



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA**

JOSÉ DIORGENES ALVES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO E MUDANÇAS AMBIENTAIS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO IPANEMA**

**RECIFE – PE
2017**

JOSÉ DIORGENES ALVES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO E MUDANÇAS AMBIENTAIS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO IPANEMA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEA da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE como parte das exigências para obtenção do título de **Mestre** em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo. Linha de Pesquisa: Agrometeorologia.

**RECIFE – PE
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

O48a Oliveira, José Diorgenes Alves.
Avaliação de degradação e mudanças ambientais na Bacia hidrográfica do Alto Ipanema / José Diorgenes Alves Oliveira. – 2017.
83 f.: il.

Orientador: Geber Barbosa de Albuquerque Moura.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2017.
Inclui referências.

1. Índice de anomalia de chuva 2. Índice de aridez 3. Parâmetros biofísicos
4. Semiárido I. Moura, Geber Barbosa de Albuquerque, orient. II. Título

CDD 631.4

JOSÉ DIORGENES ALVES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE DEGRADAÇÃO E MUDANÇAS AMBIENTAIS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO IPANEMA**

Prof. Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura – UFRPE
(Orientador)

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro – UFRPE
(Examinador interno)

Prof. Dra. Cristina Rodrigues Nascimento - UFRPE
(Examinadora externa)

Prof. Dr. Ranyere Silva Nóbrega - UFPE
(Examinador externo)

Prof. Dr. Fabrício Marcos Oliveira Lopes – UFRPE
(Examinador suplente)

OFERECIMENTO/DEDICO

*Dedico esta, bem como todas as minhas demais
conquistas, a Deus, aos meus pais Cileide e
Alúcio, e aos meus irmãos José Fellipe,
Gabriele e Brenda.*

“Seus sonhos são as letras do livro que sua vida está escrevendo.”

(Paulo Coelho)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado uma família maravilhosa e amigos verdadeiros. Deus que me atribuiu missões e permitiu que tudo isso acontecesse, não apenas nesses anos como universitário, mas em todos os momentos, é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais Cileide Alves de Almeida e Aluísio Lima de Oliveira, por minha vida, pelos exemplos de luta e de uma vida digna, com humildade e respeito ao próximo, por terem me apoiado em todos os momentos que precisei. Obrigado por tudo.

A meu irmão José Fellipe que me estimulou a chegar até esta etapa de minha vida.

Aos meus avós paternos, Francisco e Josefa e maternos, Adeildo e Severina por eles terem me dado pais tão maravilhosos, agradeço eternamente.

Ao Professor orientador, Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura, pela paciência na orientação, incentivo e amizade que tornaram possível a conclusão da dissertação. Por ser um exemplo de pessoa e de profissional, por compartilhar comigo sua experiência durante o curso.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do mestrado em Engenharia Agrícola.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelos ensinamentos e amizade concedidos.

À banca examinadora pela colaboração na versão final desse trabalho.

Ao Conselho de Aperfeiçoamento e Capacitação de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho.

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiii
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 Objetivo geral.....	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1 O Bioma Caatinga e sua degradação.....	21
3.2 O emprego dos Índices Climáticos no Semiárido.....	22
3.3 Sensoriamento Remoto e a série Landsat.....	23
3.4 Albedo da superfície e os índices de vegetação.....	25
3.5 Temperatura da superfície.....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 Área de estudo.....	28
4.2 Morfometria da Bacia Hidrográfica.....	30
4.3 Dados Meteorológicos.....	32
4.4 Índice de Anomalia de Chuva.....	32
4.5 Índice de Aridez.....	35
4.6 Imagens de satélite.....	35
4.7 Uso e cobertura vegetal do solo na bacia.....	36
4.8 Processamento das imagens de satélite.....	38
4.8.1 Radiância espectral.....	38
4.8.1.1 Radiância (Landsat 5 e Landsat 8).....	40
4.8.2 Refletância monocromática.....	40
4.8.2.1 Refletância (Landsat 5 TM e Landsat 8).....	41
4.8.2.2 Landsat 8 OLI (cômputos dos pesos).....	42
4.8.3 Albedo planetário (Landsat 5 e Landsat 8).....	42

4.8.4 Albedo da superfície	43
4.8.5 Índices de vegetação	45
4.8.5.1 NDVI	45
4.8.5.2 SAVI	45
4.8.5.3 IAF	46
4.8.6 Emissividades da superfície	46
4.8.7 Temperatura da superfície	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 Caracterizando o Índice de Anomalia de Chuva da Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema	48
5.2 Caracterizando o Índice de Aridez da Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema	55
5.3 Condições hidrometeorológicas da bacia hidrográfica do Alto Ipanema	56
5.4 Parâmetros biofísicos da bacia hidrográfica do Alto Ipanema	56
5.4.1 Albedo da superfície	56
5.4.2 Índices de vegetação: NDVI, SAVI e IAF	60
5.4.2.1 NDVI	60
5.4.2.2 SAVI	64
5.4.2.3 IAF	67
5.4.3 Temperatura da superfície	70
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carta espacial de localização da área de estudo, bacia do Alto Ipanema – PE.	29
Figura 2 - Carta altimétrica da bacia do Alto Ipanema.	31
Figura 3 - Carta da rede de drenagem da bacia do Alto Ipanema.	32
Figura 4 - Mapa de uso da cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema.	37
Figura 5 - Índice de anomalia de chuva da bacia do Alto Ipanema de 1962–2015	48
Figura 6 - Precipitação média anual da bacia do Alto Ipanema 1962 –2015	49
Figura 7 - Pluviograma dos totais mensais da bacia do Alto Ipanema de 1962 –2015.....	50
Figura 8 - Precipitação dos meses do ano de 1966 na bacia do Alto Ipanema.....	51
Figura 9 - Precipitação dos meses do ano de 1974 na bacia do Alto Ipanema.....	52
Figura 10 - Precipitação dos meses do ano de 1984 na bacia do Alto Ipanema.....	52
Figura 11 - Precipitação dos meses do ano de 1985 na bacia do Alto Ipanema.....	52
Figura 12 - Precipitação dos meses do ano de 1986 na bacia do Alto Ipanema.....	53
Figura 13 - Precipitação dos meses do ano de 1988 na bacia do Alto Ipanema.....	53
Figura 14 - Precipitação dos meses do ano de 1989 na bacia do Alto Ipanema.....	53
Figura 15 - Precipitação dos meses do ano de 2004 na bacia do Alto Ipanema.....	54
Figura 16 - Precipitação dos meses do ano de 2009 na bacia do Alto Ipanema.....	54
Figura 17 - Precipitação dos meses do ano de 2010 na bacia do Alto Ipanema.....	54
Figura 18 - Índice de aridez da bacia do Alto Ipanema	55
Figura 19 - Carta temática da distribuição espacial e temporal do albedo da superfície – α_{sup} nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema.	58
Figura 20 - Carta temática da distribuição espacial e temporal do NDVI nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema.	62
Figura 21 - Carta temática da distribuição espacial e temporal do SAVI nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F),	

12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema. 65

Figura 22 - Carta temática da distribuição espacial e temporal do IAF nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema. 68

Figura 23 - Carta temática da distribuição espacial e temporal da temperatura da superfície – Ts (°C) nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema 71

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Características do programa do satélite Landsat e seus respectivos sensores ao longo dos anos. Instituição responsável: NASA (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>).....	25
Tabela 2 - Caracterização morfométrica da superfície bacia do Alto Ipanema.	30
Tabela 3 - Caracterização morfométrica da rede de drenagem da bacia do Alto Ipanema.	31
Tabela 4 - Classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC).....	33
Tabela 5 - Ocorrência e Intensidade do <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i>	34
Tabela 6 - Classes de risco de desertificação a partir do índice de aridez.....	35
Tabela 7 - Dados das imagens de satélite utilizada no estudo: Satélites Landsat (5 TM) e (8 OLI/TIRS), datas das imagens estudadas, satélite, sensor, órbita/ponto, o dia sequencial do ano (DSA), hora local da passagem (h), ângulo de elevação do Sol (E).....	36
Tabela 8 - Área em km ² das classes de uso e cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema.....	38
Tabela 9 - Descrição das bandas do TM - Landsat 5 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – L _{mín} e máxima – L _{máx}) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).....	39
Tabela 10 - Descrição das 9 bandas do OLI e 2 bandas do TIRS - Landsat 8 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – L _{mín} e máxima – L _{máx}) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).	39
Tabela 11 - Precipitação antecedente acumulada (mm) às datas das imagens.	56
Tabela 12 - Valores dos parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas do albedo corrigido da superfície.....	59
Tabela 13 - Valores dos parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas do índice de vegetação NDVI.....	63
Tabela 14 - Parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas do índice de vegetação SAVI.	66
Tabela 15 - Parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas do índice de vegetação IAF.....	70
Tabela 16 - Parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas da temperatura da superfície – Ts (°C).	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ERTS-1	<i>Earth Resources Technology Satellite</i>
ETM	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
INMET	<i>Instituto Nacional de Meteorologia</i>
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
SRTM	<i>Missão Topográfica Radar Shuttle</i>
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
RGB	<i>Red (Vermelho), Green (Verde), Blue (Azul)</i>
SEVAP	<i>Sistema de Estimativa de Evapotranspiração</i>
SEBAL	<i>Surface Energy Balance Algorithm for Land</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TOA	<i>Topo da Atmosfera</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
UCS	<i>Uso e Ocupação do Solo</i>
WGS	<i>World Geodetic System</i>
RBV	<i>Return-Beam Vidicon</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

W	Água precipitável
α	Albedo
α_{toa}	Albedo planetário de cada pixel
α_{sup}	Albedo da superfície corrigido de cada pixel para os efeitos atmosféricos
θ	Ângulo zenital solar
E	Ângulo de elevação do Sol
b (subscrito)	Bandas do Landsat 5 TM e 8 OLI
$r_{b\ IV}$ e $r_{b\ V}$	Bandas refletivas 4 e 3 do Landsat 5 TM e bandas 5 e 4 do Landsat 8 OLI, respectivamente
L_{b6}	Banda termal do satélite Landsat 5 de sensor TM
L_{b10}	Banda termal do Landsat 8 de sensor TIRS
L	Constante de ajuste do solo (SAVI)
K_1 e K_2	Constantes de calibração das bandas termais do Landsat 5 TM (banda termal 6, L_{b6}) e do Landsat 8 TIRS (banda termal 10, L_{b10}), extraídos dos metadados
DSA	Dia sequencial do ano
ϵ_a	Emissividade atmosférica do ar
ϵ_{NB}	Emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal
ϵ_o	Emissividade de cada pixel no domínio da banda larga
ET_p	Evapotranspiração potencial
K	Graus Kelvin
°C	Graus Celsius
h	Hora da passagem local
IAC	Índice de anomalia de chuva
IAF	Índice de área foliar ($m^{-2} m^{-2}$)
IA	Índice de aridez
SAVI	Índice de vegetação ajustado aos efeitos do solo
NDVI	Índice de vegetação da diferença normalizada

IV	Infravermelho
d_r	Inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol
$k_{b \text{ Land 5}}$	Irradiância solar espectral de cada uma das bandas refletivas do Landsat 5 TM no Topo da Atmosfera – TOA ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)
$k_{b \text{ Land 8}}$	Irradiância solar espectral de cada uma das bandas refletivas do Landsat 8 OLI no Topo da Atmosfera – TOA ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)
m	Metro
m s^{-1}	Metro por segundo
$\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	Mega Joule por metro quadrado dia
g	Módulo do campo gravitacional terrestre ($9,81 \text{ m s}^{-2}$)
ND	Número Digital (nível de cinza)
P	Precipitação
$p_{b \text{ Land 8}}$	Pesos para cada banda do Landsat 8 OLI
e_a	Pressão real de vapor d'água atmosférico (kPa)
e_s	Pressão de saturação do vapor d'água (kPa)
km	Quilômetro
$L_{\text{mín}}$	Radiância espectral mínima
$L_{\text{máx}}$	Radiância espectral máxima
$L_{b \text{ Land 5}}$ e $L_{b \text{ Land 8}}$	Radiância espectral de cada pixel em cada banda dos satélites Landsat 5 TM e 8 OLI ($\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)
α_{atm}	Refletância da própria atmosfera
$r_{b \text{ Land 5}}$ e $r_{b \text{ Land 8}}$	Refletância espectral monocromática de cada pixel em cada banda dos satélites Landsat 5 TM e 8 OLI ($\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)
$\text{Add}_{\text{rad } b}$ e $\text{Add}_{\text{ref } b}$	Termo aditivo do satélite Landsat 8 OLI para radiância e refletância, respectivamente
$\text{Mult}_{\text{rad } b}$ e $\text{Mult}_{\text{ref } b}$	Termo multiplicativo do satélite Landsat 8 OLI para radiância e refletância, respectivamente
T_{ar}	Temperatura do ar instantânea medida na estação meteorológica automática ($^{\circ}\text{C}$)
T_s	Temperatura da superfície (graus Kelvin)

T_{med}	Temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$), calculada a partir das temperaturas do ar máxima e mínima, medidas na estação meteorológica da área de estudo
τ_{sw}	Transmissividade atmosférica instantânea no domínio da radiação solar para dias de céu claro
UR	Umidade relativa do ar
W m^{-2}	Watts por metro quadrado

RESUMO

A bacia hidrográfica do Alto Ipanema, por estar localizada em uma região semiárida, torna-se mais vulnerável e susceptível aos efeitos das mudanças ambientais e do processo de degradação, tem sérias implicações econômicas e socioambientais. Assim, a presente dissertação teve como objetivo geral identificar e avaliar os diferentes graus de susceptibilidade ambiental da bacia hidrográfica do Alto Ipanema à variabilidade climática e ao processo de degradação/desertificação. Para atender ao referido objetivo foram traçados os seguintes objetivos específicos: avaliar a variabilidade temporal da precipitação na bacia, empregando o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), avaliar o grau de aridez com o índice de aridez (IA) e identificar e analisar a dinâmica espaço-temporal de parâmetros biofísicos na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica com aplicação de alguns componentes do algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL). Foram utilizados nesta pesquisa os dados de precipitação mensal da série histórica (1962 a 2015) para a realização do cálculo dos IAC, considerando as médias temporais das precipitações locais, para a determinação dos períodos secos e úmidos. Também foi realizado o cálculo do IA, para identificar a tendência à desertificação da bacia, através de dados de precipitação e evapotranspiração potencial. Foram estimados parâmetros biofísicos para a detecção de mudanças ambientais na referida bacia hidrográfica, aplicando componentes do algoritmo SEBAL por meio da utilização de imagens de Landsat 5-TM e 8-OLI/TIRS. Os resultados apresentaram uma predominância de IAC negativos para a variabilidade interanual com pontos de inflexão mais extremos nos anos chuvosos, que mostra toda a bacia hidrográfica com índice de anomalia entre seco e chuvoso. Percebe-se também a existência de fortes indícios da influência da ocorrência dos fenômenos de El Niño e La Niña nos eventos de secas e chuvas na bacia. Através do índice de aridez encontrou-se que a bacia hidrográfica está susceptível ao processo de degradação ambiental/desertificação de forma moderada. Com os parâmetros biofísicos analisados encontrou-se que a porção noroeste da bacia apresenta uma área considerável de solos expostos com indicação de elevado grau de susceptibilidade à degradação e que os parâmetros biofísicos avaliados pelo algoritmo SEBAL são eficazes e eficientes na compreensão da dinâmica dos padrões espaciais e temporais de ambientes semiáridos.

Palavras-chave: índice de anomalia de chuva; índice de aridez; parâmetros biofísicos; semiárido.

ABSTRACT

The Alto Ipanema watershed, it is located in a semi-arid region, becomes more vulnerable and susceptible to the effects of environmental changes and the degradation process, it has serious economic and socio-environmental implications. Thus, the present dissertation had the objective to identify and evaluate the different degrees of environmental susceptibility of the Alto Ipanema watershed to climatic variability and the degradation / desertification process. In order to meet this objective, the following specific objectives were established: to evaluate the temporal variability of the precipitation in the watershed, using the Rainfall Anomaly Index (IAC), to evaluate the degree of aridity with the Aridity Index (IA) and to identify and analyze the spatial-temporal dynamics of biophysical parameters in the detection of environmental changes in the watershed with application of some components of the algorithm Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). The data of monthly precipitation of the historical series (1962 to 2015) were used for the calculation of the IAC, considering the temporal means of the local precipitations, for the determination of dry and humid periods. The AI calculation was also performed to identify the trend towards watershed desertification through precipitation and potential evapotranspiration data. Biophysical parameters were estimated for the detection of environmental changes in the watershed, applying components of the SEBAL algorithm through the use of Landsat 5-TM and 8-OLI / TIRS images. The results showed a predominance of negative IACs for interannual variability with more extreme inflection points in the rainy years, which shows the whole watershed with an anomaly index between dry and rainy. It is also noticed the existence of strong evidence of the influence of the occurrence of the El Niño and La Niña phenomena on the events of droughts and rains in the watershed. Through the Index of Aridity it was found that the watershed is susceptible to the process of environmental degradation / desertification in a moderate way. With the biophysical parameters analyzed, it was found that the northwestern portion of the basin presents a considerable area of exposed soils with indication of a high degree of susceptibility to degradation and that the biophysical parameters evaluated by the SEBAL algorithm are effective and efficient in understanding the dynamics of spatial and temporal of semi-arid environments.

Keywords: Rainfall anomaly index; aridity index; biophysical parameters; semi-arid.

1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental ao longo da história da humanidade se dá pela disposição da natureza em fornecer aos seres humanos os recursos naturais renováveis e não renováveis, tendo em vista que, os recursos naturais são fatores determinantes para a sobrevivência da humanidade através do desenvolvimento econômico, social e cultural (NETO e CRISTO, 2014).

Em escala global, temos que, segundo dados da *Food and Agriculture Organization - FAO* (2015), 30% dos solos do mundo apresentam algum estágio de degradação, com perdas anuais de aproximadamente 24 bilhões de toneladas de solos férteis, o que influencia diretamente nos aspectos de produção animal, vegetal e alimentação humana, com dados alarmantes de uma população com aproximadamente dois milhões de desnutridos (ROBERTS e RYAN, 2015).

No Brasil a questão da degradação vem se agravando no decorrer dos anos. A região semiárida brasileira se destaca nessa perspectiva devido a muitos fatores, entre eles as próprias condições climáticas, associadas às tradicionais formas de uso e ocupação marcadas por um pastoreio extensivo, agricultura tradicional mal manejada e técnicas inadequadas de uso do solo. Além disso, está inserida num contexto político e econômico que contribui para acelerar os processos de degradação e minimizar a melhoria das condições de vida da população devido à baixa capacidade técnica e mínimos recursos financeiros empregados (SOUSA e NASCIMENTO, 2014).

Um dos elementos climáticas que mais influenciam na qualidade do meio que nos cerca é a variabilidade espaço-temporal da precipitação, constituindo-se em importante fator no controle do ciclo hidrológico. Falar de qualidade do meio ambiente e da vida do ser humano, portanto, pressupõe o estudo dessa variabilidade (SILVA e NERY, 2012).

Para entender como essa variabilidade ocorre em um determinado local é muito utilizado os estudos dos índices climáticos que segundo Marcuzzo e Goularte (2012), através destes encontram-se facilidade para o conhecimento da climatologia de uma região, e podem-se verificar os impactos que o clima global causa sobre a distribuição pluviométrica local, ou seja, a regionalização da precipitação para determinado local.

O regime pluviométrico é o grande responsável pela disponibilidade de biomassa nas áreas secas e por isso correlacionada com a cobertura vegetal (RIBEIRO et al., 2016a). Então as mudanças nesse regime podem interferir diretamente na resposta dessa cobertura. Porém, a

perda da cobertura vegetal também se dá pelo crescimento das pequenas e médias cidades que demanda de mais recursos da área, o que leva aos desmatamentos e queimadas, o que proporciona a degradação ambiental no bioma Caatinga.

Nos últimos anos o sensoriamento remoto orbital tem-se tornado uma ferramenta importante no monitoramento de fenômenos meteorológicos e ambientais, proporcionando melhor avaliação, manejo, gerenciamento e gestão dos recursos naturais (BEZERRA et al., 2011).

A utilização de imagens de sensoriamento remoto permite a obtenção de informações sobre grandes áreas de vegetação nativas e agricultáveis em um tempo reduzido e com menor custo quando comparado com as atividades em campo (DISPERATI et al., 2007). Além disso, para mitigar os efeitos deletérios de uso do solo e fomentar o desenvolvimento de políticas públicas, visando uma gestão sustentável dos recursos naturais, torna-se imprescindível o monitoramento do Uso e Ocupação do Solo (UCS), por meio de informações espaço-temporais detalhadas das modificações ocorridas na paisagem (COELHO et al., 2014). Segundo Bezerra et al. (2014) com o aumento da presença de ação antrópica, voltada ao uso e ocupação do solo a necessidade de modelagens de parâmetros (hídricos, edáficos e vegetativos) da superfície e da atmosfera aumentam.

Segundo Oliveira et al. (2012) um dos parâmetros biofísicos mais empregados no monitoramento ambiental são a temperatura da superfície e alguns índices de vegetação. A quantificação dos parâmetros biofísicos (albedo, índices de vegetação, emissividade, temperatura de superfície) vem sendo amplamente estudada destacando-se as pesquisas de Oliveira et al. (2012), Cunha et al. (2012), Bezerra et al. (2014), Ribeiro et al. (2016a), entre tantos outros que realizam estudos com a referida temática.

Com a crescente preocupação em preservar a caatinga contra o processo de degradação, principalmente em bacias hidrográficas esses temas vêm sendo alvo de estudos científicos, com aplicação de técnicas que visam monitorar e analisar esses ambientes, de forma a compreender seu comportamento ao longo dos anos e visando minimizar os impactos gerados sob os mesmos. Essas informações são importantes no tocante ao direcionamento de políticas públicas que venham intervir na degradação desses ambientes.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar e avaliar os diferentes graus de susceptibilidade ambiental da bacia hidrográfica do Alto Ipanema, região semiárida de Pernambuco, à variabilidade climática e ao processo de degradação.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a variabilidade temporal da precipitação na bacia hidrográfica do Alto Ipanema empregando o Índice de Anomalia de Chuva;
- Gerar índices de aridez e classificar o risco aos processos de desertificação na bacia hidrográfica;
- Avaliar dinâmica espaço-temporal de parâmetros biofísicos (albedo da superfície, NDVI, SAVI, IAF e temperatura da superfície) na cobertura vegetal do bioma Caatinga na bacia hidrográfica com aplicação de alguns componentes do algoritmo SEBAL.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O Bioma Caatinga e sua degradação

A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, a origem do termo caatinga vem do tupi-guarani, CAA= mata e TINGA= branca, mata branca, o que caracteriza a paisagem no período de estiagem quando a vegetação perde as folhas e fica com um aspecto seco e sem vida (ALVES, 2007).

O domínio ecogeográfico está sob as latitudes sub-equatorial compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' Latitude Sul (ALVES, 2009). Com uma população de cerca 22 milhões de pessoas – ou 11,8% da população nacional. Na Caatinga estão catalogadas 2.240 espécies de vegetais e animais, dessas, 481 são endêmicas – ou seja, só existem na região. Elas se distribuem em uma área estimada em 959 mil km² (ou 9,9% do território nacional), ocupando nove estados brasileiros: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Pernambuco, Bahia e norte de Minas Gerais (AVANCINI e TEGA, 2013).

O relevo é representado pelo Escudo Nordestino aplainado e seu núcleo arqueado e falhado – a Borborema – com restos de cobertura sedimentar; pelas bacias sedimentares paleomesozóicas do Piauí-Maranhão com os alinhamentos de cuestas da Serra Grande-Ibiapaba e Chapadas do Sudeste do Piauí; a dorsal Baiana com a cobertura sedimentar da Chapada da Diamantina; as bacias mesozóicas do Araripe, Apodi, Jatobá, Tucano, Recôncavo e outras; e os Tabuleiros elaborados nos sedimentos plio-pleistocênicos da Formação Barreiras, em suas grandes linhas (ALVES, 2009).

O bioma caracteriza-se pela baixa incidência de chuvas (em relação a outros biomas) e pela irregularidade da precipitação. Em média, por ano, chove entre 300 mm e 500 mm, mas nas áreas de maior altitude tende a chover mais – a média pode chegar a 1.200 mm/ano. A temperatura é sempre elevada: 25°C a 30°C, em média, e o clima severo faz com que os rios sejam temporários (AVANCINI e TEGA, 2013).

Apesar de ser o único bioma natural brasileiro inteiramente restrito ao território nacional, pouca atenção tem sido dada à conservação da diversificada e marcante paisagem de Caatinga (BEZERRA et al., 2014). Em que a ação do homem ganha destaque na sua modificação, pois segundo Dantas et al. (2010) a busca de solos mais férteis para a prática agrícola e agropecuária vem sendo considerada uma das principais causas que levam as áreas da Caatinga a serem devastadas, deixando o solo exposto e suscetível ao processo erosivo, à desertificação e levando ao desaparecimento de inúmeras espécies vegetais e/ou animais.

Sousa e Nascimento (2014) ressaltam que essa degradação tem como consequência o comprometimento das nascentes dos rios em função do desmatamento, entre outros problemas, o que pode comprometer a capacidade de suporte dos recursos naturais, além de gerar decréscimo da produtividade agrícola, aumento da pobreza e da desigualdade social.

Nessa região semiárida, desenvolvem-se atividades de alto potencial de degradação, a chamada indústria da Caatinga (estratificação da vegetação para utilizá-la em diversas atividades econômicas) é a principal delas - o que exige uma demanda dessa vegetação maior do que a natureza pode oferecer, colocando em desequilíbrio todo o ecossistema da Caatinga. E como não há investimento no processo produtivo, trabalhadores rurais procuram no extrativismo uma forma de sobrevivência, que é agravada no período de estiagens prolongadas (PRUDENCIO e CÂNDIDO, 2009).

Diversos trabalhos têm abordado acerca da degradação na caatinga como os estudos de Costa et al. (2009), Alves et al. (2009), Gomes et al. (2011), Silva e Mattos (2013), Souza et al. (2015).

Independentemente das mudanças da cobertura do solo e do uso não sustentável dos recursos terrestres, o bioma Caatinga tem sido apontado como um dos menos conhecidos e mais negligenciados (BEUCHLE et al., 2015).

3.2 O emprego dos Índices Climáticos no Semiárido

A região semiárida brasileira é marcada por frequentes períodos de estiagem ou secas, como também, pela má distribuição das chuvas durante o período do inverno. Através dos índices climáticos pode-se desenvolver um sistema para acompanhamento das características dos períodos secos ou chuvosos, com informações anuais, sazonais ou mensais, com as quais se podem analisar a climatologia de uma região, e, deste modo, verificar os principais impactos causados pelo clima global sobre a distribuição pluviométrica local, ou a regionalização da precipitação para determinado local (FELIX, 2015).

Segundo Gross e Cassol (2015a), eles são importantes para proporcionar aos tomadores de decisões uma medição da anormalidade climática em uma determinada área da superfície terrestre.

Para se analisar o regime hídrico de uma região é necessário fazer os monitoramentos dos índices pluviométricos por meio de dados de precipitações anuais, sazonais ou mensais e uma das ferramentas que mais se destaca pela sua simplicidade é a utilização do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) (SANCHES et al., 2014).

Esse índice foi desenvolvido por Rooy (1965) e tem como principal característica, necessitar apenas de dados de precipitação para ser calculado, e visa tornar o desvio da precipitação em relação à condição normal de diversas regiões passíveis de comparação (GROSS e CASSOL, 2015b).

No Nordeste do Brasil as pesquisas sobre a variabilidade espaço-temporal da precipitação utilizando IAC se destacam pela importância socioeconômica e ambiental, principalmente para as áreas semiáridas (RIBEIRO, 2016).

Outro índice bastante utilizado na região semiárida é o índice de aridez (IA), que é um indicador de áreas suscetíveis à desertificação, o qual permite conhecer previamente as limitações impostas pelo fator climático para a realização de atividades biológicas primárias e, por conseguinte, da produtividade agrícola imprescindível ao desenvolvimento das sociedades humanas (AQUINO e OLIVEIRA, 2013).

Desde 1991, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente adotou uma conceituação de classificação climática associada ao valor do Índice de Aridez (IA). O cálculo deste índice utiliza-se da evapotranspiração potencial e precipitação e foi utilizado inicialmente para verificação dos efeitos antropogênicos nas condições climáticas e hoje é, também utilizada para conhecimento de zoneamento agrícola e das mudanças climáticas de modo geral (LOPES e LEAL, 2015).

3.3 Sensoriamento Remoto e a série Landsat

O sensoriamento remoto é a ciência que possibilita a aquisição de informações (espectral, espacial, temporal) de objetos materiais sem a necessidade de contato físico com o objeto de investigação (GONÇALES et al., 2016). Desde então o sensoriamento remoto tem abrigado tecnologia e conhecimentos extremamente complexos derivados de diferentes campos que vão desde a física até a botânica e desde a engenharia eletrônica até a cartografia (BORGES et al., 2015). Vale destacar que sua utilização possibilita identificar, em tempo real e a baixo custo, mudanças que venham a ocorrer na superfície terrestre resultantes de diversos fenômenos naturais e/ou decorrentes de processos antrópicos (SANTOS et al., 2014).

O início do sensoriamento remoto orbital remonta aos primeiros voos espaciais tripulados na década de 1960 e ao lançamento, em 1972, *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS- 1), posteriormente denominado Landsat 1, cuja série, hoje se encontra no seu oitavo satélite (MOREIRA, 2008 e USGS, 2016a). Em 22 de Janeiro de 1975 e 5 de março de 1978 foi feito o lançamento do Landsat 2 e 3 respectivamente (USGS, 2016a).

Nos anos de 1982 e 1984 foram lançados os satélites Landsat 4 e 5 respectivamente, com o programa entrando em sua segunda geração. Sua principal inovação foi o sensor TM (*Thematic Mapper*), com resolução espacial de aproximadamente 30 metros e bandas distribuídas nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, período de revisita de 16 dias e imagens com 8 bit (FLORENZANO, 2011). Os satélites da família Landsat são comumente utilizadas para estudos ambientais, sendo o Landsat 5 o mais utilizado devido à grande série temporal de dados, a acessibilidade e gratuidade de suas imagens (DEMARCHI et al., 2011; BIUDES et al., 2014; GIANNINI et al., 2015; TARTARI et al., 2015).

Em 1993 o Landsat-6 falhou ao lançá-lo, pois não conseguiu atingir a órbita com o novo sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM) e foi perdido (NASA, 2016).

Em 1999, foi lançado o sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), a bordo do Landsat 7. Este trouxe poucas, mais significativas, inovações em relação ao sensor anterior, dentre estas uma banda pancromática de 15 m. Desde maio de 2003, em função de problemas técnicos, cerca de 24% das cenas ETM+ (principalmente em direção às bordas) apresentam falhas de recobrimento (FLORENZANO, 2011).

Em fevereiro de 2013 foi lançado o Landsat 8. Dentre as mudanças que este novo sensor traz estão dois novos sensores: o sensor espectral Operacional Land Imager (OLI) e o sensor termal Thermal Infrared Sensor (TIRS) (USGS, 2016b). A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores, sendo o primeiro, Operational Land Imager (OLI), com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática e o outro sistema imageador é o Thermal Infrared Sensor (TIRS) com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros, para coincidir com a maioria das bandas multiespectrais do sistema imageador OLI (USGS, 2016b).

A tabela 1 apresenta as principais características dos satélites da série Landsat com seus respectivos sensores, resoluções espaciais, resoluções temporais e os lançamentos:

Tabela 1 - Características do programa do satélite Landsat e seus respectivos sensores ao longo dos anos. Instituição responsável: NASA (*National Aeronautics and Space Administration*)

Características da série Landsat				
	Sensores	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Lançamento
Landsat 1	RBV/MSS	80/80	18 dias	23/07/1972
Landsat 2	RBV/MSS	80/80	18 dias	22/01/1975
Landsat 3	RBV/MSS	30/80	18 dias	05/03/1978
Landsat 4	MSS/TM	80/30(ms)-120(ter)	16 dias	16/07/1982
Landsat 5	MSS/TM	80/30(ms)-120(ter)	16 dias	01/03/1984
Landsat 6	ETM	15(pan)/30(ms)-120(ter)	16 dias	05/10/1993
Landsat 7	ETM ⁺	15(pan)/30(ms)-60(ter)	16 dias	15/04/1999
Landsat 8	OLI/TIRS	15(pan)/30(ms)-100(ter)	16 dias	11/02/2013

pan = pancromático; ms = multiespectral; ter = termal. Fonte: NASA, 2016.

A constante evolução do sensoriamento remoto tem possibilitado a detecção de alvos cada vez menores devido à melhoria da resolução espacial (geométrica) e radiométrica. A resolução geométrica dos sistemas sensores orbitais atuais permitem fornecer detalhes espaciais compatíveis com a cartografia urbana para escalas entre 1:2.500 e 1:100.000 (PACHÊCO et al., 2014).

3.4 Albedo da superfície e os índices de vegetação

O albedo de superfície pode ser definido pela razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o incidente, sendo de grande importância em estudos ambientais, como de desertificação, queimadas e mudanças no clima local (SILVA et al., 2005).

Este depende das características de uso e ocupação da superfície (tais como, tipo de vegetação, nível de exposição do solo, presença de água, etc.), ângulo zenital do sol, condições de umidade do ar e superfície, unidade e tipo de solo, além de sofrer interferência das nuvens (VELOSO et al., 2015). A importância do albedo de superfície está também em estudos de possível detecção de alterações na superfície terrestre, resultantes de processos

naturais e/ou antropogênicos (SILVA et al., 2005). Assim como o albedo da superfície, os índices de vegetação também detectam alterações na superfície terrestre.

Os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais, reflexo de intensos estudos realizados por cientistas desde a década de 1960, os quais vem modelando e extraíndo parâmetros biofísicos da vegetação com o uso de dados de sensoriamento remoto (MALLMANN, 2015).

Nos últimos 40 anos, muitos índices de vegetação foram desenvolvidos para quantificar parâmetros biofísicos da vegetação. Um índice de vegetação ideal deve conter o máximo de sinal relacionado com as características biofísicas específicas e o mínimo de ruídos, como influências do solo e efeitos atmosféricos (JI et al., 2014).

O NDVI (ALLEN et al., 1998), é um índice utilizado principalmente em estudos ambientais e biogeográficos, que permite a realização de análises, em diversas escalas, da cobertura vegetal de determinada área, através da produção de escalas de medidas lineares, sendo que os problemas com divisão por zero tornam-se minimizados. A escala deste índice pode variar de -1 a $+1$, onde o valor zero refere-se à, na grande maioria das vezes, áreas ausentes de vegetação (SIMIONI e WOLLMANN, 2016). Este índice já foi empregado com sucesso por diversos pesquisadores (RÊGO et al., 2012; COUTO JÚNIOR et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016, dentre tantos outros).

Buscando minimizar os efeitos de fundo do solo no sinal da vegetação, Huete (1988) propôs um índice de vegetação ajustado ao efeito do solo (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI), incorporando o fator L, que corresponde a um parâmetro de ajuste de solo, na equação do NDVI. Esse índice é apropriado para aplicação em ambientes áridos e semiáridos (MARCUSSE et al., 2010).

O IAF (LIU & HUETE, 1995) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, sendo um indicador da biomassa de cada pixel da imagem (ALLEN et al., 2002).

Segundo Ribeiro et al. (2015), estes índices consistem na combinação de duas ou mais bandas espectrais, que permitem uma melhor identificação e caracterização de superfícies vegetadas.

3.5 Temperatura da superfície

A temperatura da superfície é um parâmetro chave para diversos estudos ambientais como o monitoramento de condições vegetais, variabilidades bioclimáticas, nas estimativas de

processos de modificação da superfície da terra referente à hidrologia, ecologia e nas aplicações de modelos de previsão das mudanças climáticas globais e regionais (OLIVEIRA, 2012).

A temperatura de superfície é estimada a partir das imagens da banda termal. Segundo Alves (2016) o processamento de imagens de satélite na banda do infravermelho termal permite a obtenção de uma imagem momentânea da distribuição da temperatura de superfície terrestre com boa resolução espacial, algo que não é possível de obter com qualquer rede de medições estacionárias em solo.

Diversos autores em suas pesquisas têm utilizado da funcionalidade do uso de imagens de satélites para obtenção e discussão dos dados de temperatura de superfície gerados por sensores remotos, como as pesquisas de Sousa e Ferreira Júnior (2012), Leite e Brito (2012), Coelho e Correa (2013) e Silva (2016).

Dentre as várias metodologias utilizadas para a estimativa da temperatura de superfície, destacam-se Allen (1996), Allen (2002), Allen et al. (2007), Bastiaanssen et. al. (1995), Bastiaanssen et al. (1998), com o desenvolvimento e aprimoramento do algoritmo Surface Energy Balance Algorithms for Land – SEBAL.

Leite e Brito (2012) reafirmam a importância do imageamento por satélites para mensuração de temperatura do ambiente ao mencionarem que as diversas maneiras de obtenção de informações climatológicas por meio da aplicação de técnicas do sensoriamento remoto e de imagens orbitais dão a possibilidade de uma análise geral das áreas em maiores escalas, quando colocadas em contraponto aos dados pontuais disponíveis pelas estações meteorológicas de controle.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A Figura 1 ilustra a área de estudo, bacia do Alto Ipanema, com imagem em cor natural de composição RGB – 432 do satélite Landsat 8 OLI no dia 14 de novembro de 2015. O sistema de projeção cartográfica é UTM, DATUM: WGS 1984 de zona 24 S. Está inserida no estado de Pernambuco, a bacia abrange parte dos municípios de Arcoverde e de Pesqueira, localizando-se entre as coordenadas 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul, e 37° 1' 35" e 36° 47' 20" de Longitude Oeste.

A bacia tem uma área aproximada de 187,55 km², com perímetro de 90,25 km. Ao norte faz limite com a bacia do rio Ipojuca e a oeste, com a bacia do rio Moxotó (SILVA JUNIOR et al., 2011).

A bacia do Alto Ipanema apresenta duas sub-bacias, que é a bacia do Jatobá e a bacia do Vale do Mimoso. Segundo Figueirêdo et al. (2014) a região do Jatobá apresenta elevada restrição hídrica, além de solos rasos, o que não contribui para o armazenamento de água no solo e o desmatamento está relacionado à expansão agrícola, onde é praticada agricultura de sequeiro.

Em relação a vegetal, destaca-se na região a Caatinga hipoxerófila, caracterizada por uma grande variação em seu regime foliar durante o ano. Segundo Montenegro et al. (2002) a parte superior da bacia é parcialmente coberta por floresta de caatinga densa, em que predominam solos rasos, com espessura inferior a 2 m nas encostas.

De acordo com Silva et al. (2012), as principais classes de solos encontradas na bacia são o argissolo amarelo, argissolo vermelho-amarelo, cambissolo, neossolo flúvico, neossolo litólico, neossolo regolítico e o planossolo.

O clima local é classificado, segundo classificação de Köppen, como BShw' semiárido quente, com temperatura média anual em torno de 27 °C, umidade relativa média anual do ar de 73% (SILVA et al., 2010).

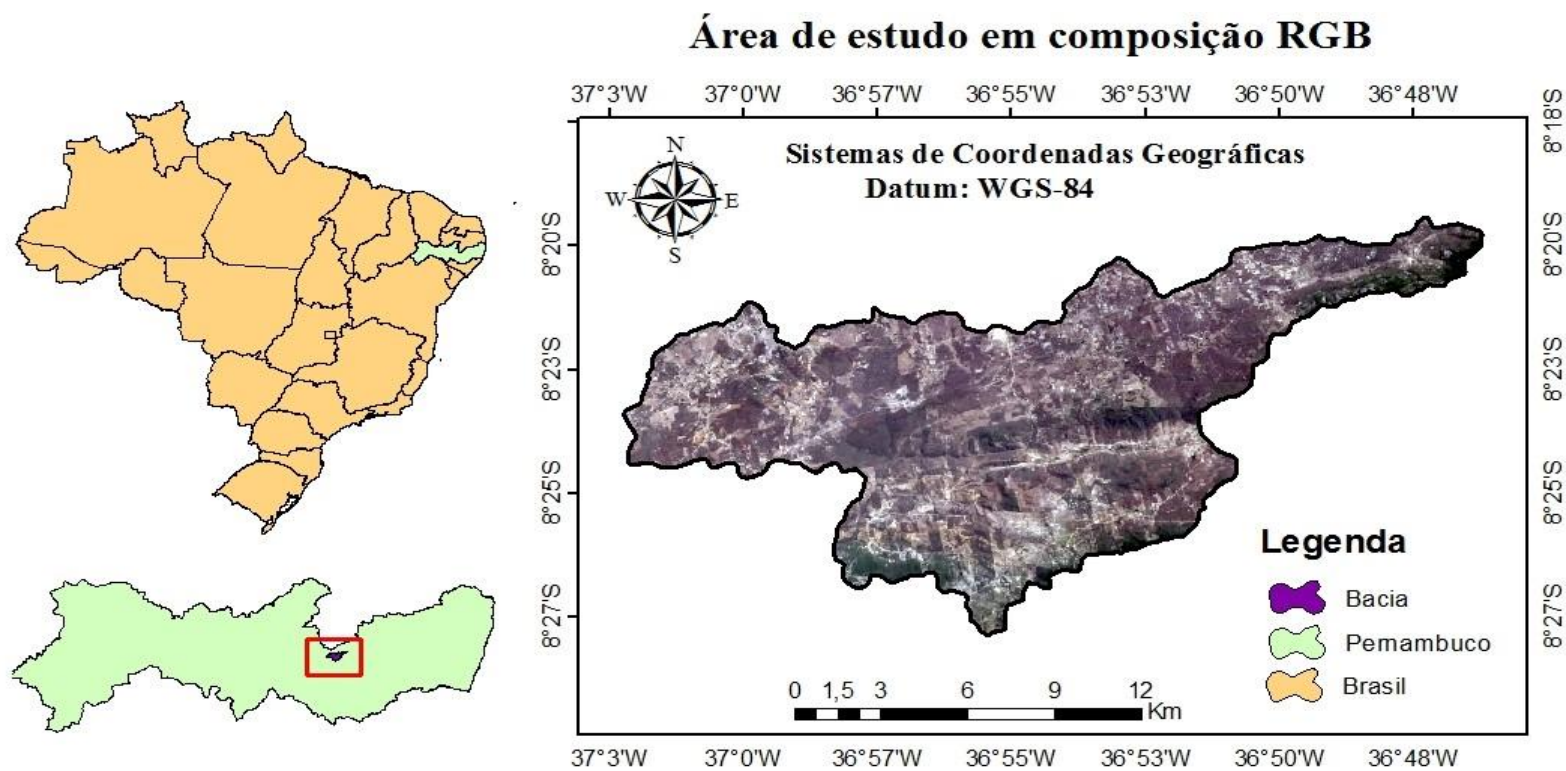


Figura 1 – Carta espacial de localização da área de estudo, bacia hidrográfica do Alto Ipanema - PE

4.2 Morfometria da Bacia Hidrográfica

Para se obter a morfometria da bacia, realizou-se sua caracterização com o software ArcGis 10.2.2, utilizando-se de uma imagem SRTM, cena SC.24-X-B, realizando-se o recorte da SRTM correspondente à área da bacia do Alto Ipanema. Em seguida foram determinadas as seguintes características físicas (Tabela 2): área da bacia, perímetro, o centroide e as cotas. A rede de drenagem da bacia está descrita na Tabela 3, onde temos as seguintes características: longitude do curso principal, ordem da rede hídrica e somatório do comprimento de cada ordem da rede.

Em relação à elevação da área as faixas variam entre 625 a 1100 metros, apresentando 515 m de diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo da sub-bacia (Figura 2). A bacia apresenta uma rede hídrica de 5ª ordem (Figura 3), o que demonstra que possui um sistema de drenagem com ramificação significativa. O comprimento total da rede hídrica foi de 191,72 km.

Tabela 2 - Caracterização morfométrica da superfície bacia do Alto Ipanema

Propriedades da superfície da bacia		
Área (Km²)		187,55
Perímetro (Km)		90,25
Centróide	X	730722,36
	Y	9071421,38
	Z	883,29
Cotas (m)	Mín	625
	Máx	1100

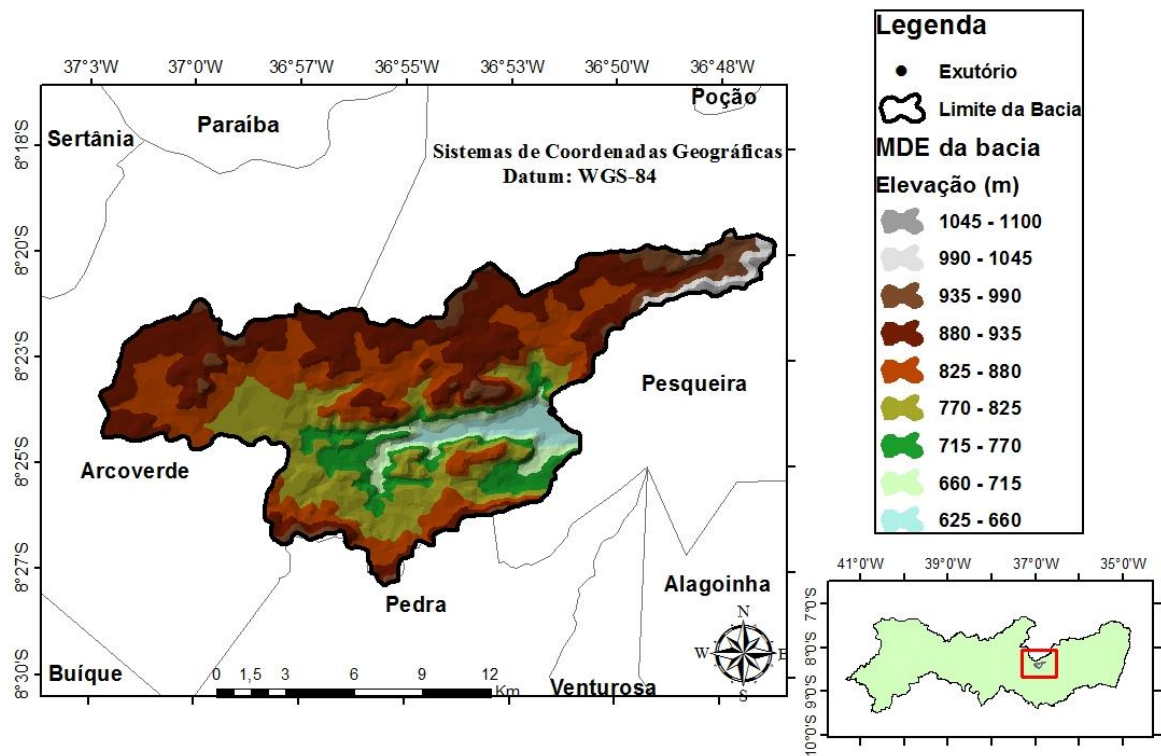


Figura 2 - Carta altimétrica da bacia do Alto Ipanema

Tabela 3 - Caracterização morfométrica da rede de drenagem da bacia do Alto Ipanema

Propriedades da superfície da bacia	
Longitude do Curso principal (Km²)	40,75
Ordem da rede hídrica	5°
	1°
	96,23
	2°
	49,63
Somatório do comprimento de cada ordem da rede (km)	3°
	27,96
	4°
	16,69
	5°
	1,21

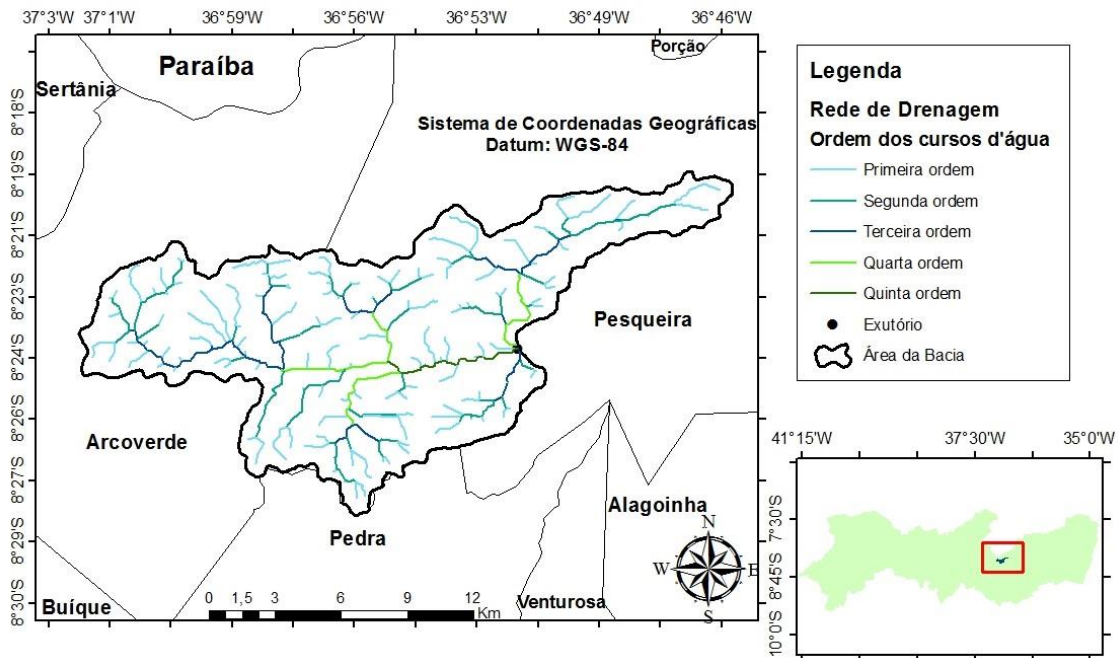


Figura 3 - Carta da rede de drenagem da bacia do Alto Ipanema

4.3 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos que foram utilizados nesse trabalho são de uma estação convencional e outra automática localizada em Arcoverde que possui as seguintes coordenadas geográficas de posição ($8^{\circ} 25' S$ de Latitude e $37^{\circ} 04' W$ de Longitude) e 680 metros de altitude, ambas pertencem ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

4.4 Índice de Anomalia de Chuva

O Índice de anomalia da chuva (IAC) foi utilizado para traçar a frequência da ocorrência de anos secos e chuvosos. O IAC foi desenvolvido por Rooy (1965) e adaptado para o Nordeste do Brasil por Freitas (2005), e é dado pelas Equações 01 e 02:

$$IAC = 3 \frac{(P - P_{med})}{(P_{max} - P_{med})} \text{ Para anomalias positivas} \quad (01)$$

$$IAC = -3 \frac{(P - P_{med})}{(P_{min} - P_{med})} \text{ Para anomalias negativas} \quad (02)$$

em que P = precipitação anual atual (mm), P_{med} = precipitação média anual da série histórica (mm), $P_{máx}$ = média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm),

P_{min} = média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm), sendo as anomalias positivas os valores acima da média e as negativas aquelas que ficarem abaixo da média.

Os valores do IAC foram ordenados conforme a classificação de anos secos e úmidos proposto por Rooy (1965), em um esquema de classificação de seis categorias variando de extremamente úmido a extremamente seco (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

IAC (valores calculados indicando a magnitude dos desvios negativos e positivos em relação a média da série histórica de dados de precipitação mensal)	CLASSIFICAÇÃO
$\geq 4,00$	Extremamente Úmido
2 a 4	Muito Úmido
0 a 2	Úmido
0 a -2	Seco
-2 a -4	Muito Seco
≤ -4	Extremamente Seco

Dessa forma foram utilizados nesta pesquisa dados de precipitação mensal da série histórica de 1962 a 2015. Esses dados foram imprescindíveis para caracterizar os períodos extremamente secos e úmidos ocorridos na área, como também sua comparação histórica na busca de tendências e mudanças de padrões nesse elemento climático.

Os resultados obtidos com os cálculos do IAC foram analisados e comparados com os anos de ocorrência, bem como a intensidade dos fenômenos de *El Niño* e *La Niña* (Tabela 5), com o intuito de averiguar o grau de influência desse fenômeno sobre a anomalia de chuva.

Tabela 5 - Ocorrência e Intensidade do *El Niño* e *La Niña*

Ocorrências do <i>El Niño</i>		Ocorrência de <i>La Niña</i>
1877 – 1878	1888 – 1889	1886
1896 – 1897	1899	1903 – 1904
1902 – 1903	1905 – 1906	1906 – 1908
1911 – 1912	1913 – 1914	1909 – 1910
1918 – 1919	1923	1916 – 1918
1925 – 1926	1932	1924 – 1925
1939 -1941	1946 – 1947	1928 – 1929
1951	1953	1938 – 1939
1957 – 1959	1963	1949 – 1951
1965 – 1966	1968 – 1970	1954 – 1956
1972 – 1973	1976 – 1977	1964 – 1965
1977 – 1978	1979 – 1980	1970 – 1971
1982 – 1983	1986 – 1988	1973 – 1976
1990 – 1993	1994 – 1995	1983 – 1984
1997 – 1998	2002 – 2003	1984 – 1985
2004 – 2005	2006 – 2007	1988 – 1989
2009 – 2010	2013 – 2014	1995 – 1996
2015 – 2016		1998 – 2001
		2007 – 2008
		2011 – 2012

LEGENDA

*El Niño**La Niña*

Forte	Moderada	Fraco	Forte	Moderada	Fraco
-------	----------	-------	-------	----------	-------

Fonte: Adaptado de Rasmusson e Carpenter (1983), Monthly Weather Review, Ropelewski e Halpert (1987), Monthly Weather Review. Cold episode sources Ropelewski e Halpert (1989), Journal of Climate. Climate Diagnostics Bulletin. In: INPE/CPTEC (2014ab).

4.5 Índice de Aridez

Para o cálculo do Índice de Aridez (IA), seguiu-se o critério estabelecido pelas Nações Unidas (UNESCO, 1979), segundo o qual o Índice de Aridez de uma região consiste na razão entre a Precipitação e Evapotranspiração Potencial (Equação 03). Foi compilada uma base de dados contendo como planos de informação as médias anuais de precipitação e as médias anuais de evapotranspiração potencial.

Para obtenção da evapotranspiração potencial anual foi utilizado o programa computacional, denominado Sistema de Estimativa de Evapotranspiração (SEVAP) para se obter o balanço hídrico climatológico e a classificação climática, segundo Thornthwaite (1948).

$$IA = \frac{P}{ETp} \quad (03)$$

em que, IA: índice de aridez; P: precipitação e ETp: evapotranspiração potencial, obtida por meio dos cálculos propostos por (THORNTHWAITE e MATHER, 1955).

Em seguida, foi determinada a susceptibilidade à desertificação a partir da classificação apontada pelo Plano Nacional de Combate à Desertificação, de acordo com três categorias que variam em conformidade com uma escala do índice de aridez (MATALLO JÚNIOR, 2003) apontada na Tabela 6.

Tabela 6 - Classes de risco de desertificação a partir do índice de aridez

Índice de aridez	Nível de risco de desertificação
0,05 – 0,20	Muito alto
0,21 – 0,5	Alto
0,51 – 0,65	Moderado

Fonte: MATALLO JÚNIOR, 2003

4.6 Imagens de satélite

Foram utilizadas nove imagens de satélite Landsat 5 sensor TM e três do Landsat 8 sensor OLI/TIRS, órbita 215, ponto 66 (Tabela 3), as quais foram adquiridas junto ao site americano *United States Geological Survey* – USGS. As imagens foram selecionadas considerando a cobertura espacial da bacia do Alto Ipanema, com ausência ou mínimo de cobertura de nuvens sobre a área de estudo. Quando adquiridas as mesmas já se encontram

ortorretificadas, ou seja, imagens cujas coordenadas dos seus milhares de pixels passaram por processo de correção e se aproximam bastante das coordenadas reais da superfície.

O sensor TM - Landsat 5 opera em 7 bandas espectrais, sendo três na região do visível, três na região do infravermelho e uma na região do infravermelho termal (LIRA et al., 2011). A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores: Operacional Terra Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS). O primeiro opera com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática (COELHO e CORREA, 2013) e o segundo opera com duas bandas termais. Na Tabela 7 a seguir, observam-se os principais dados das imagens de satélite utilizado na pesquisa.

Tabela 7 - Dados das imagens de satélite utilizada no estudo: Satélites Landsat (5 TM) e (8 OLI/TIRS), data da passagem, satélite, sensor, órbita/ponto, o dia sequencial do ano (DSA), hora local da passagem (h) e ângulo de elevação do Sol (E)

Data da Passagem	Satélite	Sensor	Órbita/Ponto	DSA	Hora (h)	E (-)
27/11/1985	Landsat 5	TM	215/66	331	9:03	55,8348
03/09/1989	Landsat 5	TM	215/66	246	9:01	50,2344
14/12/1991	Landsat 5	TM	215/66	348	9:00	52,7995
06/10/1995	Landsat 5	TM	215/66	279	9:36	50,0933
17/10/1999	Landsat 5	TM	215/66	290	9:12	59,9216
22/10/2001	Landsat 5	TM	215/66	295	9:15	60,9800
12/10/2003	Landsat 5	TM	215/66	285	9:13	59,8940
02/11/2005	Landsat 5	TM	215/66	306	9:23	62,8060
29/09/2010	Landsat 5	TM	215/66	272	9:25	61,2150
10/12/2013	Landsat 8	OLI/TIRS	215/66	344	9:37	61,2514
14/11/2015	Landsat 8	OLI/TIRS	215/66	318	9:35	64,6190
12/08/2016	Landsat 8	OLI/TIRS	215/66	225	9:35	52,6322

4.7 Uso e cobertura vegetal do solo na bacia

Para classificar as áreas com cobertura vegetal da bacia, utilizou-se a classificação automática supervisionada disponível no software ArcGis 10.2.2, utilizando-se a técnica do

algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER). A imagem escolhida foi com data de passagem em 29/09/2010, de satélite TM - Landsat 5 adotando-se a composição falsa cor 5R4G3B.

Segundo Moreira et al. (2013), diversas metodologias e procedimentos de classificação de imagens de satélite são utilizadas para a detecção da cobertura vegetal, e uma das que mais se destaca é do algoritmo Máxima Verossimilhança (MAXVER).

A partir da classificação da imagem (Figura 4) foram observadas 5 classes: corpos hídricos, solo exposto, vegetação rala, vegetação arbustiva e vegetação arbórea. É importante ressaltar que a classe de solo exposto abrange áreas desmatadas para introdução da prática agropastoril, áreas antropizadas e áreas urbanas.

Figueirêdo (2014) avaliando a dinâmica da cobertura vegetal na bacia do Alto Ipanema encontra os seguintes intervalos das classes: corpos d'água, solo exposto, vegetação arbustiva aberta, vegetação arbustiva fechada e vegetação arbórea densa.

Silva Júnior et al. (2011) avaliando as características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do Riacho Mimoso classificou a vegetação em caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada e caatinga arbórea fechada.

A Tabela 8 apresenta as cinco classes observadas com os respectivos valores de área em Km².

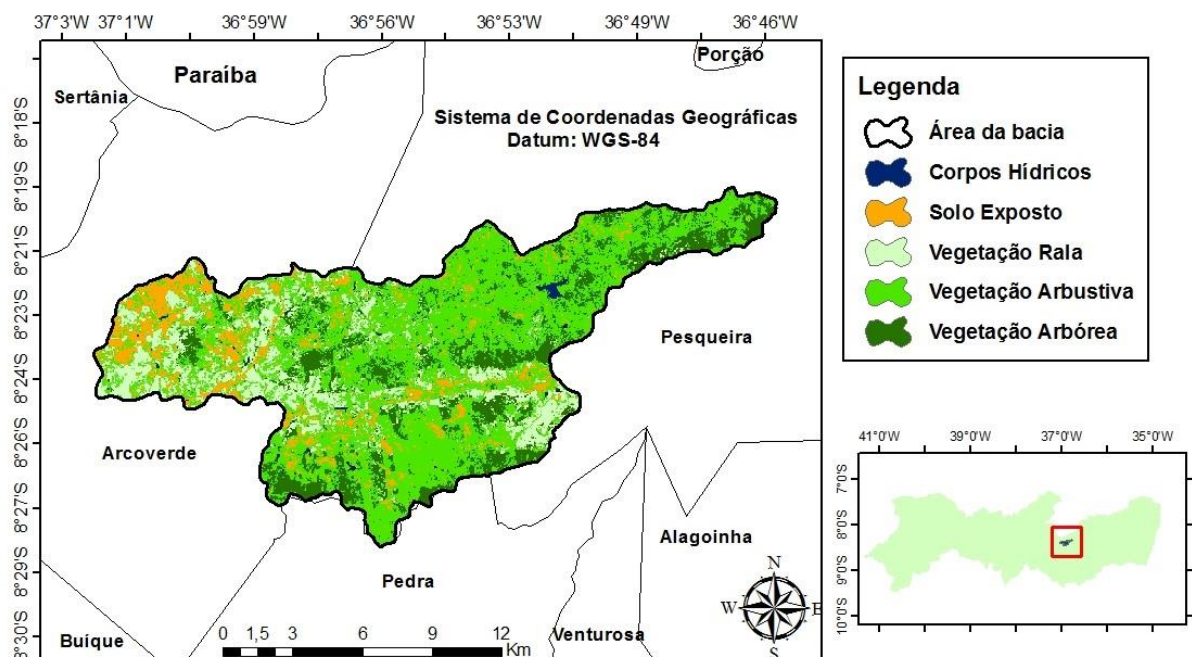


Figura 4 - Carta de uso da cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema

Tabela 8 - Área em km² das classes de uso e cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema

Classificação	Área (km²)
Corpos Hídricos	1,03
Solo Exposto	22,08
Vegetação Rala	30,42
Vegetação Arbustiva	104,04
Vegetação Arbórea	29,98
Total	187,55

4.8 Processamento das imagens de satélite

O processamento digital de imagens tem como finalidade facilitar e agilizar, por meio de algoritmos e de ferramentas computacionais, a interpretação de imagens, bem como a extração de informações que o ser humano teria restrições de obter. Saliente-se que o mesmo não agrega nenhuma nova informação à imagem original, além das que já estão presentes no produto bruto (BIELENKI JÚNIOR e BARBASSA, 2012).

As imagens em estudo foram processadas a partir do software ERDAS imagine na versão 9.1. Inicialmente foram realizados o pré-processamento das imagens como: empilhamento das bandas, reamostragem (em que reprojeteu-se as cenas estudadas para Sul, atribuindo a zona da área de estudo), e fez-se o recorte das imagens empilhadas, utilizando da ferramenta Model Maker. Após o pré-processamento, foi gerado a radiância, refletância e os parâmetros biofísicos com o algoritmo SEBAL. As cartas temáticas desses parâmetros biofísicos foram todas processadas pelo software ArcGis 10.2.2.

4.8.1 Radiância espectral

As radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat 5 TM para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e do Landsat 8 OLI, nas bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e cujos coeficientes de calibração utilizados nesse estudo foram apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Descrição das bandas do TM - Landsat 5 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – $L_{\text{mín}}$ e máxima – $L_{\text{máx}}$) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA)

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Resolução (m)	Coeficientes de Calibração ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
			$L_{\text{mín}}$	$L_{\text{máx}}$	
1 (azul)	0,45 – 0,52	30	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	30	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	30	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	30	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	30	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	120	1,237	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	30	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Chander e Markham (2003) e Allen et al. (2002).

Tabela 10 - Descrição das 9 bandas do OLI e 2 bandas do TIRS - Landsat 8 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – $L_{\text{mín}}$ e máxima – $L_{\text{máx}}$) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA)

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera* ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
		$L_{\text{mín}}$	$L_{\text{máx}}$	
1 OLI	0,43 - 0,45	-62,49131	756,73364	1627,3
2 OLI	0,45 - 0,51	-63,72469	771,66919	1812,5
3 OLI	0,53 - 0,59	-58,35032	706,58862	1932,1
4 OLI	0,64 - 0,67	-49,41915	598,43732	1579,9
5 OLI	0,85 - 0,88	-29,98809	363,13843	905,3
6 OLI	1,57 - 1,65	-7,55550	91,49276	242,6
7 OLI	2,11 - 2,29	-2,45779	29,76242	56,0
8 OLI	0,50 - 0,68	-55,66755	674,10181	-
9 OLI	1,36 - 1,38	-12,32335	149,22865	-
10 TIRS	10,60 - 11,19	0,10033	22,00180	-
11 TIRS	11.50 - 12.51	0,10033	22,00180	-

Fonte: USGS (2016b)

4.8.1.1 Radiância (Landsat 5 e Landsat 8)

Para realizar a conversão para valores de refletância tanto no sensor como atmosféricamente corrigidos, o primeiro passo foi transformar os números digitais para valores de radiância. Para tal procedimento, foi necessário para o Landsat 5 utilizar a Equação 04:

$$L_{b \text{ Landsat } 5} = L_{\text{mín } b} + \left(\frac{L_{\text{máx } b} - L_{\text{mín } b}}{255} \right) \cdot (ND_b - 1) \quad (04)$$

em que, $L_{b \text{ Landsat } 5}$ ($\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) é a radiância espectral de cada pixel em cada banda; b (subscrito) representa cada uma das bandas do Landsat 5 TM; $L_{\text{mín } b}$ e $L_{\text{máx } b}$ são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), respectivamente (Tabela 7); ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 256, estes encontrados a partir das imagens estudadas).

Para o Landsat 8 OLI, determinou-se a radiância espectral ($L_{b \text{ Landsat } 8}$) com base nos termos aditivo e multiplicativo. Foi necessário converter os valores quantizados e calibrados do nível de cinza de cada banda do sistema sensor em radiância espectral. Portanto, foram utilizados coeficientes radiométricos referentes à radiância, disponibilizados nos arquivos de metadados das imagens utilizadas na pesquisa. Para determinar a radiância espectral foi utilizada a Equação 05 (CHANDER e MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2016).

$$L_{b \text{ Landsat } 8} = \text{Add}_{\text{rad } b} + \text{Mult}_{\text{rad } b} \cdot ND_b \quad (05)$$

em que, $\text{Add}_{\text{rad } b}$ é o termo aditivo e $\text{Mult}_{\text{rad } b}$ o multiplicativo, relativos à radiância, estes foram extraídos do metadados de cada imagem do OLI e ND_b é a intensidade de cada pixel e banda (valor entre 0 e 65365), que também foram observados a partir das imagens em estudo.

4.8.2 Refletância monocromática

A refletância monocromática representa o cômputo da refletância em cada banda, definida como a razão entre o fluxo da radiação solar refletida e o fluxo da radiação solar

incidente em cada pixel considerando as bandas refletivas (de 1 a 5 e 7) do Landsat 5 TM e (de 2 a 7) do Landsat 8 OLI.

4.8.2.1 Refletância (Landsat 5 TM e Landsat 8)

A refletância do mesmo pixel da imagem considerada na etapa anterior foi determinada em função do ângulo zenital solar (θ) e o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (d_r) para cada banda dos satélites Landsat 5 TM representado pela Equação 06, segundo (CHANDER et al., 2009):

$$r_{b \text{ Land } 5} = \frac{\pi \cdot L_{b \text{ Land } 5}}{k_b \text{ Land } 5 \cdot \cos \theta \cdot d_r} \quad (06)$$

em que, $r_{b \text{ Land } 5}$ ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) é a refletância monocromática de cada pixel em cada banda (b); k_b ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$) é a constante solar associada a cada uma das bandas refletivas do Landsat 5 TM, conforme empregada e proposta por (CHANDER et al., 2009); θ é o ângulo zenital solar, obtido a partir do ângulo de elevação do sol, no metadados das imagens e o d_r foi obtido através distância Terra-Sol no dia das referidas imagens.

Para o cálculo da refletância no Landsat 8 descrita na equação 07, foi convertido os valores quantizados e calibrados do nível de cinza de cada banda do OLI para a refletância. Assim, foram utilizados os coeficientes radiométricos referentes à refletância disponibilizados em metadados das imagens (USGS 2016b).

$$r_{b \text{ Land } 8} = \frac{(\text{Add}_{\text{ref } b} + \text{Mult}_{\text{ref } b} \cdot \text{ND}_b)}{\cos \theta \cdot d_r} \quad (07)$$

em que, $r_{b \text{ Land } 8}$ ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) é a refletância monocromática de cada pixel em cada banda; $\text{Add}_{\text{ref } b}$ é o termo aditivo e $\text{Mult}_{\text{ref } b}$ o multiplicativo relativos à refletância extraídos do metadados de cada imagem e d_r será obtido, conforme a Equação 08 seguinte:

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{\text{DSA} \cdot 2\pi}{365}\right) \quad (08)$$

em que, DSA é o dia sequencial do ano e o argumento da função cos está em radianos. O valor médio anual de d_r é igual a 1,00.

O cosseno do ângulo zenital solar (θ , adimensional) é obtido a partir do ângulo de elevação do Sol (E , graus), disponibilizado nos metadados das imagens, conforme Equação 09.

$$\cos \theta = \cos \left(\frac{\pi}{2} - E \right) = \text{sen} (E) \quad (09)$$

4.8.2.2 Landsat 8 OLI (cômputos dos pesos)

Determinou-se os coeficientes de pesos para cada banda das imagens, conforme metodologia (CHANDER e MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2016). Portanto, fez-se necessário antes, estimar a constante solar ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$) associada a cada uma das bandas refletivas do OLI e, para tanto, empregou-se a seguinte Equação 10.

$$k_{b \text{ Land 8}} = \frac{\pi \cdot L_{b \text{ Land 8}}}{r_{b \text{ Land 8}} \cdot \cos \theta \cdot d_r} \quad (10)$$

em que, $k_{b \text{ Land 8}}$ ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$) é a irradiância solar espectral de cada uma das bandas refletivas do Landsat 8 OLI no Topo da Atmosfera (TOA). Em seguida, foram calculados os pesos ($p_{b \text{ Land 8}}$, adimensional) para cada banda do OLI, onde o valor do $p_{b \text{ Land 8}}$ de cada banda espectral, foram obtidos pela razão entre o $k_{b \text{ Land 8}}$ daquela banda e o somatório de todos os $k_{b \text{ Land 8}}$ do Landsat 8 OLI (STARKS et al., 1991; CHANDER e MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2005b; SILVA et al., 2016), conforme a Equação 11.

$$P_{b \text{ Land 8}} = \frac{k_{b \text{ Land 8}}}{\sum k_{b \text{ Land 8}}} \quad (11)$$

Os pesos calculados foram empregados no cômputo do albedo planetário, etapa seguinte do estudo.

4.8.3 Albedo planetário (Landsat 5 e Landsat 8)

O albedo planetário (α_{toa}) representa a quantidade de radiação refletida de cada pixel sem correção atmosférica, e consiste na combinação linear da refletância espectral em cada

uma das bandas refletivas r_b (de 1 a 5 e 7 do TM e 2 a 7 do OLI) e para o Landsat 8 OLI seus respectivos pesos p_b (de 2 a 7).

A determinação do albedo sem correção atmosférica - α_{toa} para o TM – Landsat 5 (Equação 12) de acordo com estudos dos autores Allen et al. (2002) e Silva et al. (2005b):

$$\alpha_{toa} = 0,293 \cdot r_1 + 0,274 \cdot r_2 + 0,233 \cdot r_3 + 0,157 \cdot r_4 + 0,033 \cdot r_5 + 0,011 \cdot r_7 \quad (12)$$

Os pesos da equação acima, correspondem ao valor da irradiância solar monocromática ($k_{b \text{ Land } 5}$) de cada banda (Tabela 8) pela somatória das irradiâncias de todas as bandas ($\sum k_{b \text{ Land } 5}$), ou seja: peso da banda $b = k_{b \text{ Land } 5} / \sum k_{b \text{ Land } 5}$ (SILVA et al., 2005b).

Para o Landsat 8 temos a seguinte equação 13:

$$\alpha_{toa} = p_2 \cdot r_2 + p_3 \cdot r_3 + p_4 \cdot r_4 + p_5 \cdot r_5 + p_6 \cdot r_6 + p_7 \cdot r_7 \quad (13)$$

em que, α_{toa} é o albedo planetário de cada pixel ou albedo sem correção atmosférica; p_2, p_3, p_4, p_5, p_6 e p_7 Land 8, respectivamente, são os pesos de cada uma das bandas e r_2, r_3, r_4, r_5, r_6 e r_7 Land 8, respectivamente, são as refletâncias de cada uma das bandas utilizadas.

4.8.4 Albedo da superfície

No algoritmo SEBAL o albedo da superfície é calculado considerando a transmitância, sendo τ_{sw} a transmissividade atmosférica calculada mediante a função proposta por ASCE-EWRI (2005), α o albedo em todo o domínio da radiação de onda curta, sendo necessário corrigir que segundo Bastiaanssen et al. (1998), pode ser encontrado usando a Equação 14:

$$\alpha_{sup} = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{atm}}{\tau_{sw}^2} \quad (14)$$

em que, α_{toa} é o albedo planetário de cada pixel, ou albedo sem correção atmosférica (Etapa 3); α_{atm} é a refletância da própria atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, porém, para o modelo SEBAL tem sido recomendado o valor de 0,03, com base em estudos realizados por (BASTIAANSEN, 2000; SILVA et al., 2005a; SILVA et al., 2011) e τ_{sw} é a

transmissividade atmosférica no domínio da radiação solar, para dias de céu claro, que será obtida de acordo com (ASCE-ERWI, 2005), conforme a Equação (15) seguinte:

$$\tau_{sw} = 0,35 + 0,627 \cdot \exp \left[\frac{-0,00146 \cdot P_o}{K_t \cdot \cos \theta} - 0,075 \left(\frac{W}{\cos \theta} \right)^{0,4} \right] \quad (15)$$

em que, P_o é a pressão atmosférica instantânea, kPa (será medida na estação meteorológica automática da área em estudo); K_t é o coeficiente de turbidez do ar ($K_t = 1,0$ para ar limpo e $K_t = 0,5$ para ar extremamente turbido ou poluído (ALLEN et al., 2002), sendo que para este trabalho foi utilizado $K_t = 1,0$); W (mm) é a água precipitável, obtida em função da umidade relativa do ar instantânea, % (também foi medida na estação meteorológica automática) e P_o , segundo Equação 16 (GARRISON e ADLER, 1990), a seguir:

$$W = 0,14 \cdot e_a \cdot P_o + 2,1 \quad (16)$$

em que, e_a (kPa) é a pressão real de vapor d'água atmosférico, foi calculada mediante dados meteorológicos, da estação localizada na área em estudo, Equação 17 seguinte:

$$e_a = \frac{UR \cdot e_s}{100} \quad (17)$$

em que, e_s (kPa) é a pressão de saturação do vapor d'água, será obtida por meio de dados da estação automática, Equação 18, a seguir:

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp \left(\frac{17,27 \cdot T_{ar}}{237,3 + T_{ar}} \right) \quad (18)$$

em que, t_a é a temperatura do ar, em (°C).

Caso ocorra a falta de dados de pressão atmosférica (P_o , kPa), poderá obter a mesma de acordo com (ASCE-EWRI, 2005), conforme Equação 19, a seguir:

$$P_o = 101,3 \left(\frac{T_{ar} - 0,0065 \cdot z}{T_{ar}} \right)^{5,26} \quad (19)$$

em que, T_a é a temperatura do ar, em Kelvin e z é a altitude, em metros.

4.8.5 Índices de vegetação

Foram estimados os índices de vegetação **NDVI**, **SAVI** e **IAF** das imagens estudadas.

4.8.5.1 NDVI

O NDVI foi proposto por Tucker (1979), de acordo com Tasumi (2003), e é um indicativo das condições, da densidade e porte da vegetação, sendo obtido pela razão entre a diferença das bandas refletidas do infravermelho próximo e do vermelho, e a soma das mesmas bandas, conforme Equação 20 (ALLEN et al., 2002):

$$NDVI = \frac{r_{b\ IV} - r_{b\ V}}{r_{b\ IV} + r_{b\ V}} \quad (20)$$

em que, $r_{b\ IV}$ e $r_{b\ V}$ correspondem, respectivamente, às bandas refletivas 3 e 4 do Landsat 5 TM e 4 e 5 do Landsat 8 OLI.

4.8.5.2 SAVI

O índice de vegetação ajustado às condições do solo (**SAVI**), é um índice que busca amenizar os efeitos antecedentes do solo, conforme Equação 21 (HUETE, 1988).

$$SAVI = \frac{(1+L) \cdot (r_{b\ IV} - r_{b\ V})}{(L + r_{b\ IV} + r_{b\ V})} \quad (21)$$

em que: L é a constante de ajuste ao solo, que depende do tipo de solo. Para esta pesquisa utilizou-se 0,1 devido à estudos mais recentes, como proposto por (ALLEN et al., 2007 e SILVA et al., 2011).

4.8.5.3 IAF

Através da obtenção do SAVI foi possível obter o Índice de Área Foliar (**IAF**), definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. É um indicador da biomassa de cada pixel da imagem. Foi calculado de acordo com (ALLEN et al., 2007), descrita pela Equação 22, a seguir:

$$\text{IAF} = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - \text{SAVI}}{0,59}\right)}{0,91} \quad (22)$$

4.8.6 Emissividades da superfície

Foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro para a obtenção da temperatura da superfície. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ϵ_{NB} (10,4 – 12,5 μm). Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga ϵ_0 (5 – 100 μm).

Segundo Allen et al. (2002), as emissividades de cada pixel (ϵ_{NB}) e a (ϵ_0), podem ser obtidas e validadas, para $\text{NDVI} > 0$ e $\text{IAF} < 3$, segundo as Equações 23 e 24, a seguir:

$$\epsilon_{\text{NB}} = 0,97 + 0,0033 \cdot \text{IAF} \quad (23)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \cdot \text{IAF} \quad (24)$$

Foram seguidas as seguintes condições, para pixels com valores de $\text{IAF} \geq 3$, considera-se $\epsilon_{\text{NB}} = \epsilon_0 = 0,98$. Para $\text{NDVI} < 0$, $\epsilon_{\text{NB}} = 0,99$ e $\epsilon_0 = 0,985$ (ALLEN et al., 2002).

4.8.7 Temperatura da superfície

Para a obtenção da temperatura da superfície (T_s) foi obtida utilizando a radiância espectral da banda termal (L_{b6}) do satélite Landsat 5 de sensor TM e a termal (L_{b10}) do Landsat 8 de sensor TIRS e a emissividade (ϵ_{NB}) obtida na etapa anterior. Desta forma, obteve-se a temperatura da superfície (K) pela seguinte Equação (25):

$$T_s = \frac{K_2}{\left(\frac{\epsilon_{NB} \cdot K_1}{L_b} + 1\right)} \quad (25)$$

em que, K_1 e K_2 ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) são constantes de calibração das bandas termais do Landsat 5 TM (banda termal 6, L_{b6} , $K_1 = 607,76$ e $K_2 = 1260,56 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) e do Landsat 8 TIRS (banda termal 10, L_{b10} , $K_1 = 774,89$ e $K_2 = 1321,08 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), extraídos dos metadados das imagens processadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterizando o Índice de Anomalia de Chuva da Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema

A Figura 5 ilustra os valores do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), com base na série histórica de 1962 a 2015, que permitiu identificar padrões no comportamento da chuva na área de estudo, bem como avaliar o grau de influência do El Niño e La Niña nos anos de eventos extremos. Por meio do IAC da bacia hidrográfica do Alto Ipanema foi possível observar uma grande variabilidade entre os anos secos e chuvosos. Dos 54 anos pesquisados, 25 anos chuvosos (IAC positivos), variando entre as classes de chuvoso (0 a 2), muito chuvoso (2 a 4) ou extremamente chuvoso (acima de 4) e 29 anos foram secos (IAC negativos), cuja classificação revelou anos secos (0 a -2), muito secos (-2 a -4) ou extremamente seco (abaixo de 4).

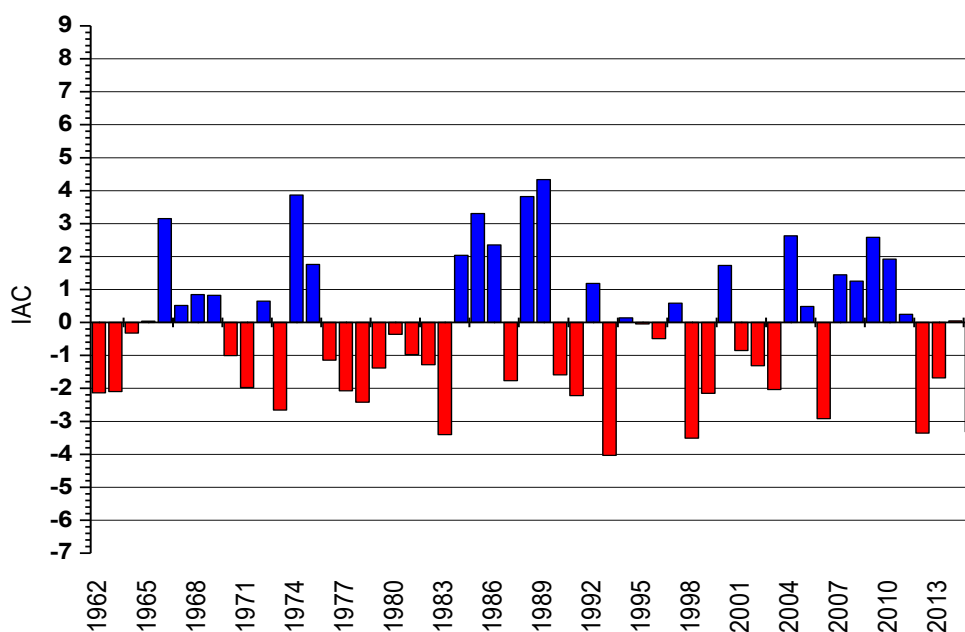


Figura 5 - Índice de anomalia de chuva da bacia do Alto Ipanema de 1962–2015

O IAC da bacia hidrográfica apresentou alternâncias entre valores positivos e negativos até o ano de 1975, sendo este último um valor positivo. Esse período foi marcado por alternância de El Niño (1963; 1965 - 1966 e 1968 - 1970; 1972, de categorias fracas, moderadas e forte, respectivamente) e La Niña (1964 - 1965 e 1970 - 1971; 1973, com intensidades fracas e fortes, respectivamente).

A partir de 1976 até 1983, teve uma sequência de anos secos o que levou a quase uma década perdida. Também foi possível observar que durante esses oito anos de seca foi um período que só existiu a ocorrência de El Niño, (1976 -1977; 1977-1978; 1979 – 1980; 1982 – 1983 com intensidades fracas e fortes, respectivamente o que demonstra a sua influência para o período seco na bacia hidrográfica.

Sanches et al. (2014) encontraram uma sequência de valores negativos para o IAC durante 1975 a 1981, quando analisou a variabilidade das precipitações anuais, no período de 1928 a 2009, nos postos pluviométricos no município de Alegrete (RS).

Em seguida, houve um intervalo chuvoso com interrupção de um ano seco (1987). E nesse intervalo foi encontrado o único ano extremamente úmido na série, com um valor de 4,34 no ano de 1989, onde nesse mesmo ano ocorreu a La Niña de intensidade forte.

Já sob a perspectiva dos considerados anos secos, apenas o ano de 1993 dos anos da série analisada mostrou-se como extremamente seco com um valor de -4,033, o El Niño foi de intensidade forte. No total, o El Niño influenciou em 16 anos na série (1963, 1970, 1977, 1978, 1979, 1980, 1982, 1987, 1990, 1991, 1993, 2002, 2003, 2006, 2013 e 2015). A La Niña influenciou em 9 anos da série (1974, 1975, 1984, 1985, 1988, 1989, 2000, 2008 e 2011).

Percebe-se da figura 6 que o ângulo de inclinação da reta de tendência linear da precipitação média anual apresenta um decréscimo inexpressível na bacia hidrográfica, onde a precipitação média anual foi de 661,7 mm da bacia.

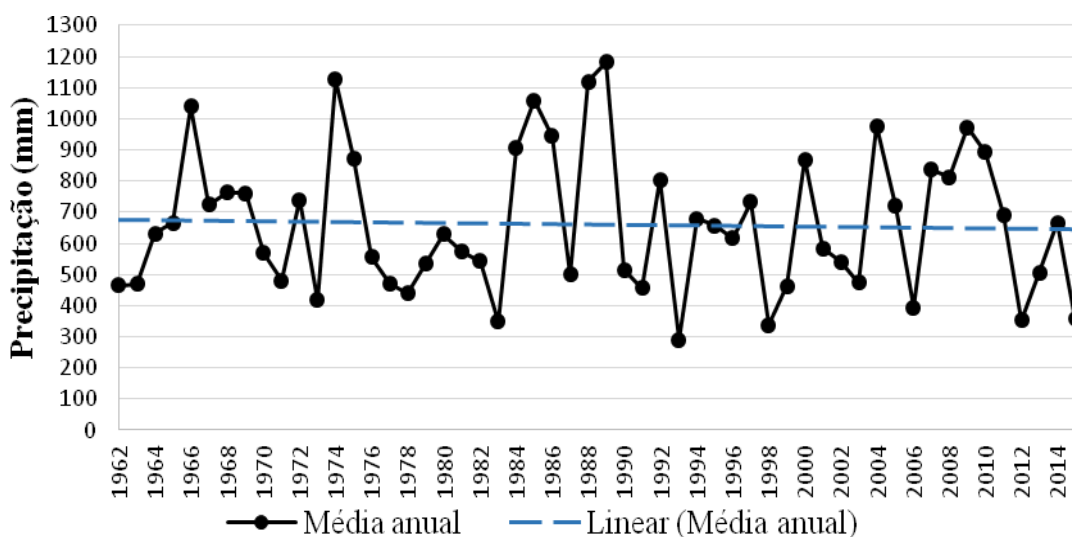


Figura 6 - Precipitação média anual da bacia do Alto Ipanema 1962 –2015

A Figura 7 ilustra a média mensal de chuvas na região é de 55,12 mm e que a quadra chuvosa começa em fevereiro e estendesse até julho (colunas pretas), com valores máximos de precipitação de 98,55 mm em média para o mês de março e o intervalo mais seco de agosto a janeiro, sendo o mês de outubro o mais seco do ano, com uma média de 14 mm de precipitação.

Segundo Araújo et al. (2009), em estudo sobre a climatologia temporal da precipitação da bacia do rio Paraíba, verificaram que os meses mais úmidos e que houve maior precipitação foram os de fevereiro, março, abril, maio, junho e julho, com ênfase para o mês de março, que mostrou valor acima de 100 mm em média para toda região de estudo.

Santos et al. (2015) estudando a variabilidade climática da Bacia do Rio Mamanguape-PB, observaram que o período seco ocorre entre os meses de setembro e fevereiro, tendo outubro como o mês mais seco, com média de 11,7 mm.

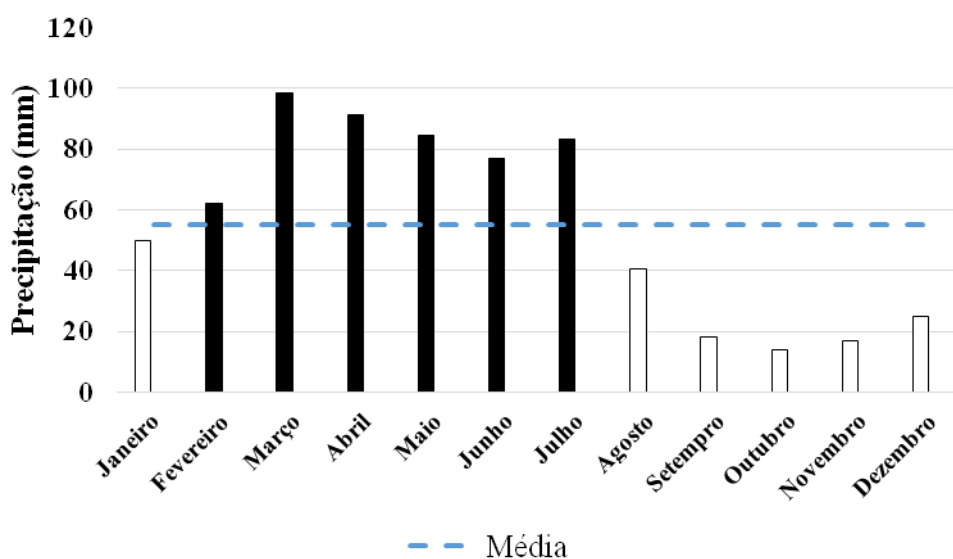


Figura 7 - Pluviograma dos totais mensais da bacia do Alto Ipanema de 1962 –2015

Buscou-se averiguar a variabilidade climatológica da bacia hidrográfica por meio dos anos com maior precipitação pluviométrica para a série avaliada. As Figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17 ilustram os gráficos da precipitação mensal dos anos de 1966, 1974, 1984, 1985, 1986, 1988, 1989, 2004, 2009 e 2010, respectivamente. Para o ano de 1966 verifica-se que o mês de fevereiro foi o mais chuvoso com 265 mm, enquanto que o mês de outubro foi o único mês que não ocorreu precipitação na bacia. Também é possível identificar entre agosto e dezembro os níveis de precipitação foram mais baixos.

A partir de janeiro os valores de precipitação aumentaram e depois de abril esses valores diminuíram. O ano de 1974, 1984 e 1985 foram marcados por o mês de abril sendo o mais chuvoso com valores de 202,7, 317,8 e 197,1 mm, respectivamente. No mês de outubro não ocorreu precipitação em nenhum dos anos, mas vale destacar que o mês de fevereiro de 1984 e setembro de 1985 a precipitação foi zero. Já para o ano de 1986 o valor da maior precipitação foi de 220,6 mm e o mês de dezembro não teve precipitação, sendo assim o mês mais seco. Em 1988 o mês de janeiro foi considerado seco com zero de precipitação e o mês de julho com 344,9 mm, destacando que esse foi o mês com maior valor de precipitação em todos os anos chuvosos analisados.

O ano de 1989 e 2009 foram os anos nos quais não ocorreu nenhum mês sem precipitação tendo o mês de março como o mais chuvoso com 223,1 e 285 mm, respectivamente. Em 2004 e 2010 o mês de novembro não ocorreu precipitação e o mês de janeiro choveu 343,8 mm para 2004 e o mês de junho de 213,4mm para 2010. Esses valores comprovam que no semiárido existe uma grande variabilidade tanto espacial quanto temporal da precipitação. Ainda vale ressaltar que entre agosto e dezembro foi onde ocorreu os menores valores de precipitação e que a chuva começa a chegar em janeiro e vai até julho nos anos chuvosos.

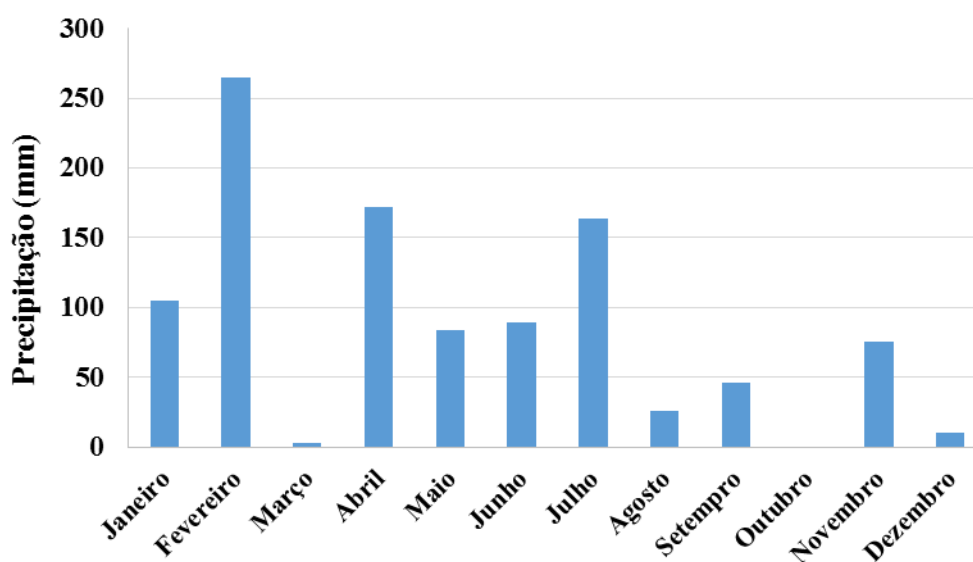


Figura 8 - Precipitação dos meses do ano de 1966 na bacia do Alto Ipanema

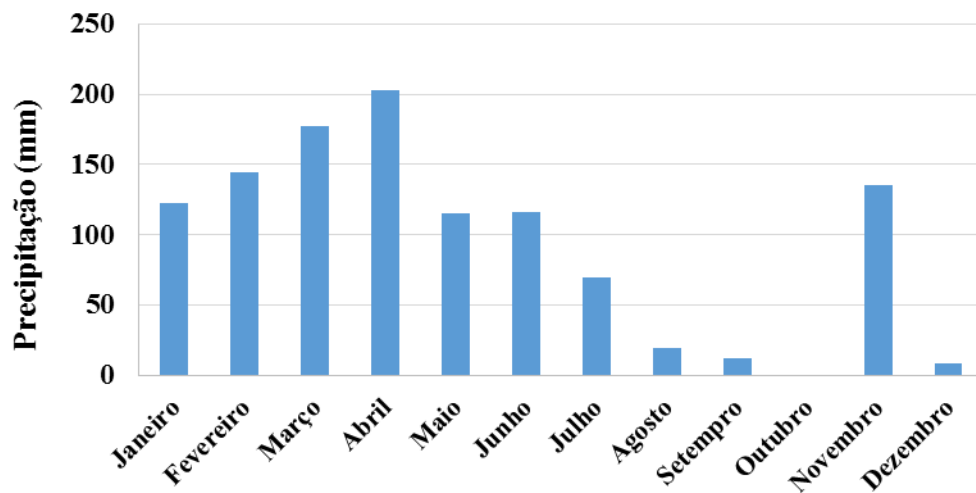


Figura 9 - Precipitação dos meses do ano de 1974 na bacia do Alto Ipanema

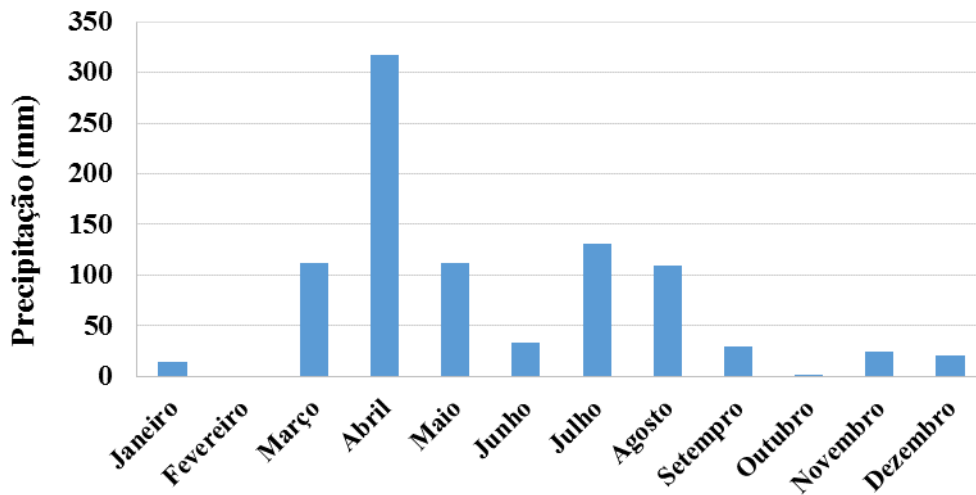


Figura 10 - Precipitação dos meses do ano de 1984 na bacia do Alto Ipanema

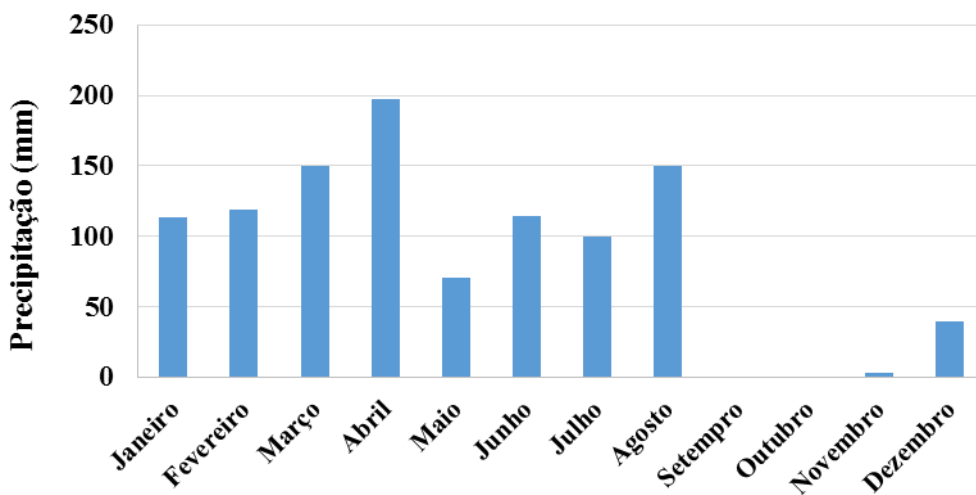


Figura 11 - Precipitação dos meses do ano de 1985 na bacia do Alto Ipanema

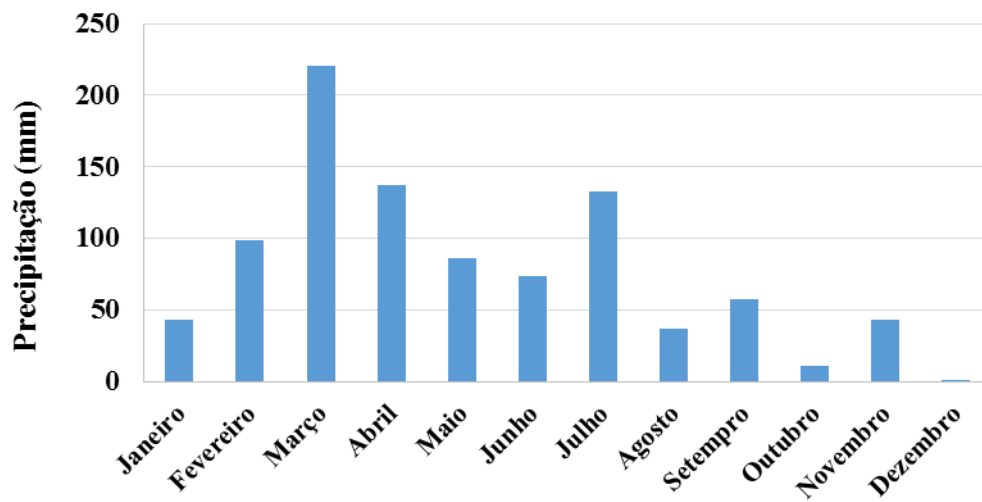


Figura 12 - Precipitação dos meses do ano de 1986 na bacia do Alto Ipanema

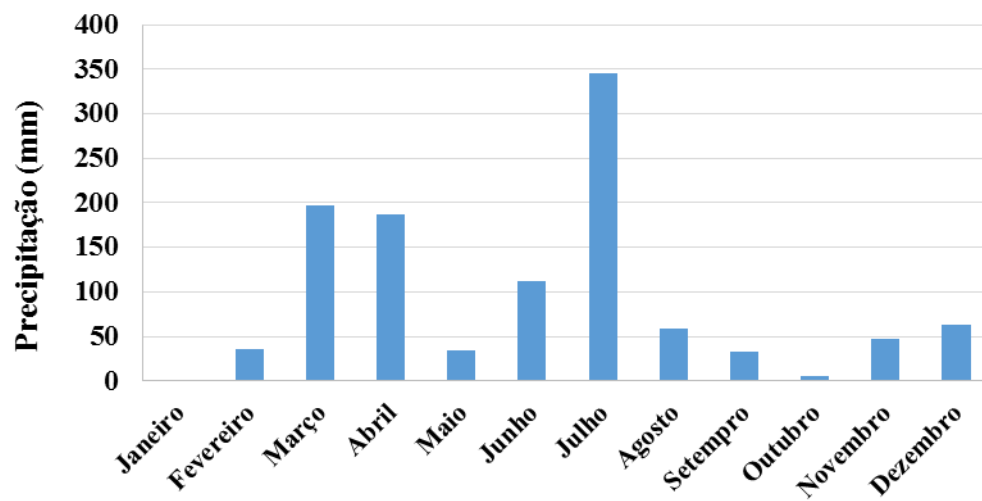


Figura 13 - Precipitação dos meses do ano de 1988 na bacia do Alto Ipanema

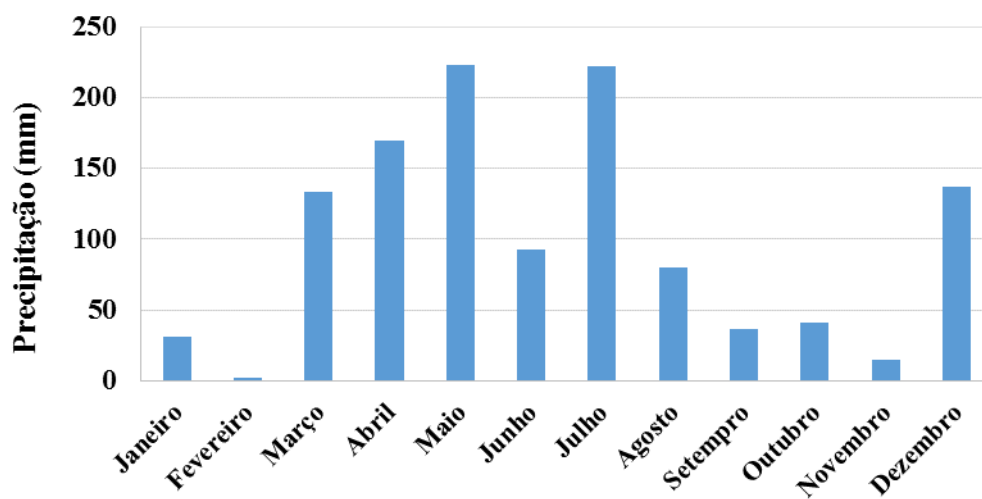


Figura 14 - Precipitação dos meses do ano de 1989 na bacia do Alto Ipanema

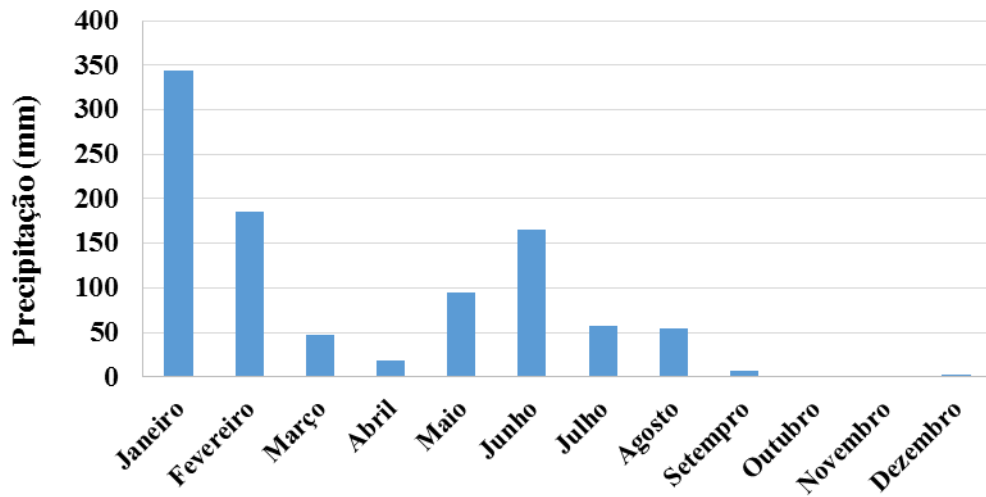


Figura 15 - Precipitação dos meses do ano de 2004 na bacia do Alto Ipanema

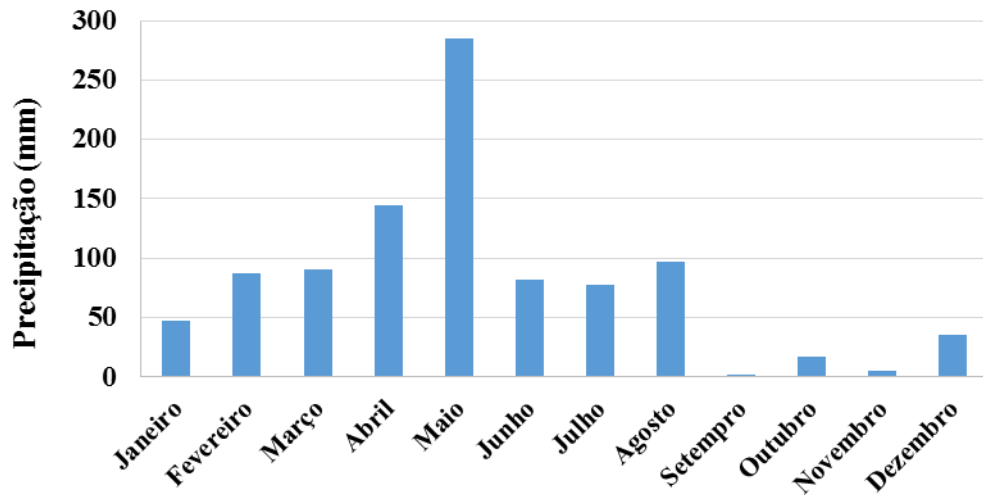


Figura 16 - Precipitação dos meses do ano de 2009 na bacia do Alto Ipanema

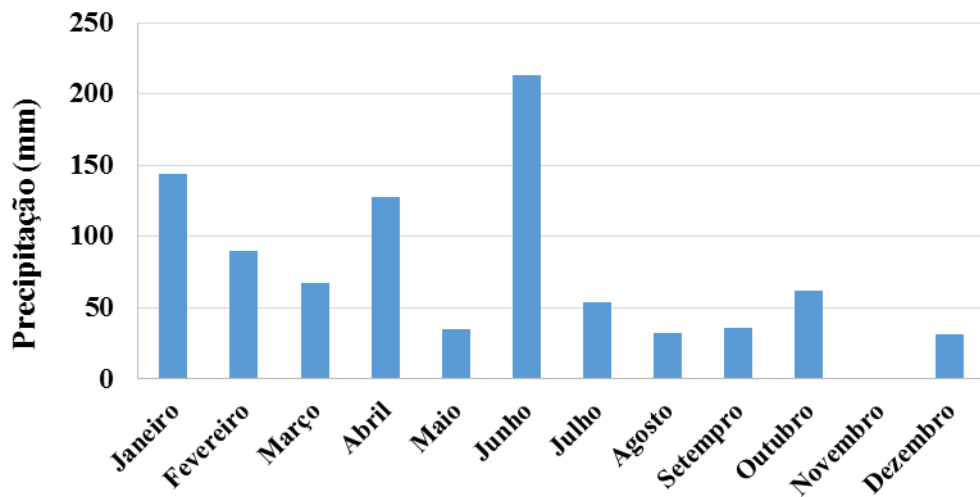


Figura 17 - Precipitação dos meses do ano de 2010 na bacia do Alto Ipanema

5.2 Caracterizando o Índice de Aridez da Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema

O gráfico 18 ilustra o índice de Aridez para a Bacia do Alto Ipanema. A bacia apresenta um longo período de estiagem, consequentemente o déficit hídrico relacionados com os baixos valores pluviométricos assim como as elevadas temperaturas. Tais variáveis exercem grande influência sobre o índice de aridez. Segundo Ribeiro et al. (2016b) a precipitação pluviométrica está rigorosamente ligada com o IA, pois este equivale à associação entre os dados de precipitação e as potenciais perdas de água para a atmosfera (evapotranspiração potencial).

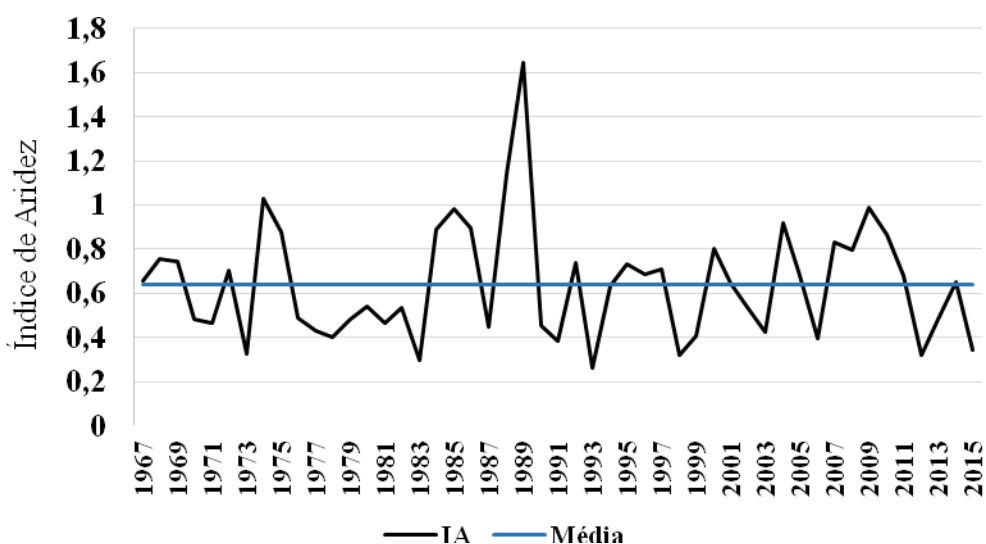


Figura 18 - Índice de aridez da bacia do Alto Ipanema

O maior valor para o índice foi no ano de 1989 com 1,64 e o valor médio do IA para a bacia foi de 0,64, caracterizando-se conforme Matallo Júnior (2003), que a bacia tem um risco de desertificação do tipo moderado. Santos et al. (2016) observaram que o índice de aridez para o município do Senhor do Bonfim foi de 0,65. Silva et al. (2011) identificando as áreas mais susceptíveis a processos de desertificação na região correspondente ao médio trecho da Bacia do Ipojuca – PE, observaram que o município de Caruaru teve o índice de aridez de 0,643 e o município de Belo Jardim (que substituiu o município de Bezerros na análise dos dados) obteve o índice de aridez de 0,694.

5.3 Condições hidrometeorológicas da bacia hidrográfica do Alto Ipanema

A Tabela 11 apresenta as chuvas antecedentes acumuladas em 15 dias, 30 dias, 45 dias e 60 dias as datas das imagens. Esses valores de precipitação foram obtidos para ajudar no entendimento dos parâmetros biofísicos (albedo, índices de vegetação e temperatura da superfície). Analisando os valores, em grande parte dos anos, choveu pouco antes da passagem do satélite, com exceção do ano de 1989 que choveu 281,3 mm sessenta dias antes da passagem do sensor. O ano de 1985 foi onde ocorreu a menor precipitação entre os anos com 3,9 mm.

Tabela 11 - Precipitação antecedente acumulada (mm) às datas das imagens

Data da Imagem	Precipitação Antecedente Acumulada (mm)			
	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias
27/11/1985	0,6	3,4	3,4	3,9
03/09/1989	59,6	79,6	113,3	281,3
14/12/1991	0	24,4	24,4	24,4
06/10/1995	0	3,2	13,7	19,7
17/10/1999	72,6	76,6	76,7	82,2
22/10/2001	77,6	77,6	77,6	83
12/10/2003	3	19,4	64,7	99,5
02/11/2005	0	0	1	5,6
29/09/2010	13,1	38,5	49,5	69,2
10/12/2013	0	3	10,6	21
14/11/2015	0	0	0	15
12/08/2016	6,2	8	11,3	28,9

5.4 Parâmetros biofísicos da bacia hidrográfica do Alto Ipanema

5.4.1 Albedo da superfície

Na Figura 19 apresenta a carta temática do albedo da superfície - α_{sup} para a região de estudo, nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D),

17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L).

Os valores de albedo das áreas com os pixels em tons azul escuro e na cor mais clara encontraram-se os menores valores, que correspondem aos corpos hídricos e vegetação respectivamente. Resultado semelhante foi encontrado por Giongo e Vettorazi (2014), onde obtiveram os menores valores de albedo entre 6 e 11% em superfícies de água ao estimar o albedo da superfície na Bacia do Rio Corumbataí, localizada no Estado de São Paulo. Silva et al. (2016) através de imagens Landsat 8 OLI, encontraram albedo nos corpos hídricos entre 3 e 8%. Bezerra et al. (2014) ao estudarem os parâmetros biofísicos no Parque Nacional da Furna Feia (PNFF) e suas adjacências, região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, revelaram, de forma geral, as áreas com cobertura vegetal de Caatinga apresentando albedo no intervalo de 0,10 a 0,15.

Os pixels em tons mais próximos do vermelho e avermelhado corresponderam aos valores maiores de albedo, esses na ordem de 0,20 a 0,50, observados nas áreas com pouca vegetação ou solo exposto.

Verificou-se que os valores de albedo da superfície na parte leste e sul da bacia foram inferiores aos da parte oeste e norte para as datas em todas as imagens, exceto para a data de 03/09/1989 onde não houve muita variação espacial, essa variação espaço-temporal do albedo na bacia ocorre devido à predominância de alguns tipos de cobertura da superfície e por ter uma maior quantidade de solo exposto no norte e oeste da bacia, enquanto que na parte sul e leste tem-se uma vegetação densa presente.

Segundo Cunha et al. (2013) as mudanças no albedo ocorrem devido às diferenças nas propriedades ópticas da folha entre a vegetação natural da caatinga. Os valores são maiores durante a estação seca, devido à diminuição de folhas verdes em função do baixo índice pluviométrico e baixa umidade do solo. De acordo com Silva et al. (2011) o período seco contribui significativamente para elevar os valores de albedo, assim como as áreas de baixa disponibilidade hídrica.

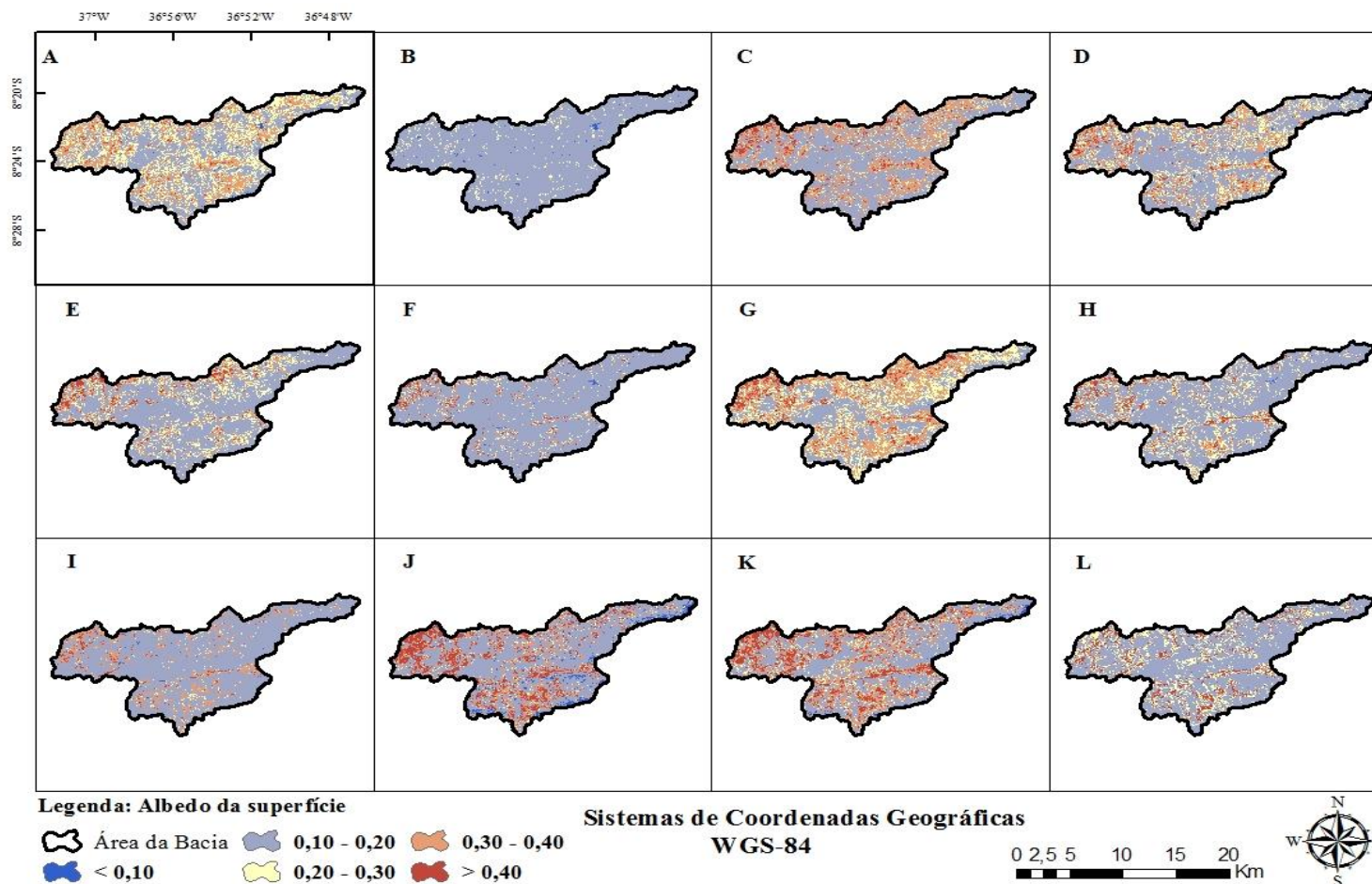


Figura 19 - Carta temática da distribuição espacial e temporal do albedo da superfície – α_{sup} nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema

Na Tabela 12 estão representados os valores dos parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas do albedo corrigido da superfície. São valores coerentes com a literatura que se utilizou de metodologia semelhante a este estudo.

Tabela 12 - Valores dos parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas do albedo corrigido da superfície

Datas das Imagens	Satélite LANDSAT	Albedo corrigido da superfície - α_{sup}						
		Máx.	Mín.	Médio	Mediano	Moda	DP	CV
27/11/1985	TM	0,48	0,01	0,135	0,124	0,106	0,043	0,31
03/09/1989	TM	0,54	0,03	0,114	0,108	0,103	0,029	0,25
14/12/1991	TM	0,58	0,05	0,138	0,125	0,090	0,059	0,42
06/10/1995	TM	0,60	0,03	0,133	0,124	0,102	0,046	0,34
17/10/1999	TM	0,86	0,01	0,159	0,146	0,111	0,057	0,35
22/10/2001	TM	0,85	0,02	0,132	0,120	0,106	0,037	0,28
12/10/2003	TM	0,57	0,01	0,148	0,133	0,090	0,060	0,40
02/11/2005	TM	0,53	0,01	0,139	0,127	0,113	0,045	0,32
29/09/2010	TM	0,30	0,01	0,089	0,081	0,076	0,019	0,21
10/12/2013	OLI/TIRS	0,86	0,02	0,164	0,150	0,130	0,046	0,28
14/11/2015	OLI/TIRS	0,76	0,03	0,195	0,181	0,158	0,053	0,27
12/08/2016	OLI/TIRS	0,58	0,06	0,173	0,162	0,148	0,039	0,22

Observa-se de modo geral, que o albedo mínimo e máximo variou de 0,01 a 0,86 para todos os anos. Os valores médios de α_{sup} obtidos mostram um crescimento, no período estudado, onde para os anos de 1985 até 2010 os valores variaram entre o mínimo de 0,089 e 0,159 para os dias 29/09/2010 e 17/10/1999. Porém a partir dos anos de 10/12/2013, 14/11/2015 e 12/08/2016, os valores aumentaram para 0,164, 0,195, 0,173, respectivamente. O referente aumento médio ao longo dos anos estudados pode ser explicado pelo aumento do uso e ocupação do solo. Moreira et al. (2010) obtiveram valores de albedo para a vegetação nativa variando de 14 a 18%. Arraes et al. (2012) encontraram para os valores de albedo na vegetação nativa uma variação de 11 a 19,5%.

Os resultados medianos foram para o mínimo de 0,081 no dia 29/09/2010 e para o máximo de 0,181 para o dia. Já os valores da moda variaram entre o mínimo de 0,076 para o máximo de 0,158 para os mesmos anos. Os parâmetros estatísticos do DP e CV mostram valores, variando de 0,029 a 0,059 e 0,21 a 0,42, respectivamente.

5.4.2 Índices de vegetação: NDVI, SAVI e IAF

5.4.2.1 NDVI

A Figura 20 a seguir apresenta-se a carta temática do índice de vegetação – NDVI na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema, para as seguintes datas 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L).

Para o NDVI, os intervalos das classes adotados foram: -1 - 0 (Corpos Hídricos); 0 – 0,4 (Solo Exposto); 0,4 – 0,5 (Vegetação Rala); 0,5 – 0,6 (Vegetação Arbustiva); 0,6 - 1 (Vegetação Arbórea).

Santos e Galvínio (2013) verificaram em áreas com vegetação esparsa, com predominância de caatinga arbustiva, valores de NDVI entre 0,51 a 0,70 e em áreas com vegetação densa, em que há predomínio da caatinga arbórea, valores que variam de 0,71 a 0,80. Albuquerque et al. (2014) em suas análises sobre o comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas em Sousa–PB, constataram que o NDVI apresentou valores variando entre 0,01 a 0,29 em áreas de solo exposto e vegetação esparsa; enquanto os intervalos entre 0,3 e 0,5 representam vegetação menos densa; e os maiores que 0,5 indicam que a vegetação apresenta um bom estado fenológico, sendo a vegetação densa representada pelo NDVI superior a 0,7. Gusmão et al. (2013) encontraram valores de NDVI nas áreas antropizadas, que variaram de 0,10 a 0,30.

A variação espacial-temporal do NDVI da bacia hidrográfica entre as imagens estudadas indica que a vegetação é bastante resiliente porque quando ocorreram eventos chuvosos que possibilitaram condições favoráveis para a caatinga a vegetação apresentou alto potencial de recuperação e desenvolvimento de biomassa.

Entre os anos estudados detectou-se que áreas de solo exposto e vegetação aberta predominam na bacia hidrográfica nas todas as cenas, com exceção do ano de 1989 que foi o ano bastante chuvoso na bacia e conseqüentemente apresentou uma vegetação mais densa e fechada.

Na bacia ficou evidente que na porção noroeste identificaram-se as áreas com bastante solo exposto e que estão muito propícias ao processo de degradação ambiental. Podendo

destacar em que perda de cobertura vegetal analisadas durante quase todos os anos é devido à escassez das chuvas, enquanto que o alto potencial de recuperação da vegetação nas cartas das datas 03/09/1989, 22/10/2001 e 29/09/2010 estavam relacionados com a ocorrência de eventos chuvosos. Para o ano de 02/11/2005 ocorreu um maior percentual de solo exposto na bacia, e analisando os valores da tabela 5 foi possível perceber que foi um ano seco e que 60 dias antes da passagem do sensor, choveu apenas 6,6 mm.

Portanto, Arraes et al. (2012) ressaltam que esse significativo aumento do NDVI, está relacionado com o aumento da precipitação, onde o NDVI reage de maneira semelhante e a presença expressiva da vegetação (dossel foliar), em virtude da rápida resposta da Caatinga mediante as precipitações antecedentes, essas pelas quais, influenciam no balanço hídrico da região, no aporte de umidade do solo, passa diretamente a influenciar o NDVI.

Firmino et al. (2009) relacionaram o Índice de Vegetação NDVI com a precipitação em São José do Rio do Peixe, na Paraíba. A análise foi realizada com as imagens Landsat 5, sensor TM, para o período de 15 de agosto de 1997 e 28 de setembro de 2007 e dados de precipitação para a mesma época e os resultados mostraram uma diminuição do NDVI para a área estudo em virtude da diminuição da pluviosidade, gerando uma resposta negativa da vegetação.

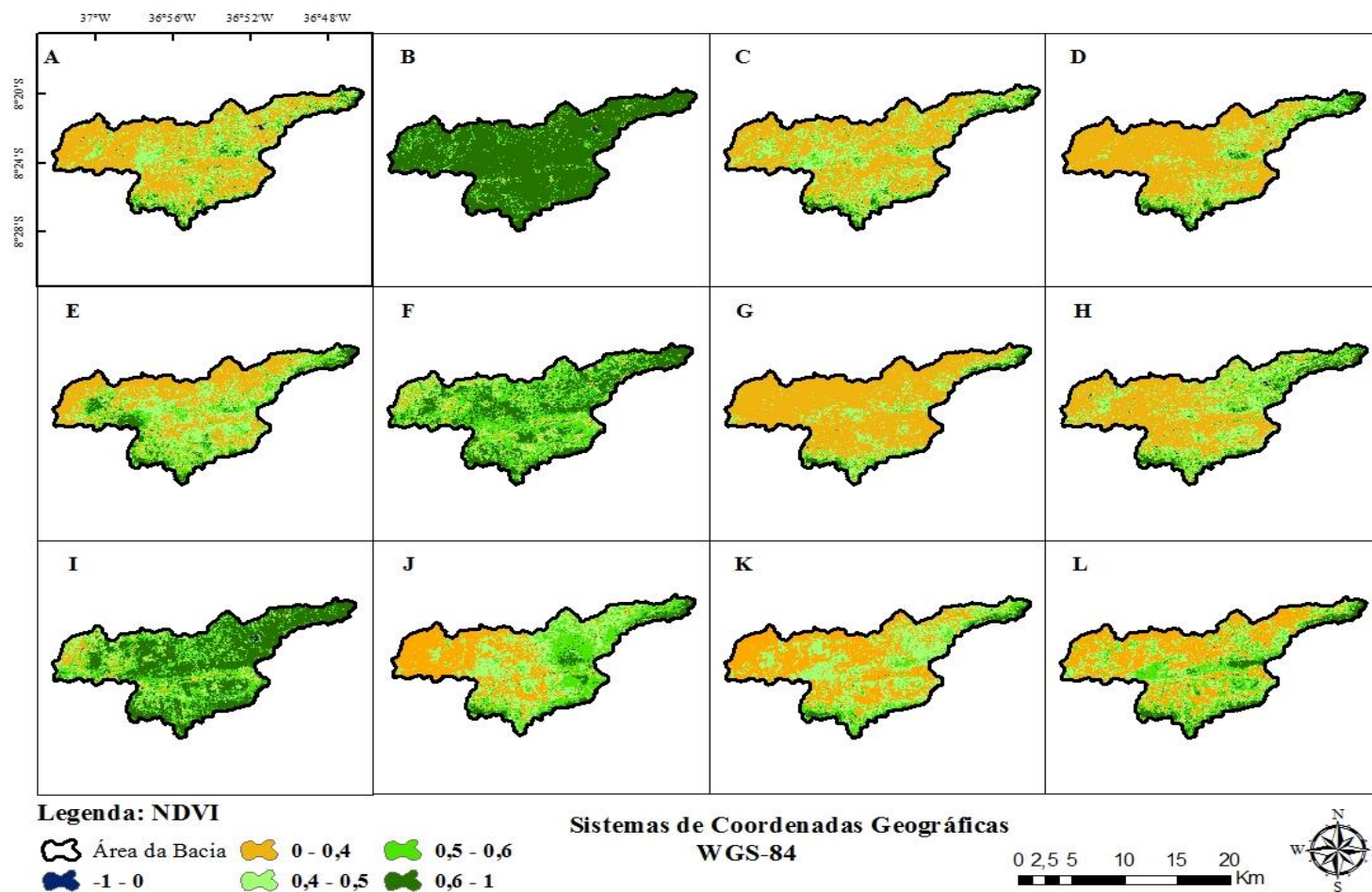


Figura 20 - Carta temática da distribuição espacial e temporal do NDVI nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema

Na Tabela 13 estão representados os valores dos parâmetros estatísticos, obtidos na análise estatística das cartas do índice de vegetação NDVI. Os respectivos valores máximos e mínimos variaram de 0,929 a -1 que foi encontrado na data 03/09/1989. Bezerra et al. (2014) observaram valores mínimos e máximos de NDVI na ordem de 0,02 a 0,8.

Os valores médios e desvio padrão do NDVI apresentou uma grande variação entre os valores médios das cenas, destacando 14/11/2015 com o menor valor (0,42) e 03/09/1989 com o maior valor (0,737) entre os períodos analisados. A tabela ainda revela que os valores do desvio padrão foram próximos em todas as cenas, sobressaindo 29/09/2010 com o maior desvio (0,132), os valores de CV também foram bastante semelhantes, destacando 12/10/2003 com o maior (0,33) e 03/09/1989 como o menor valor (0,14). Ribeiro et al. (2016a), em estudo diante da bacia hidrográfica do rio Pajeú, encontraram entre os valores médios para o NDVI o menor valor de 0,42 e o maior valor 0,63 e um desvio padrão de 0,36 como maior valor. Andrade e Corrêa (2014) comparando o NDVI no município de Santarém, no estado do Pará, encontraram um valor médio de 0,57 para o ano de 1999 e para 2010 foi de 0,42.

Tabela 13 - Valores dos parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas do índice de vegetação NDVI

Datas das Imagens	Satélite LANDSAT	Índice de vegetação – NDVI						
		Máx.	Mín.	Médio	Mediano	Moda	DP	CV
27/11/1985	TM	0,86	-0,61	0,395	0,372	0,349	0,105	0,26
03/09/1989	TM	0,929	-1	0,737	0,756	0,816	0,104	0,14
14/12/1991	TM	0,924	-1	0,418	0,397	0,383	0,120	0,28
06/10/1995	TM	0,84	-0,44	0,386	0,353	0,323	0,118	0,30
17/10/1999	TM	0,86	-0,37	0,421	0,407	0,412	0,129	0,30
22/10/2001	TM	0,86	-0,42	0,558	0,563	0,588	0,115	0,21
12/10/2003	TM	0,85	-0,50	0,353	0,331	0,309	0,118	0,33
02/11/2005	TM	0,84	-0,47	0,420	0,391	0,365	0,122	0,29
29/09/2010	TM	0,86	-0,62	0,592	0,600	0,655	0,132	0,22
10/12/2013	OLI/TIRS	0,84	-0,61	0,358	0,332	0,298	0,099	0,27
14/11/2015	OLI/TIRS	0,78	-0,58	0,325	0,305	0,305	0,088	0,27
12/08/2016	OLI/TIRS	0,79	-0,30	0,425	0,402	0,372	0,115	0,27

5.4.2.2 SAVI

A Figura 21 a seguir apresenta-se a carta temática do índice de vegetação – SAVI na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema, para as seguintes datas 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L). Para o SAVI foi empregado os mesmos intervalos do NDVI que foram: -1 - 0 (Corpos Hídricos); 0 – 0,4 (Solo Exposto); 0,4 – 0,5 (Vegetação Rala); 0,5 – 0,6 (Vegetação Arbustiva); 0,6 - 1 (Vegetação Arbórea).

O SAVI é um índice adaptado do NDVI ajustado para amenizar os efeitos do solo (inserção da constante L), o SAVI exibiu resultados bem similares aos do NDVI. Essas semelhanças se derivam da identificação de áreas de solo exposto e da vegetação nas áreas. Para Almeida (2012) com os valores obtidos a partir do SAVI, é possível verificar de forma mais confiável o nível de degradação da cobertura vegetal em áreas semiáridas tendo em vista a contribuição que o fator de ajuste de solo proporciona.

Segundo Braz et al. (2015), em estudo sobre a dinâmica da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho no município de Selvíria – MS, encontraram semelhanças em seus resultados para o NDVI e o SAVI, sendo o SAVI apresentando resultados mais confiáveis, na aplicação realizada neste estudo, quanto à representação da vegetação. Miranda e Nascimento (2013) destacam que o SAVI quando comparado ao NDVI, separa áreas de solo de áreas de vegetação e pondera pesos diferentes para cada uma dessas classes, tornando mais evidente e menos expressivo o efeito do solo.

Silva e Galvíncio (2012) comparando a variação nos índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, no município de Petrolina – PE, destacaram a eficiência do SAVI, principalmente em as áreas mais densamente vegetadas, comprovando que este parâmetro possui confiabilidade para os períodos secos do semiárido.

Rocha et al. (2011) realizaram um estudo de comparação dos índices de vegetação aplicados no Bioma Caatinga, localizada em Petrolina (Pernambuco), pelo qual chegaram a conclusão de que o SAVI discrimina melhor os alvos na superfície terrestre, apresentando um maior número de classes.

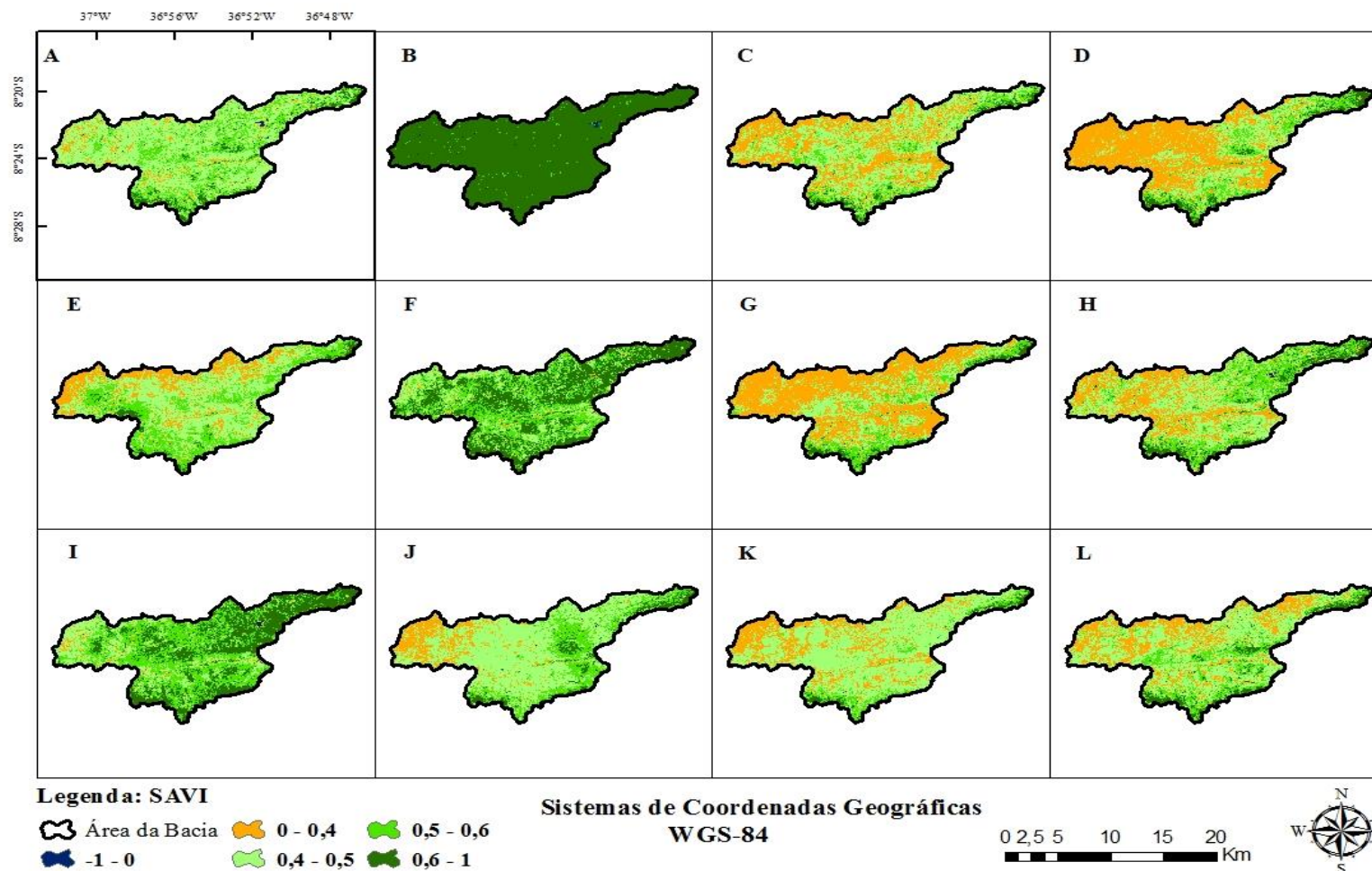


Figura 21 - Carta temática da distribuição espacial e temporal do SAVI nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema

Na Tabela 14 estão representados os valores dos parâmetros estatísticos, obtidos na análise estatística das cartas do índice de vegetação SAVI. Os respectivos valores máximos e mínimos variaram de 0,84 a -0,35 que foi encontrado na data 03/09/1989 e 27/11/1985. O maior valor médio foi de 0,634 para o ano de 03/09/1989 e menor valor de 0,278 para a data 14/11/2015. Santos et al. (2015) analisando os parâmetros NDVI e SAVI para dois períodos, chuvoso e seco, em área irrigada localizada nas proximidades do município de Paranapanema – SP, encontraram para o SAVI os valores médios de 0,48 (30/01/2014) e 0,338 (11/09/2014), respectivamente.

Os valores de moda foram de 0,244 em 12/10/2003 para o mínimo e máximo de 0,685 no dia 03/09/1989. Os valores de desvio padrão foram próximos e teve uma variação de valor mínimo de 0,70 (14/11/2015) e máximo de 0,111 em 29/09/2010. Ribeiro et al. (2016a) obtiveram o maior valor do desvio padrão (0,181) para o ano de 2005 e menor de 0,113 no ano de 2012 na bacia do rio Pajeú. Os coeficientes de variação também tiveram valores próximos, com valor máximo de 0,31 em 12/10/2003 e valor mínimo de 0,14 em 03/09/1989.

Tabela 14 - Parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas do índice de vegetação SAVI

Datas das Imagens	Satélite LANDSAT	Índice de vegetação – SAVI						
		Máx.	Mín.	Médio	Mediano	Moda	DP	CV
27/11/1985	TM	0,77	-0,35	0,331	0,308	0,286	0,085	0,25
03/09/1989	TM	0,84	-0,33	0,634	0,648	0,685	0,091	0,14
14/12/1991	TM	0,81	-0,21	0,351	0,330	0,322	0,095	0,27
06/10/1995	TM	0,78	-0,33	0,319	0,289	0,259	0,095	0,29
17/10/1999	TM	0,75	-0,33	0,357	0,340	0,323	0,106	0,30
22/10/2001	TM	0,78	-0,26	0,472	0,470	0,486	0,096	0,20
12/10/2003	TM	0,73	-0,33	0,292	0,269	0,244	0,092	0,31
02/11/2005	TM	0,77	-0,27	0,353	0,326	0,298	0,099	0,28
29/09/2010	TM	0,78	-0,30	0,487	0,489	0,485	0,111	0,23
10/12/2013	OLI/TIRS	0,78	-0,35	0,298	0,277	0,255	0,081	0,27
14/11/2015	OLI/TIRS	0,72	-0,31	0,278	0,262	0,254	0,070	0,25
12/08/2016	OLI/TIRS	0,72	-0,23	0,357	0,334	0,301	0,096	0,27

5.4.2.3 IAF

A Figura 22 a seguir apresenta-se a carta temática do índice de vegetação – IAF na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema, para as seguintes datas 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L). Como os índices anteriores, este teve comportamento semelhante aos outros índices e boa representação dos valores observados.

Os maiores valores de IAF apresentam-se diante das tonalidades do verde escuro nas áreas bem vegetadas da bacia, enquanto que o tom alaranjado indica pouquíssima presença de folhas e o tom vermelho presença de água. Assim como os índices anteriores, este também foi influenciado pela precipitação antecedente ao imageamento.

Segundo Dijk e Bruijnzeel (2001) o IAF também está diretamente relacionado com a capacidade de interceptação da chuva pelo dossel. Souza (2014) observou os menores valores de IAF em água e em área de solo exposto, já os maiores valores foram sobre áreas com vegetação, seja ela herbácea ou arbórea/arbustiva.

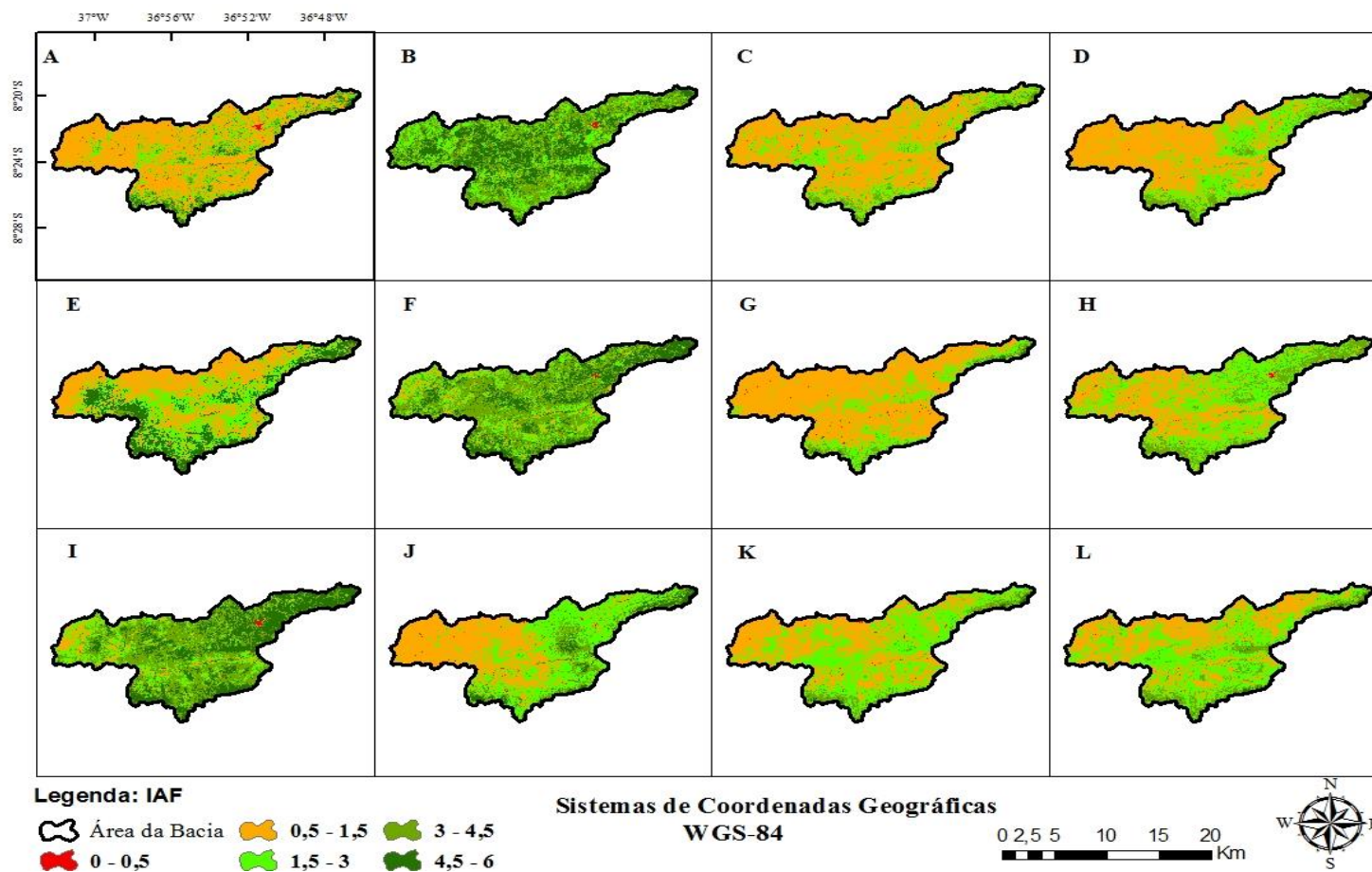


Figura 22 - Carta temática da distribuição espacial e temporal do IAF nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema

Na Tabela 15 observam-se os parâmetros estatísticos de IAF, onde o valor mínimo variou de -0,8 e -0,9 para toda escala temporal, já o máximo foi de 6 para todos os anos. Os valores médios observados foram para mínimo de 0,418 no dia 14/11/2015 e máximo de 3,574 na data 03/09/1989. Jordão et al. (2015) ao analisarem a variabilidade e dependência espacial dos valores de índice de área foliar (IAF) em áreas naturais de campo 'baixo', campo 'alto' e floresta de transição no Sul do Amazonas, encontraram o valor médio do índice de área foliar (IAF) mais alto na floresta de transição (4,42), seguido do campo 'alto' (2,03) e do campo 'baixo' (1,72).

Os valores medianos variaram, mas foram próximos aos da média com 3,026 para 1989 e 0,339 para o ano de 2015. Para a moda o menor valor foi de 0,315 (2013), onde o máximo foi de 5,97 no ano de 1989. Silva et al. (2015) ao avaliarem a distribuição espacial e temporal de estimativas de saldo de radiação e parâmetros biofísicos por sensoriamento remoto de diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia Brasileira, encontraram-se pequena variação espaço-temporal dos índices de área foliar nos anos de 2009 a 2011, tanto nos valores mínimos de 0,76 a 0,89, quanto para os máximos de 1,48 a 1,55, relativamente entre 2009 e 2011. Tais observações foram ratificadas pela similaridade entre médias (1,04 a 1,09) e modas (1,01 a 1,08) e, conseqüentemente, os baixos desvios observados em todos os anos.

Os valores de desvio padrão e coeficiente de variação variaram para o mínimo no valor de DP de 0,245 na data 14/11/2015 e máximo de 1,880 em 03/09/1989 e para o CV valor mínimo de 0,52 para 1989 e 0,76 para 1991. Souza (2014) encontrou desvio padrão variando entre 0,2 a 0,8.

Tabela 15 - Parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas do índice de vegetação IAF

Datas das Imagens	Satélite LANDSAT	Índice de vegetação – IAF						
		Máx.	Mín.	Médio	Mediano	Moda	DP	CV
27/11/1985	TM	6,00	-0,08	0,598	0,482	0,411	0,426	0,7
03/09/1989	TM	6,00	-0,09	3,574	3,026	5,97	1,880	0,52
14/12/1991	TM	6,00	-0,08	0,683	0,553	0,482	0,523	0,76
06/10/1995	TM	6,00	-0,08	0,565	0,413	0,342	0,415	0,73
17/10/1999	TM	6,00	-0,08	0,705	0,579	0,501	0,462	0,65
22/10/2001	TM	6,00	-0,09	1,258	1,100	0,957	0,741	0,58
12/10/2003	TM	6,00	-0,08	0,476	0,366	0,295	0,353	0,74
02/11/2005	TM	6,00	-0,09	0,695	0,530	0,435	0,511	0,73
29/09/2010	TM	6,00	-0,09	1,426	1,195	0,957	0,907	0,63
10/12/2013	OLI/TIRS	6,00	-0,09	0,484	0,386	0,315	0,315	0,65
14/11/2015	OLI/TIRS	6,00	-0,08	0,418	0,339	0,316	0,245	0,58
12/08/2016	OLI/TIRS	6,00	-0,09	0,694	0,553	0,410	0,417	0,60

5.4.3 Temperatura da superfície

A Figura 23 a seguir apresenta-se a carta temática da Temperatura da superfície na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema, para as seguintes datas 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L).

Encontrou-se os menores valores de temperatura da superfície (15-22) nos corpos hídricos e onde possui vegetação, que foram representados pelas tonalidades azul e verde claro. A tonalidade vermelha representa a maior temperatura que é encontrada em solos expostos (37 – 45). Observa-se em destaque, o dia 03/09/1989, prevaleceu a tonalidade azul e verde claro, pois como o albedo da superfície e os índices de vegetação, a precipitação também influencia na temperatura do solo. Gusmão et al. (2013) obtiveram temperaturas médias menores que 21 °C em corpos d'água, observando, ainda, esse mesmo comportamento para locais com presença da vegetação nativa de maior porte ao longo de todos os dias estudados.

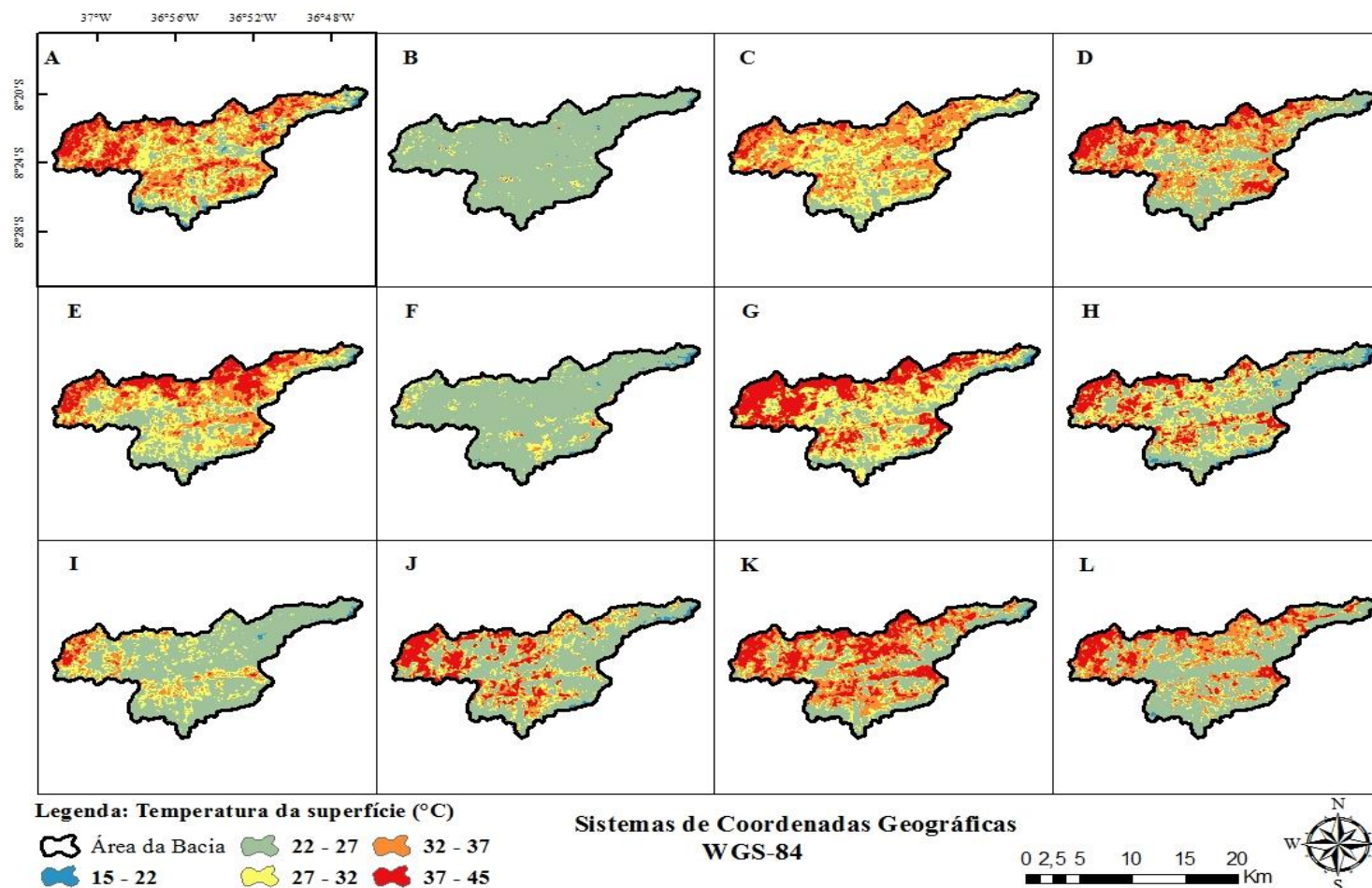


Figura 23 - Carta temática da distribuição espacial e temporal da temperatura da superfície – T_s (°C) nas datas: 27/11/1985 (A), 03/09/1989 (B), 14/12/1991 (C), 06/10/1995 (D), 17/10/1999 (E), 22/10/2001 (F), 12/10/2003 (G), 02/11/2005 (H), 29/09/2010 (I), 10/12/2013 (J), 14/11/2015 (K) e 12/08/2016 (L), na bacia do Alto Ipanema

Na Tabela 16 encontram-se os valores dos parâmetros estatísticos, obtidos na análise estatística das cartas da T_s (°C). Observa-se que a T_s teve 20,07 °C como temperatura mínima em 22/10/2001 e para o máximo de 47 °C no dia 10/12/2013. O ano de 2015 também teve a maior média com 38,93, enquanto que o ano de 1989 teve a menor média que foi de 24,8. Oliveira et al. (2012) encontraram brusca mudança de classe da T_s entre os dias 10/7/1989 e 29/8/2007, nos valores de 18-23 °C e 23-30 °C, respectivamente e, ainda, T_s maior que 30 °C para esse último dia, nos centros urbanos das cidades de Pombos e Vitória de Santo Antão – PE.

Os valores médios observados pelos autores nas datas de 10/7/1989, 06/07/2005 e 29/8/2007 foram de 20,49, 19,14 e 24,39 °C, respectivamente. Já os valores medianos, máximo e mínimo, foram parecidos com os da média com 39,2 e 24,47 respectivamente. O valor da moda máximo foi de 41,02 °C (14/11/2015). Bezerra et al. (2014) encontraram valores medianos e de moda entre 18,14 °C (Mínimo) a 31,83 °C (Máximo) e de 17,98 °C (Mínimo) a 31,43 °C (Máximo), respectivamente.

Tabela 16 - Parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, mediano, moda, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística das cartas da temperatura da superfície – T_s (°C)

Datas das imagens	Satélite LANDSAT	Temperatura da superfície – T_s (°C)						
		Máx.	Mín.	Médio	Mediano	Moda	DP	CV
27/11/1985	TM	38,85	20,63	29,73	29,74	30,17	2,253	0,07
03/09/1989	TM	31,9	20,97	24,8	24,47	24,04	1,485	0,06
14/12/1991	TM	40,85	21,89	31,39	31,63	32,16	2,371	0,07
06/10/1995	TM	38,03	20,13	29,71	29,78	29,29	2,866	0,09
17/10/1999	TM	38,03	20,44	27,66	27,59	29,3	2,541	0,09
22/10/2001	TM	36,01	20,07	27,08	26,98	26,55	2,194	0,08
12/10/2003	TM	41,74	24,06	33,96	33,91	35,95	2,961	0,09
02/11/2005	TM	42,66	22,74	33,28	33,45	33,45	2,979	0,09
29/09/2010	TM	43,4	22,4	30,53	30,3	29,94	2,987	0,09
10/12/2013	OLI/TIRS	47,00	25,26	35,80	35,93	36,19	3,031	0,08
14/11/2015	OLI/TIRS	46,90	27,55	38,93	39,2	41,02	3,192	0,08
12/08/2016	OLI/TIRS	36,50	19,60	28,13	28,25	28,72	2,991	0,09

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que foi possível verificar a variação climática da precipitação na bacia do Alto Ipanema, contudo não foram encontrados indícios de mudanças nos padrões climáticos nesse elemento, já que a precipitação média anual da bacia apresentou um decréscimo inexpressível das chuvas. Inferiu-se também que a variabilidade interanual da precipitação, com alternância de anos com IAC negativos e positivos durante a série analisada, corrobora a existência de fortes indícios da influência da ocorrência dos fenômenos de El Niño e La Niña, bem como suas intensidades nos eventos extremos de secas e chuvas, respectivamente.

Foi possível comprovar que o IAC é útil para avaliar a variabilidade de precipitação pluviométrica no semiárido do Nordeste brasileiro, como também auxiliar no planejamento estratégico de uma localidade através do acompanhamento climático. Através do IA conclui-se que a bacia hidrográfica pesquisada está susceptível a processo de degradação ambiental/desertificação de forma moderada.

A utilização de 30 anos de imagens TM - Landsat 5 e OLI – Landsat 8 possibilitaram, ao longo, a elaboração de cartas de vegetação da bacia do Alto Ipanema, semiárido pernambucano. Os parâmetros biofísicos analisados permitiram inferir que a porção noroeste da bacia apresenta território considerável de solos expostos com indicação de elevado grau de susceptibilidade à degradação. Conclui-se também que os parâmetros biofísicos avaliados pelo algoritmo SEBAL foram eficazes e eficientes na compreensão da dinâmica dos padrões espaciais e temporais de ambientes semiáridos como o do semiárido nordestino.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, E. M.; ANDRADE, S. C. P.; MORAIS, H. F.; DINIZ, J. M. T.; SANTOS, C. A. C. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Souza-PB. **Revista Estudos Geoambientais – online**. n.1, v.1, 2014.

ALLEN, R. G. Assessing integrity of weather data for use in reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.122, n.2, p.97-106, 1996.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and Drainage paper 56. **FAO, Rome**, v.300, n.9, p.D05109, 1998.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R.; WRIGHT, J. L.; BASTIAANSEN, W.; ROBISON, C. W. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) – Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.4, p.395-406, 2007.

ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. Surface energy balance algorithms for land: advance training and user's manual. Version 1.0. **Surface Energy Balance Algorithms for Land: Advance training and users manual**, version 1.0, 2002.

ALVES, E. D. L. Influência das variáveis naturais e antrópicas nos padrões da temperatura de superfície: análise por meio de regressão linear múltipla. **Revista RaeGa - O Espaço Geográfico em Análise**, v.38, p.345 - 364, 2016.

ALMEIDA, N. V. **Ordenamento territorial geoambiental da bacia hidrográfica do rio Taperoá, semiárido paraibano**. Tese de Doutorado em Geografia – UFF. Niterói-RJ, 2012.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v.22, n.3, p. 126-135, 2009.

ALVES, J. J. A. Geoecologia da caatinga no semiárido do Nordeste brasileiro. **Revista CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem**, v.2, n.1, p. 58-71, 2007.

ANDRADE, S. C. P.; CORRÊA, J. A. J. Estimativa do saldo de radiação instantâneo à superfície para a cidade de Santarém-PA, através de imagens do Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.4, p. 653-661, 2014.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Emprego do Método de Thornthwaite & Mather (1955) para Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico do Núcleo de Degradação de São Raimundo Nonato-Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 01, p. 079-090, 2013.

ARAÚJO, L. E.; Moraes Neto, J. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n.3, p. 93 – 110, 2009.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; 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.

ASCE-EWRI - American Society of Civil Engineers - Environmental and Water Resources Institute. ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Report, ASCE, 2005.

AVANCINI, M. M.; TEGA, G. Caatinga: um bioma entre a devastação e a conservação. **Revista ComCiência**, n.149, 2013.

BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. A remote sensing approach under clear skies Mediterranean climates. Ph. D. Thesis, **Wageningen Agricultural University**, 273 p., 1995.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, n.1, p.87-100, 2000.

BASTIAANSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. A remote sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. **Formulation. Journal of Hydrology**, v.212-213, p.198-212. 1998.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; SELIGER, R.; EVA, H.D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v.58, p.116–127, 2015.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B., LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.73–84, 2014.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15 n.7, 2011.

BIELENKI, C. J.; BARBASSA, A. P. Geoprocessamento e Recursos Hídricos: Aplicações Práticas. 1. ed. São Carlos: **Revista EDUFSCar**, v.1, p.257, 2012.

BIUDES, M. S.; SOUZA, M.C.; MACHADO, N. G.; DANELICHEN, V. H. M.; VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. S. Modelling gross primary production of a tropical semi-deciduous forest in the southern Amazon Basin. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 4, 1540–1562, 2014.

BORGES, G. M.; PACHÊCO, A. P.; SANTOS, F. K. S. Sensoriamento remoto: avanços e perspectivas. **Revista de Geografia (UFPE)**, v.32, n. 2, p.267 - 292, 2015.

BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. A.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e índice de área foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho, município de Selvíria – MS. **Revista Percorso - NEMO Maringá**, v.7, n.2, p. 05- 22, 2015.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v, 41, n. 11, 2003.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n.5, p.893-903, 2009.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de superfície celsius do sensor TIRS/Landsat 8 metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.7, n.1, p. 31-45, 2013.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R. V.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, v. 18, n.1, p. 64-72, 2014.

COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.961–974, 2009.

COUTO JÚNIOR, A. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. Séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor Modis para caracterização fenológica do algodão. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65/1, p. 199 – 210, 2013.

CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; OLIVEIRA, G. S. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, 139 - 152, 2013.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B.; CHAVES, I. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 539 – 548, 2012.

DANTAS, J. G.; HOLANDA, A. C.; SOUTO, L. S.; JAPIASSU, A.; HOLANDA, E. M. Estrutura do componente arbustivo/arbóreo de uma área de Caatinga situada no município de Pombal-PB. **Revista Verde**, v.5, n.1, p.134 -142, 2010.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens landsat-5. **Revista Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, p. 234-271, 2011.

DIJK, A.I.J.M.; BRUIJNZEEL, L.A. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 2 - Model validation for a tropical upland mixed cropping system. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.247, p.239-62, 2001.

DISPERATI, A. A.; SANTOS, J. R.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; NEEFF, T. **Aplicação da técnica “filtragem de locais máximas” em fotografia aérea digital para a contagem de**

copas em reflorestamento de Pinus elliottii. *Scientia Forestalis*, n. 76, p. 45-55, 2007. Disponível em: <<http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr76/cap04.pdf>>. Acesso em: 16 de outubro de 2016.

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Segurança alimentar: a luta para garantir terra fértil a futuras gerações.** Disponível em: <<https://www.fao.org.br/FAOsRrgps.asp>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

FELIX, V. S. Análise de 40 Anos de Precipitação Pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Espinharas – PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.5, 2015.

FIGUEIRÊDO, A. C. **Dinâmica de vegetação e regime de precipitação em bacia hidrográfica da região semiárida de Pernambuco.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, 2014.

FIRMINO, J. L. N.; LIMA, E. A.; GOMES FILHO, M. F.; ARAÚJO, P. C. Análise comparativa preliminar do Índice de Vegetação derivado do Satélite Landsat - 5 para a cidade de São João do Rio do Peixe na Paraíba com a precipitação. **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, p. 3801-3807, 2009.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** 3ª Edição: ampliada e atualizada. Oficina de Textos. São Paulo, 2011.

FREITAS, M. A. S.; Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semiáridas. **Revista Tecnologia (online)**, p. 84-95, 2005.

GARRISON, J. D.; ADLER, G. P. Estimation of precipitable water over the United State for application to the division of solar radiation into its direct and difuse coponents. **Solar Energy**, v.44, n.4, p.225-241, 1990.

GIANNINI, M. B.; BELFIORE, O. R.; PARENTE, C.; SANTAMARIA, R. Land Surface Temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data. **Journal of engineering science and technology review**, p. 83-90, 2015.

GIONGO, P. R.; VETTORAZZI, C. A. Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.8, p.833–838, 2014.

GOMES, D. D. M.; MENDES, L. M. S.; MEDEIROS, C. N.; VERISSIMO, C. U. V. Análise multitemporal do processo de degradação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Jaibaras no Estado do Ceará. **Revista Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 15, n.2, 2011.

GONÇALVES, W. G.; RIBEIRO, H. M. C.; SÁ, J. A. S.; MORALES, G. P.; FERREIRA FILHO, H. R.; ALMEIDA, A. C. Classificação de estratos florestais utilizando redes neurais artificiais e dados de sensoriamento remoto. **Revista Ambiental e Água**, v.11, n.3, 2016.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Índice de anomalia de chuva do estado o Rio Grande do Sul. **Revista Ambiente Guarapuava**, v.11, n.3, p. 529 – 543, 2015a.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Geografia Acadêmica**, v.9, n.2, p.21 -33, 2015b.

GUSMÃO, A. C. V. L.; SILVA, B. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GALVÍNCIO, J. D.; OLIVEIRA, L. M. M. Índice de vegetação e temperatura da superfície no ecótono Ilha do Bananal por sensoriamento remoto. **Revista de Geografia**, v.30, n.3, p.209-225, 2013.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.3, p.295-309, 1988.

JI, L.; ZHANG, L.; ROVER, J.; WYLIE, B.K.; CHEN, X. Geostatistical estimation of signal-to-noise ratios for spectral vegetation indices. **ISPRS – Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.96, p.20-27, 2014.

JORDÃO, W. H. C.; ZANCHI, F. B.; FERREIRA, D. M. M.; PAGANI, C. H. P.; LUIZÃO, F. J.; NEVES, J. R. D.; DUARTE, M. L. Variabilidade do índice de área foliar em campos naturais e floresta de transição na região Sul do Amazonas. **Revista Ambiental & Água**, v.10, n.2, 2015.

LEITE, M. R.; BRITO, J. L. S. Avaliação de desempenho entre modelos de obtenção de temperatura de superfície por sensores remotos. **Revista Eletrônica de Geografia: OBSERVATORIUM**, v. 4, n. 12, p.73-89, 2012.

LIRA, V. M.; SILVA, B. B.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; FRANCO, E. S. Variação sazonal da cobertura vegetal em áreas do submédio São Francisco a partir de dados NDVI e imagens TM-LANDSAT 5. **Revista Enciclopédia biosfera**, v. 7, p. 1-9, 2011.

LIU, H. Q.; HUETE, A. A. Feedback based modification of the NDVI to minimize canopy IEEE Transactions on Geosciences and background and atmosphere noise. **Remote Sensing**, v.3, n.2, p.457-465, 1995.

LOPES, I.; LEAL, B. G. Índice de aridez e tendência a desertificação para estações meteorológicas nos estados da Bahia e Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.17, p.155-172, 2015.

MALLMANN, C. L.; PRADO, D. A.; FILHO PEREIRA, W. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.5, p.1454-1469, 2015.

MARCUSSI, A.B.; BUENO, C.R.P.; MIQUELONI, D.P.; ARRAES, C.L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Caminhos de Geografia - Revista online**, v. 11, n. 35, p. 41-53, 2010.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. Índice de anomalia de chuvas do estado do Tocantins. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia**, n.19, p. 1-17, 2012.

MATALLO JUNIOR, H. **A desertificação no mundo e no Brasil**. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO JR, H (Org). Desertificação. Brasília: UNESCO, 2003.

MIRANDA, J. R.; NASCIMENTO, C. R. Análise de índices espectrais na avaliação de terraceamento em pastagem cultivadas no norte de Minas Gerais. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17; p. 2013 128, 2013.

MONTENEGRO, A. A.; MACKAY, R.; MONTENEGRO, S. Coupled unsaturated-saturated modelling of salinization risk in an alluvial irrigated area of north-east Brazil. **Acta Universitatis Carolinae**, v. 46, n.2, p. 593-597, 2002.

MOREIRA, G. F.; FERNANDES, R. B. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; VIEIRA, C. A. O.; SANTOS, K. A. Classificação Automatizada do Uso e Cobertura do Solo Usando Imagens Landsat. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.1, p. 58-65, 2013.

MOREIRA, L. C. J.; DURAND, B. J.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M. Variabilidade local e regional da evapotranspiração estimada pelo algoritmo SEBAL. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.30, n.6, p.1148-1159, 2010.

MOREIRA, M. A. Satélites e história do Sensoriamento remoto. Formação continuada de professores: curso astronáutica e ciências do Espaço. **INPE**. São José dos Campos. 2008.

NASA. **The Landsat program**. 2016. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em 11 de setembro de 2016.

NETO, J. B. T. L.; CRISTO, S. S. V. Sensoriamento remoto aplicado a análise do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego Berimbau, Ipueiras – Tocantins. **Revista Interface**, n.8, p. 92-102, 2014.

OLIVEIRA, L. M. M. **Estimativa da evapotranspiração real por sensoriamento remoto na Bacia do Rio Tapacurá-PE**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências. Recife, 2012.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1209-1217, 2012.

OLIVEIRA, T. C.; FERREIRA, E.; DANTAS, A. A. A. Variação temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e obtenção do coeficiente de cultura (K_c) a partir do NDVI em áreas cultivadas com soja irrigada. **Revista Ciência Rural**, v.46, n.9, 2016.

PACHÊCO, A. P. GONÇALVES, R. M.; LIMA, E. R. V.; QUINTANS, A. G. X. Sensoriamento remoto de alta resolução espacial na caracterização de assentamentos informais. **Revista de geografia Norte Grande**, n.57, 2014.

PRUDÊNCIO, M. A.; CÂNDIDO, D. K. Degradação da vegetação nativa do município de Assú/RN: indicadores e ações mitigadoras. **Revista Sociedade e Território**, v.21, n.1 – 2 (Edição Especial), p. 144 -156, 2009.

RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri–PB. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.1217 – 1229, 2012.

RIBEIRO, E. P. **Mudanças ambientais e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco– UFPE, 2016.

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

RIBEIRO, G. N.; FRANCISCO, P. R. M.; ARAÚJO J. S. O. A.; SALES, J. C. R. Geotecnologias para o mapeamento temático dos índices de aridez e classes de desertificação na microrregião de umbuzeiro –PB. **Revista Técnico-Científica do CREA (edição especial)**, p. 1 – 15, 2016b.

RIBEIRO, R. B; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A. NASCIMENTO, C. R. Análise temporal das variações de parâmetros biofísicos da cana-de-açúcar em Jaíba-MG. **Revista Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v.3, n.3, p.150-155, 2015.

ROBERTS, T. L.; RYAN, J. Solo e Segurança Alimentar. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, 2015. 3p. (Informações agronômicas, Nº 150).

ROCHA, W. J. S. F.; BORGES, E. F.; VIGANÓ, H. A. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba-PR, p. 1828, 2011.

ROOY, M. P. V. **A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space**. Notes, v.14, 1965.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos de geografia - revista online**, v.15, n.51, p. 73–84, 2014.

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

SANTOS, E. C. A.; ARAÚJO, L. E.; MARCELINO, A. S. Análise climática da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.9–14, 2015.

SANTOS, J. E. O.; NICOLETE, D. A. P.; FILGUEIRAS, R.; LEDA, V. C.; ZIMBACK, C. R. L. Imagens do Landsat -8 no mapeamento de superfícies em áreas irrigada. **Revista Irriga & Inovagre**, p. 30-36, 2015.

SANTOS, J. Y. G.; SILVA, R. M.; CARVALHO NETO, J. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, A. M. Assessment of land use change on the streamflow using GIS, remote sensing and physically-based model. **IAHS-AISH Publication**, v. 368, p. 232-239, 2014.

SANTOS, S. M.; LEAL, B. G.; TAURA, T. A. Determinação da suscetibilidade climática à desertificação para os municípios baianos de Juazeiro, Casa Nova, Sobradinho e Curaçá. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.10, n. 1, p. 171-184, 2016.

SILVA JUNIOR, V. P.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, T. P. N.; GUERRA, S.; SANTOS, E. S. Produção de água e sedimentos em bacia representativa do semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso)**, v. 15, p. 1073-1081, 2011.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; JUNIOR BARBOSA, B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.3–8, 2016.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo-PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v.24, p.145-152, 2011.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.243-252, 2005a.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.2, p.201-211. 2005b.

SILVA, D. D. C.; MATTOS, A. Diagnóstico Socioeconômico e ambiental em microbacia hidrográfica localizada em um núcleo de desertificação. **Revista Caminhos de Geografia (online)**, v.14, n.45, p.45–53, 2013.

SILVA, D. F. S.; NERY, J. T. Variabilidade espacial e temporal da chuva na unidade de gerenciamento do Pardo. **Revista Geonorte (online)**, v.3, n.5, p.1079 – 1089, 2012.

SILVA, E. R. A. C.; MELO, J. G. S.; GALVÍNCIO, J. D. Identificação das Áreas Susceptíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca - PE Através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n.3, p.629-649, 2011.

SILVA, J. J. N.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, E. F. F.; FONTES JUNIOR, R. V. P.; SILVA, A. P. N. Variabilidade espacial de parâmetros de crescimento da mamoneira e de atributos físico-químicos em Neossolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 921-931, 2010.

SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M. Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.27-36, 2012.

SILVA, L. C.; CUNHA, J. M.; MACHADO, N. G.; CAMPOS, M. C. C.; BIUDES, M. S. Estimativa do balanço de radiação por sensoriamento remoto de diferentes usos de solo no Sudoeste da Amazônia brasileira. **Revista Sociedade & natureza**, v.27, n.2, 2015.

SILVA, L. G.; GALVÍNCIO, J. D. Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na Primeira Década do Século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n.6, p. 1446-1456, 2012.

SILVA, J. L. B. **Monitoramento espaço-temporal da cobertura vegetal do bioma Caatinga no Ceará mediante imagens orbitais**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife – PE, 2016.

SIMIONI, J. P. D.; WOLLMANN, C. A. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo na Estação Ecológica do Taim, RS, no ano de 2009: análise durante o verão, outono, inverno e primavera. **Revista Interface**, n.11, p. 216-231, 2016.

SOUSA, M. L. M.; NASCIMENTO, F. R. Estudos geoambientais de bacias hidrográficas em áreas suscetíveis à desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista Colombiana de Geografia**, v.24, n.1, 2014.

SOUSA, S. B.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, n. 26, p.75-99, 2012.

SOUZA, B. I.; MENEZES R.; ARTIGAS, R. C. Efeitos da desertificação na composição de espécies do bioma Caatinga, Paraíba/Brasil. **Investigaciones Geográficas**, n. 88, p. 45-59, 2015.

STARKS, P. J.; NORMAN, J. M.; BLAD, B. L.; WALTER-SHEA, E. A.; WALTHALL, C. L. Estimation of shortwave hemispherical reflectance albedo from bi-directionally reflected radiance data. **Remote Sensing of Environment**, v.38, n.2, p.123-134, 1991.

TARTARI, R., MACHADO, N. G., ANJOS, M. R., CUNHA, J. M., MUSIS, C. R., NOGUEIRA, J. S., BIUDES, M. S. Análise de índices biofísicos a partir de imagens TM Landsat 5 em paisagem heterogênea no Sudoeste da Amazônia. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, p. 993-953, 2015.

TASUMI, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. PhD thesis, Dept. Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho. 2003.

THORTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, London, v.38, p.55-94, 1948.

THORTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology; 1955, 104p.

UNESCO, 1979. Aridity definition (UN documents), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, New York.

<<http://www.unesco.org/new/en/unesco/resources/publications/>>. Acesso em 15/10/2016.

USGS (*United States Geological Survey*). Landsat Missions Timeline. Disponível on-line em: <http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php>. Acessado em 10 de janeiro de 2016a.

USGS (*United States Geological Survey*). Using the USGS Landsat 8 Product. Disponível on-line em: <http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php>. Acessado em 15 de julho de 2016b.

VELOSO, G. A.; FERREIRA, M. E.; ROSA, R.; SILVA, B. B. Determinação do albedo de superfície em áreas irrigadas do projeto Jaíba (Minas Gerais) mediante imagens Landsat 5 – TM. **Revista RaeGa**, v.35, p.126 – 146, 2015.