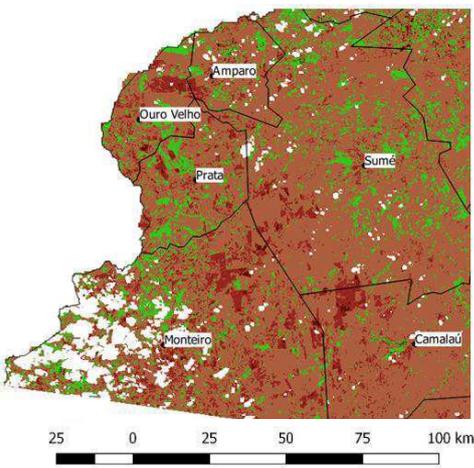
HP2-SA



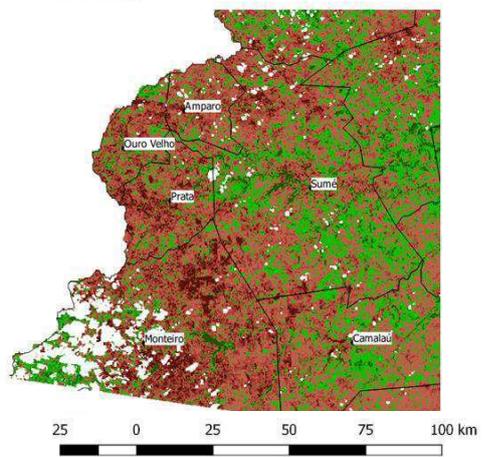
HP2-EVI



HP3-SA



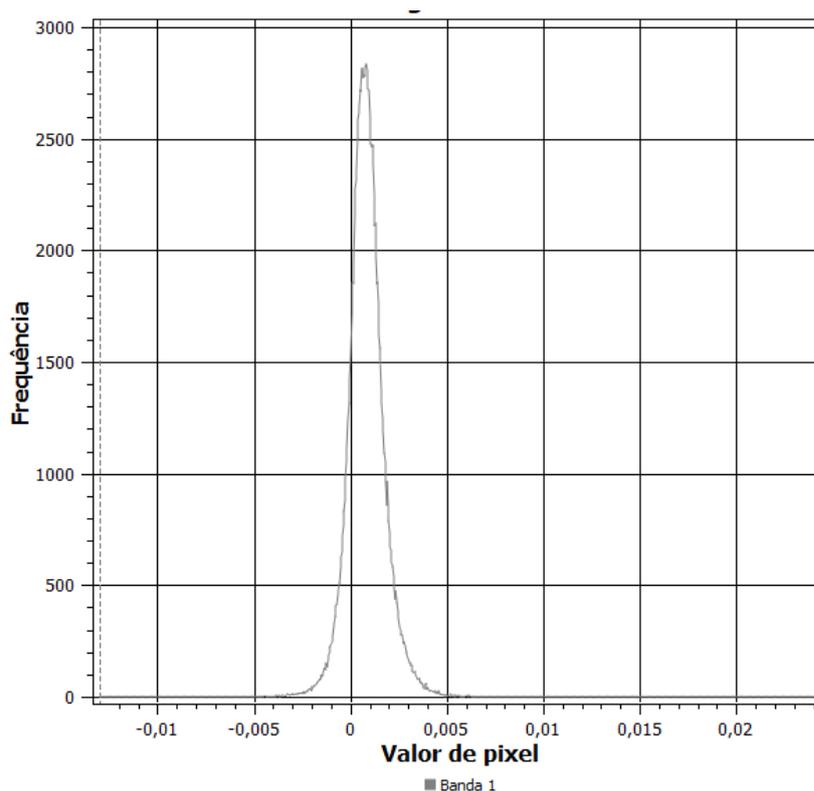
HP3-EVI



Fonte: Autor

Diante do histograma da Figura 18, onde tem-se a frequência na qual cada valor de pixel apresenta no raster, percebe-se que a maior quantidade de pixels para esse raster produto se encontram entre a classe de valor -0,003 e 0,005, o que reafirma a característica encontrada para o albedo de superfície de uma maior detecção de áreas degradadas de solo na menor variação do coeficiente de correlação linear, portanto, não identificando tão bem os extremos.

Figura 18- Histograma do Raster Albedo de Superfície



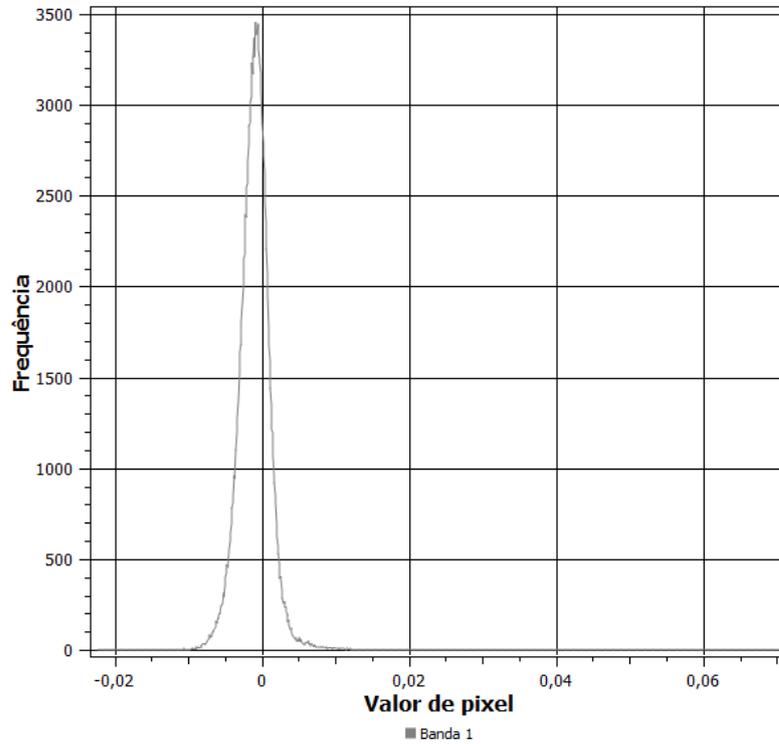
Fonte: Autor

Entrementes, o histograma do raster produto para o EVI (Figura 19) exhibe uma frequência maior para pixels dentro de uma classe de valores mais extremos (-0,01 e 0,01). O que corrobora com o desempenho já apontado para o EVI de que o mesmo identifica melhor eventos de secas mais graves, bem como sua sensibilidade à presença de corpos hídricos, a qual é motivo de confusão por identificar a existência de uma área de maior capacidade de reconstrução vegetativa, quando na verdade no local existe algum corpo hídrico.

O primeiro histograma aponta uma tendência maior dos pixels para os valores positivos, o que traduz que a área de estudo indica uma predominância de áreas degradadas frente aos solos que conseguiram recuperar sua vegetação. Para o EVI o entendimento segue a

mesma linha, visto que sua frequência é maior no intervalo dos valores negativos, que para esse índice significa maior perda da cobertura vegetal frente a reconstrução das áreas foliares.

Figura 19- Histograma do Raster EVI



Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

A avaliação das variáveis espectrais, albedo de superfície e índice de vegetação melhorado, que indicam as alterações de cobertura do solo analisadas através das técnicas de sensoriamento remoto, mostrou-se eficiente no monitoramento da área da sub-bacia de contribuição do Açude de Boqueirão. Pois, fez-se necessário a utilização de um menor número de procedimentos, eliminando a demanda de obtenção manual de dados meteorológicos para sua construção.

Os procedimentos automatizados para obtenção das variáveis geradas pela aplicação do algoritmo SEBAL (SAPS) permitiu o trabalho com grande volume de dados de imagens de satélite, com longas séries temporais, facilitando a produção de resultados de resposta às condições da superfície terrestre e suas mudanças, atualmente disponível às comunidades de recursos hídricos, meio ambiente e tomadores de decisões.

A observação da variável meteorológica, precipitação média acumulada anual, foi fundamental na percepção da situação climática da área piloto deste trabalho. Tal importância deve-se a relação intrínseca entre as condições do solo e a existência dos períodos chuvosos, visto que seu excesso ou deficiência altera o crescimento vegetativo e conseqüentemente o cômputo das bandas espectrais que geram os valores das variáveis estudadas.

Como esperado, o albedo de superfície apresentou maior sensibilidade à detecção de áreas que sofreram mudanças de cobertura vegetal. Visto que a espacialidade das mudanças para o albedo nos hotspots selecionados foi maior frente ao EVI.

Entretanto o índice de vegetação apontou pixels com mudanças mais expressivas da superfície terrestre, o que pode significar que essa variável registra melhor as situações extremas, por ser mais sensível às alterações de biomassa vegetal, e de não se submeter às influências atmosféricas e do solo.

Desta forma, esse trabalho finda por identificar as áreas com maior propensão à degradação a partir dos mapas gerados, os quais exibem as tendências de mudanças a partir do coeficiente de correlação calculado, bem como por analisar a sensibilidade do albedo de superfície e do EVI, e perceber a eficiência de ambos, o primeiro em identificar mais áreas que sofrem com a variabilidade climática e as ações humanas no Semiárido brasileiro, o segundo pela especificidade de detecção dos extremos.

Embora os resultados não tenham sido comparados aos dados de campo, pôde-se verificar a tendência observada na área de estudo com outras pesquisas já realizados para a mesma região. Como na de Alves et al. (2018), que através de 168 imagens MODIS constatou no núcleo central do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba (municípios de Congo, Camalaú e Caraúbas) baixo índice de vegetação e elevado albedo da superfície. Afirmando, desta forma, que o baixo índice de vegetação nessa região pode estar relacionado ao processo de degradação das terras, uma vez que quanto menor o índice de vegetação maior a suscetibilidade à degradação das terras.

Lima et al., (2019), em uma análise quantitativa realizada com os resultados do mapa de feições gerado em seu trabalho apontou 57% de área de matriz nas sub-bacias do rio Taperoá e do Alto Paraíba, que se alternam entre áreas desmatadas e áreas de pastagem, e sugere que estas podem estar em processo de desertificação. Essas áreas identificadas como matrizes apresentam grande sintonia com os hotspots evidenciados neste trabalho.

Logo, o sensoriamento remoto juntamente aos processamos computacionais automatizados tornam-se grandes aliados dos gestores dos órgãos ambientais e públicos, representantes da sociedade e tomadores de decisões. Uma vez que, permitem um feedback ambiental maior, sendo essencial para a mitigação dos efeitos negativos do fenômeno da seca. As técnicas aqui utilizadas são ferramentas promissoras na detecção e monitoramento de áreas degradadas em grandes escalas de tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AILTON, I.; SILVA, D. S. **Núcleos de Desertificação do Nordeste Brasileiro : Suscetibilidade e Dinâmica Pluviométrica.** p. 1768–1776, 2002.
- ALVES, T. L. B. et al. Evolução espaço-temporal do albedo e da cobertura vegetal da superfície na bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba. **Geosul**, v. 33, n. 66, p. 147–171, 2018.
- ANDRADE, R. G.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F.; MASSAGLI, G. O.; AGNESE, M. **L. Estimativa do albedo e do saldo de radiação à superfície utilizando imagem MODIS – Aqua na Bacia do Rio Ji-Paraná.** Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 20 p. (Boletim de Pesquisa, 11).
- AMARAL, GABRIELA DOMINGUES. SILVA, VANESSA LOUREIRO. REIS, E. A. **Análise de Regressão Linear no Pacote R.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/RT-SE-2009.pdf>>. Acesso em: 4 jun. 2019.
- AMÉRICO, C. **Sustentabilidade para o desenvolvimento da Caatinga.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7003-sustentabilidade-para-o-desenvolvimento-da-caatinga.html>>. Acesso em: 3 dez. 2018.
- ANA. **Síntese do Traçado do Monitor de Secas de Outubro de 2018.** Disponível em: <http://200.129.31.16/uploads/mapas/NARRATIVA_FINAL_MONITOR_DE_SECAS_OUTUBRO_2018.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2018.
- ANDRADE, R. G. et al. **Estimativa do albedo e do saldo de radiação à superfície utilizando imagem MODIS-Aqua na Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.** Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.
- AQUILES, F. et al. **Desertificação no Nordeste brasileiro: uma análise das vulnerabilidades socioeconômicas do município de Irauçuba/CE.** Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a17v38n39/a17v38n39p14.pdf>>. Acesso em: 1 dez. 2018.
- BASTIAANSEN, W. G. M. **SEBAL – Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz basin, Turkey.** *Journal of Hydrology*, v.229, p.87-100, 2000.
- BERBET, M. L. C. **Variação sazonal do albedo e sua influência na mudança do padrão de chuva, em consequência da conversão da floresta tropical em pastagem.** 2002. 33 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CREA-BA. **Crea-BA: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia.** Disponível em: <<http://www.creaba.org.br/Artigo/252/Desertificacao--Chao-esturricado.aspx>>. Acesso em: 8 dez. 2018.

CULF, A. D.; FISCH, G.; HODNETT, M. G. The albedo of Amazonian forest and ranch land. **Journal of Climate**, v. 8, n. 6, p. 1544-1554, 1995.

CUNHA, J. et al. A High-Throughput Shared Service to Estimate Evapotranspiration Using Landsat Imagery. 2019.

CUNHA, J. E. D. B. L. **Monitoramento ambiental por sensoriamento remoto: avaliação, automação e aplicação ao bioma Caatinga utilizando séries históricas Landsat.** Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/1555/1/JOHN_ELTON_DE_BRITO_LEITE_CUNHA_-_TESE_PPGRN_2018.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2018.

DNOCS. Açude Epitácio Pessoa. Disponível em: <<https://www.dnocs.gov.br/barragens/boqueirao/boqueirao.htm>>. Acesso em 27 de maio de 2018>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

D'ODORICO, P. et al. Global desertification: Drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 326–344, 1 jan. 2013.

ELACHI, C.; ZYL, J. V. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing.** 2ª. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006

EMBRAPA. **Convivência com a Seca.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-convivencia-com-a-seca/perguntas-e-respostas>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

EPIPHANIO, J. C. N. Satélites de Sensoriamento Remoto. In: MORAES , E. C. D. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** São José dos Campos: INPE, 2002. Cap. 2.

FERREIRA, Artur Gonçalves. **METEOROLOGIA PRÁTICA.** Oficina de texto. São Paulo, 2006.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento Sem Complicação.** 1ª. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FLOOD, N. Seasonal composite landsat TM/ETM+ Images using the medoid (a multidimensional median). **Remote Sensing**, v. 5, n. 12, p. 6481–6500, 2013.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para estudos ambientais**. 1ª. ed. São José dos Campos: SindCT, v. II, 2002.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FLORENZANO, T. G. **Os Satélites e Suas Aplicações**. 1ª. ed. São José dos Campos: SindCT, v. II, 2008.

GARROUTE, E.L. et al. Using NDVI and EVI to map spatiotemporal variation in the biomass and quality of forage for Migratory Elk in the Greater Yellowstone ecosystem. **Remote Sensing**, v.8, n.5, p.1-25, 2016.

GITHUB. **Algoritmo SAPS 2017**. Disponível em: < <https://github.com/ufcg-lsd/saps-station-util/blob/master/workspace/R/Algoritmo-completo-v12042017.R>>. Acesso em 6 de junho de 2019.

GORELICK, Noel et al. (2017). “Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone”. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 202, pp.18 – 27.

GURUNG, R.B. et al. Predicting enhanced vegetation index (EVI) curves for ecosystem modeling applications. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n.10, p.2186-2193, 2009.

HUETE, A. R. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, Special Issue. p.195-213, 2002.

INPE. **Landsat informações**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 8 dez. 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2ª. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JU, J.; MASEK, J. G. The vegetation greenness trend in Canada and US Alaska from 1984–2012 Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 176, p. 1–16, 1 abr. 2016.

JÚNIOR, J. J. F.; FERREIRA, M. J. Análise do albedo da superfície e índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Pacoti/CE. **Revista Tecnologia**, v. 39, n. 2,

p. 1, 2 out. 2018.

KUGA, H. K.; CARRARA, V.; RAO, K. R. **SATELITES ARTIFICIAIS - MOVIMENTO ORBITAL**. Disponível em:

<http://www.dem.inpe.br/~val/cursos_inpe/kcr_mov_orb_2011.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2018.

LIMA, R.P. V. et al. Análise do Padrão Espacial do Uso e Cobertura do Solo e da Fragmentação e Conectividade da Vegetação no Semiárido do Nordeste Brasileiro: Bacias Dos Rios Taperoá e Alto Paraíba-Pb. **Revista de Estudios Andaluces**, n. 37, p. 25–49, 2019.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 21ª. ed. Campo Grande: UNIDERP, 2007.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. **Brasília: MMA**, 2008.

MARTINS FRAGA, A. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Campus Florianópolis. **Sensoriamento Remoto Imagens Orbitais**. Disponível em: <<http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/agrimensura/files/2015/06/16a-aula-Imagens-de-satelite.pdf>>. Acesso em: 6 dez. 2018.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**. 1ª. ed. Porto Alegre: ABRH, v. I, 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Secretaria de Recursos Hídricos Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. Disponível em: <<http://desertificacao.cnrh-srh.gov.br>>. Acesso em: 1 dez. 2018

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007. **Atlas das áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil**. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/129_08122008042625.pdf>.

Acesso em: 3 dez. 2018

Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil. 2005. Disponível em: <<http://desertificacao.cnrh-srh.gov.br>>. Acesso em: 1 dez. 2018

NASA. **Landsat 8 «Ciência Landsat**. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat->

data-continuity-mission/>. Acesso em: 8 dez. 2018.

NOVO, E. M. L. D. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3^a. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

OLIVEIRA, M. L. **Estimativa da evapotranspiração utilizando sebal automatizado em clima mediterrânico**. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2337>>. Acesso em: 06 junho de 2018

PEREIRA, E. B. et al. **Effects of Burning of Biomass on Satellite Estimations of Solar Irradiation In Brazil**. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/solener>. Acesso em: 4 dez. 2018.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2 a Edição. Cubatão: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

PORTAL DA ANA. **Corpos Hídricos Superficiais e Dominialidade**. Disponível em: <<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=ef7d29c2ac754e9890d7cdbb78cbaf2c>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

RIBEIRO, E. P.; NÓBREGA, R. S.; MOTA FILHO, F. O.; MOREIRA, E. B. Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Geosul**, v. 31, n. 62, p. 59–92, 2016.

SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. **PANORAMA DA DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL : Características e suscetibilidades**. p. 144–161, 2016.

THORNTHWAITE, C. W.; HOLZMAN, B. **Evaporation and transpiration**. In: **Climate and Man: Yearbook of Agriculture**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1941, p.545-550.

NORDESTE DO BRASIL : Características e suscetibilidades. p. 144–161, 2016.

UNCCD. **A Iniciativa da Seca | UNCCD**. Disponível em: <<https://www.unccd.int/actions/drought-initiative>>. Acesso em: 9 dez. 2018.

USGS. **Landsat 9 | Missões Landsat**. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-9-mission>>. Acesso em: 8 dez. 2018.

WANG, Z. et al. Early spring post-fire snow albedo dynamics in high latitude boreal forests

using Landsat-8 OLI data. **Remote sensing of environment**, v. 185, p. 71–83, nov. 2016.

WANG, Z. et al. Monitoring land surface albedo and vegetation dynamics using high spatial and temporal resolution synthetic time series from Landsat and the MODIS BRDF/NBAR/albedo product. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 59, p. 104–117, 1 jul. 2017.

WULDER, M. A. et al. **The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction.** 2016.

ZHAO, Y. et al. Albedo estimated from remote sensing correlates with ecosystem multifunctionality in global drylands. **Journal of Arid Environments**, v. 157, p. 116–123, 1 out. 2018.

APÊNDICE A – Código Fonte 1 Utilizado no R

```
library(raster)

library(ncdf4)

##### Inserir diretório #####

setwd("*")

##### Inserir pasta de imagens para stack #####

listimg<-list.files(path = "*",pattern = ".tif")

rasterstack<-stack(listimg)

writeRaster(rasterstack, filename ="EVI2003", format= "CDF")

####Mediana do rasterstack####

EVI2003_median <- calc(rasterstack,median)

writeRaster(EVI2003_median, filename ="EVI2003_median", format= "CDF")
```

APÊNDICE B – Código Fonte 2 Utilizado no R

```
library(raster)

library(rgdal)

library(gimms)

library(remote)

library(maptools)

arq<-list.files(path="G:/recortesEVI", pattern="*", full.names=T)

EVI<-stack(arq)

EVI.ano<-list()

for(i in 1984:2017){

  EVI.ano[[i-1983]]<-max(EVI[[which(substr(names(EVI),11,14)==i)]],na.rm = T)

  print(i)

}

EVI.ano.r<-stack(EVI.ano)

time<-1:nlayers(EVI.ano.r)

fun <- function(x) { if (is.na(x[1])){ NA } else { lm(x ~ time)$coefficients[2]} }

EVI.trend.linear <- calc(EVI.ano.r, fun)

fic.out<-paste0("*.tif")

writeRaster(EVI.trend.linear, fic.out, ".tif",format="GTiff", overwrite=TRUE)
```