

Artigo

## Avaliação de Degradação e Mudanças Ambientais na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema

José Diorgenes Alves Oliveira<sup>1</sup>, Geber Barbosa de Albuquerque Moura<sup>1</sup> ,  
Cristina Rodrigues Nascimento<sup>1</sup> , Fabrício Marcos Oliveira Lopes<sup>1</sup> ,  
Ranyere Silva Nóbrega<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>*Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.*

<sup>2</sup>*Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.*

Recebido em: 4 de Março de 2018 - Aceito em: 11 de Março de 2019

### Resumo

O objetivo do trabalho foi identificar e avaliar os diferentes graus de susceptibilidade ambiental da bacia hidrográfica do Alto Ipanema, onde fazem parte os municípios de Arcoverde e Pesqueira no estado de Pernambuco, à variabilidade climática e ao processo de degradação. Foram utilizados nesta pesquisa os dados de precipitação mensal da série histórica (1962 a 2015) para a realização do cálculo do índice de anomalia de chuva (IAC), considerando as médias temporais das precipitações locais, para a determinação dos períodos secos e úmidos. Foram estimados parâmetros biofísicos para a detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica, aplicando componentes do algoritmo SEBAL por meio da utilização de imagens dos satélites 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 a existência de fortes indícios da influência da ocorrência dos fenômenos de El Niño e La Niña, em conjunto ou não das fases positivas e negativas do Dipolo do Atlântico, nos eventos de secas e chuvas na bacia. Com os parâmetros biofísicos analisados, foi identificado que a porção noroeste da bacia apresenta áreas de solos expostos com um grau de susceptibilidade à degradação.

**Palavras-chave:** índice de anomalia de chuva, parâmetros biofísicos, semiárido.

## Evaluation in the Detection of Environmental Changes in the High Ipanema Watershed

### Abstract

The objective of this study was to identify and evaluate the different degrees of environmental susceptibility of the High Ipanema watershed, covering part of the municipalities of Arcoverde and Pesqueira in the state of Pernambuco, to climatic variability and degradation process. The data of monthly precipitation of the historical series (1962 to 2015) were used for the calculation of the rainfall anomaly index (IAC), considering the temporal means of the local precipitations, for the determination of dry and humid periods. The biophysical parameters were estimated for the detection of environmental changes in the watershed, applying components of the SEBAL algorithm using Landsat 5-TM and 8-OLI/TIRS images. The results presented a predominance of negative IACs for the interannual variability with more extreme inflection points in the rainy years, which shows the whole watershed with an anomaly index between dry and rainy. There is also strong evidence of the influence of the occurrence of El Niño and La Niña phenomena, together with or not on the positive and negative phases of the Atlantic Dipole, in the drought and rainfall events in the watershed. With the biophysical parameters analyzed it was found that the northwest part of the watershed presents a considerable area of exposed soils with a degree of susceptibility to degradation.

**Keywords:** rainfall anomaly index, biophysical parameters, semiarid.

## 1. Introdução

A questão da degradação ambiental no Brasil vem se agravando no decorrer dos anos. A região semiárida no Nordeste do Brasil (NEB) se destaca nessa perspectiva devido a muitos fatores, entre eles as próprias condições climáticas e fatores antrópicos (Sousa e Nascimento, 2015).

A variabilidade da precipitação é um dos elementos climáticos determinante nas condições do clima no NEB, bem como, de mudança a longo prazo (Pereira, 2014). Os fenômenos oceânico-atmosféricos El Niño e La Niña e as flutuações da temperatura das águas superficiais do oceano Atlântico Tropical influenciam diretamente no déficit ou excesso de precipitação nessa região (Philander, 2005).

Rodrigues *et al.*, 2017 analisando a influência dos eventos El Niño e La Niña sobre o regime de chuvas no Agreste de Pernambuco, utilizando dados mensais de precipitação pluviométrica de 30 estações no período de 1963 a 2016, perceberam que esses eventos associados com a interação do Dipolo do Atlântico são determinantes no regime de chuvas nesta região.

O regime pluviométrico é o grande responsável pela disponibilidade de biomassa nas áreas secas, consequentemente está correlacionada com a cobertura vegetal (Ribeiro *et al.*, 2016. Porém, a perda da cobertura vegetal também se dá por expansão e crescimento populacional, onde ocorrerá uma maior demanda por mais recursos de área, levando ao desmatamento e as queimadas, proporcionando a degradação ambiental.

Nos últimos anos, o sensoriamento remoto orbital tem-se tornado uma ferramenta importante no monitoramento ambiental, principalmente utilizando-se índices

espectrais. Segundo Bezerra *et al.* (2014), com a presença de ação antrópica e carência de dados de campo para monitorar a dinâmica espaço-temporal da caatinga, houve um aumento no número de pesquisa envolvendo o sensoriamento remoto, possibilitando compreender o comportamento dos parâmetros biofísicos, face às mudanças climáticas e ações antropogênicas.

As bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades de caracterização, reconhecimento e avaliação dos processos degradativos no semiárido, pois seu estudo facilita na identificação de possíveis mudanças na paisagem (Vilaça *et al.*, 2009).

A vegetação na bacia hidrográfica do Alto Ipanema - PE, foco do estudo, vem sendo desmatada devido à expansão agrícola, pecuária e da exploração de madeira (Figueiredo, 2014). Para Vanzela *et al.* (2010) uma das principais preocupações no semiárido é a exploração intensa de áreas com agricultura e pecuária familiares, que provocam a queda na fertilidade do solo, perda da biodiversidade e a intensificação dos processos erosivos.

Diante do exposto, a pesquisa teve como objetivo identificar e analisar os diferentes graus de susceptibilidade ambiental da bacia hidrográfica do Alto Ipanema à variabilidade climática e ao processo de degradação.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do Alto Ipanema (Fig. 1) está inserida no estado de Pernambuco, abrangendo parte dos municípios de Arcoverde e de Pesqueira, localizando-se

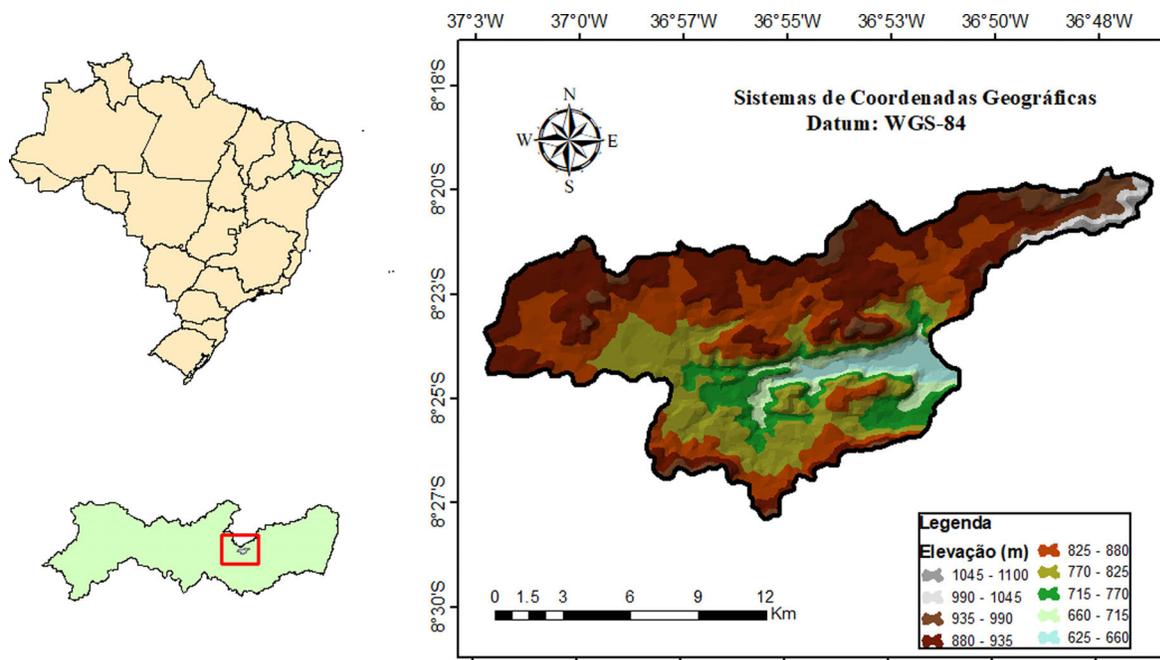


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, bacia hidrográfica do Alto Ipanema - PE.

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 km<sup>2</sup>, 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). Segundo a classificação de Köppen, o clima local é do tipo BShw' semiárido quente, com temperatura média anual em torno de 27 °C, umidade relativa média anual do ar de 73% (Silva *et al.*, 2010).

De acordo com a IBGE/EMBRAPA (2001), 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.

## 2.2. Dados meteorológicos

Os dados de precipitação que foram utilizados nesse trabalho são de uma estação convencional localizada em Arcoverde, pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) cuja parceria com o IPA (Instituto de Pesquisa Agropecuária de Pernambuco) viabiliza a sua manutenção e operacionalização. Os dados de precipitação mensais foram disponibilizados já consistidos, pelos órgãos de pesquisa.

## 2.3. Índice de anomalia de chuva

Uma das maneiras de caracterizar os períodos secos e chuvosos, de um determinado local, está baseado na utilização do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) proposto por Rooy (1965) e adaptado para o Nordeste do Brasil por Freitas (1998). Segundo Santos *et al.* (2015) é uma ferramenta de grande utilidade no auxílio do monitoramento e no gerenciamento de cheias ou estiagens, tornando-se eficientes na determinação da duração e na intensidade dos eventos. É dado pelas (Eqs. (1) e (2)):

$$IAC = 3 \frac{(P - P_{med})}{(P_{max} - P_{med})} \text{ para anomalias positivas} \quad (1)$$

$$IAC = -3 \frac{(P - P_{med})}{(P_{min} - P_{med})} \text{ para anomalias negativas} \quad (2)$$

em que  $P$  = precipitação anual atual (mm),  $P_{med}$  = precipitação média anual da série histórica (mm),  $P_{max}$  =

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 seis categorias variando de extremamente úmido a extremamente seco (Tabela 1).

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 na busca de tendências e mudanças de padrões nesse elemento climático.

Os resultados determinados com os cálculos do IAC foram analisados e comparados com os anos de ocorrência e duração dos fenômenos de El Niño e La Niña, através dos valores do Índice Oceânico do Niño (ION) na região 3.4 (Fig. 2) e fases positivas e negativas do Dipolo do Atlântico (Tabela 2), com o intuito de averiguar o grau de influência desses fenômenos sobre a anomalia de chuva. Para análise, foram utilizados os valores correspondentes aos três meses que antecedem o período chuvoso da bacia (Silva Junior *et al.*, 2011). Os dados do ION e do Dipolo do Atlântico foram obtidos pelo site (National Centers for Environmental Prediction/National Oceanic and Atmospheric Administration) NCEP/NOAA (2018).

O ION é um índice que identifica as anomalias da superfície do oceano Pacífico através de uma média móvel de três meses. Quando o ION for maior que +0,5 °C por no mínimo cinco meses consecutivos, o período é caracterizado como El Niño, e La Niña quando for menor do que -0,5 °C (Marcuzzo e Romero, 2013).

Já o Dipolo do Atlântico, é um fenômeno oceano/atmosférico, identificado como uma mudança anômala na temperatura da superfície da água do mar no Oceano Atlântico Tropical Norte e Tropical Sul. Na área analisada, ou seja, no semiárido brasileiro, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias, ocorre inibição à formação de nuvens, reduzindo a precipitação (Fase Positiva do Dipolo). Por outro lado, quando as águas

**Tabela 1** - Classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

IAC (valores calculados indicando a magnitude dos desvios negativos e positivos em relação à média da série histórica de dados de precipitação mensal)	Classificação
≥ 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

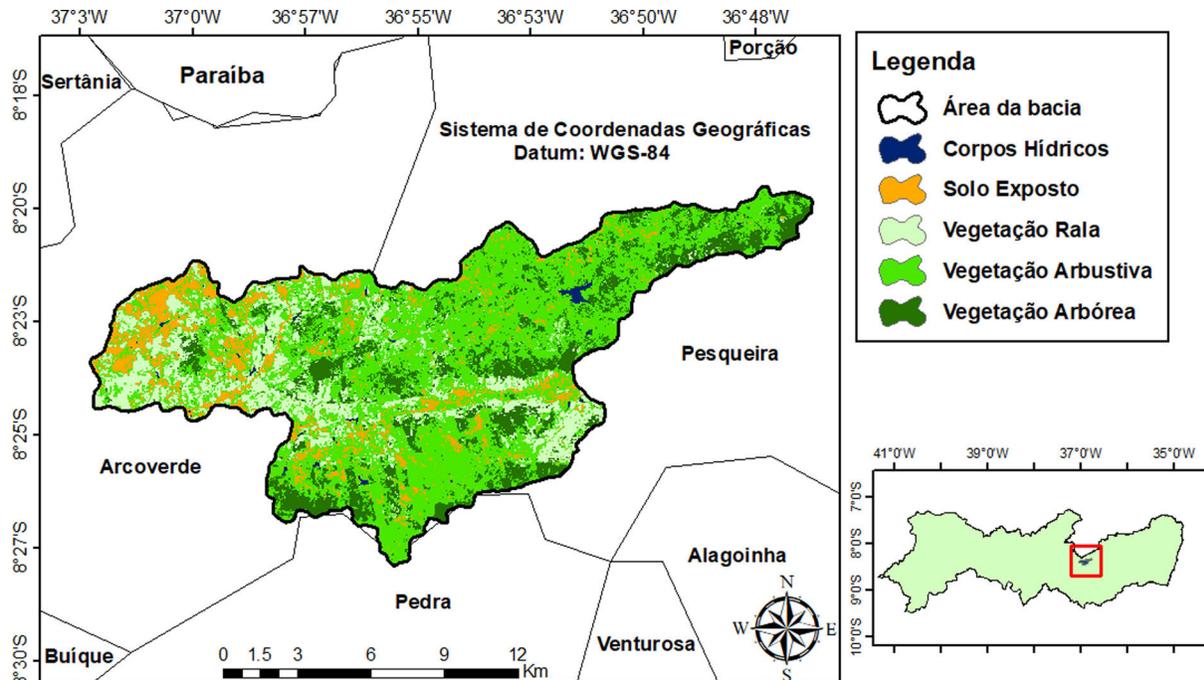


Figura 2 - Pluviograma dos totais mensais da bacia do Alto Ipanema de 1962 -2015.

Tabela 2 - Anos de ocorrência do Dipolo do Atlântico.

Fase positiva	Fase negativa
1962, 1963, 1965, 1967, 1970, 1971, 1979, 1980, 1981, 1982, 1990, 1996, 1997, 1990, 1999 até 2015	1964, 1966, 1968, 1969, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988 1989, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1998

do Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes se intensificam à formação de nuvens aumentando os índices pluviométricos (Fase Negativa do Dipolo) (Moura e Shukla, 1981; Aragão, 1998).

2.4. Imagens de satélite

Foram utilizadas cinco imagens de satélite Landsat 5 sensor-TM e uma do Landsat 8 sensor-OLI/TIRS, órbita 215, ponto 66 (Tabela 3), adquiridas junto ao site americano United States Geological Survey - USGS.

Essas datas foram selecionadas considerando como critério zero porcentagem de cobertura de nuvens sobre a área de estudo. Desta forma, foram selecionadas imagens correspondentes ao período seco da região (agosto a dezembro) (Silva Júnior et al., 2011). As imagens foram processadas no software ERDAS (Earth Resource Development Assessment System) imagine na versão 9.1 e os mapas temáticos foram processados pelo software ArcGis 10.2.2.

Para caracterização da bacia, por imagem de satélite, foi realizada uma classificação automática supervisionada utilizando-se o algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER), baseado em cinco classes: água, solo exposto, vegetação rala, arbórea e arbustiva, cada uma contendo

10 pontos de controle. A imagem escolhida foi a passagem em 29/09/2010, de satélite TM - Landsat 5 adotando-se a composição falsa cor 5R4G3B (Fig. 3).

Após a identificação das características da paisagem, foram analisadas o comportamento da precipitação acumulada em intervalos de 15, 30, 45 e 60 dias antes das

Tabela 3 - 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 (-)
03/09/1989	Landsat 5	TM	215/66	246	9:01	50,2344
06/10/1995	Landsat 5	TM	215/66	279	9:36	50,0933
22/10/2001	Landsat 5	TM	215/66	295	9:15	60,9800
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
14/11/2015	Landsat 8	OLI/TIRS	215/66	318	9:35	64,6190

datas selecionadas de passagem do satélite na área de estudo, conforme a Tabela 4. Esta análise foi utilizada para analisar o comportamento dos parâmetros biofísicos (índices de vegetação e temperatura da superfície).

### 2.5. Parâmetros biofísicos

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é uma importante ferramenta para o monitoramento de alterações naturais ou antrópicas no uso e na cobertura da terra. Segundo Lima *et al.* (2013), ele permite avaliar o vigor vegetativo dos estágios sucessionais de determinada vegetação ou cultura, bem como identificar e diferenciar áreas com algum tipo de vegetação e áreas sem cobertura vegetal.

O NDVI é a razão entre a diferença das bandas refletidas do infravermelho próximo e do vermelho, e a soma das mesmas bandas, conforme (Eq. (3)) (Allen *et al.*, 2002):

$$NDVI = \frac{r_{b\ IVP} - r_{b\ V}}{r_{b\ IVP} + r_{b\ V}} \quad (3)$$

em que,  $r_{b\ IVP}$  e  $r_{b\ V}$  correspondem, respectivamente, às bandas refletivas 4 e 3 do Landsat 5 TM e 5 e 4 do Landsat 8 OLI. Os valores do NDVI oscilam de -1 a +1, onde

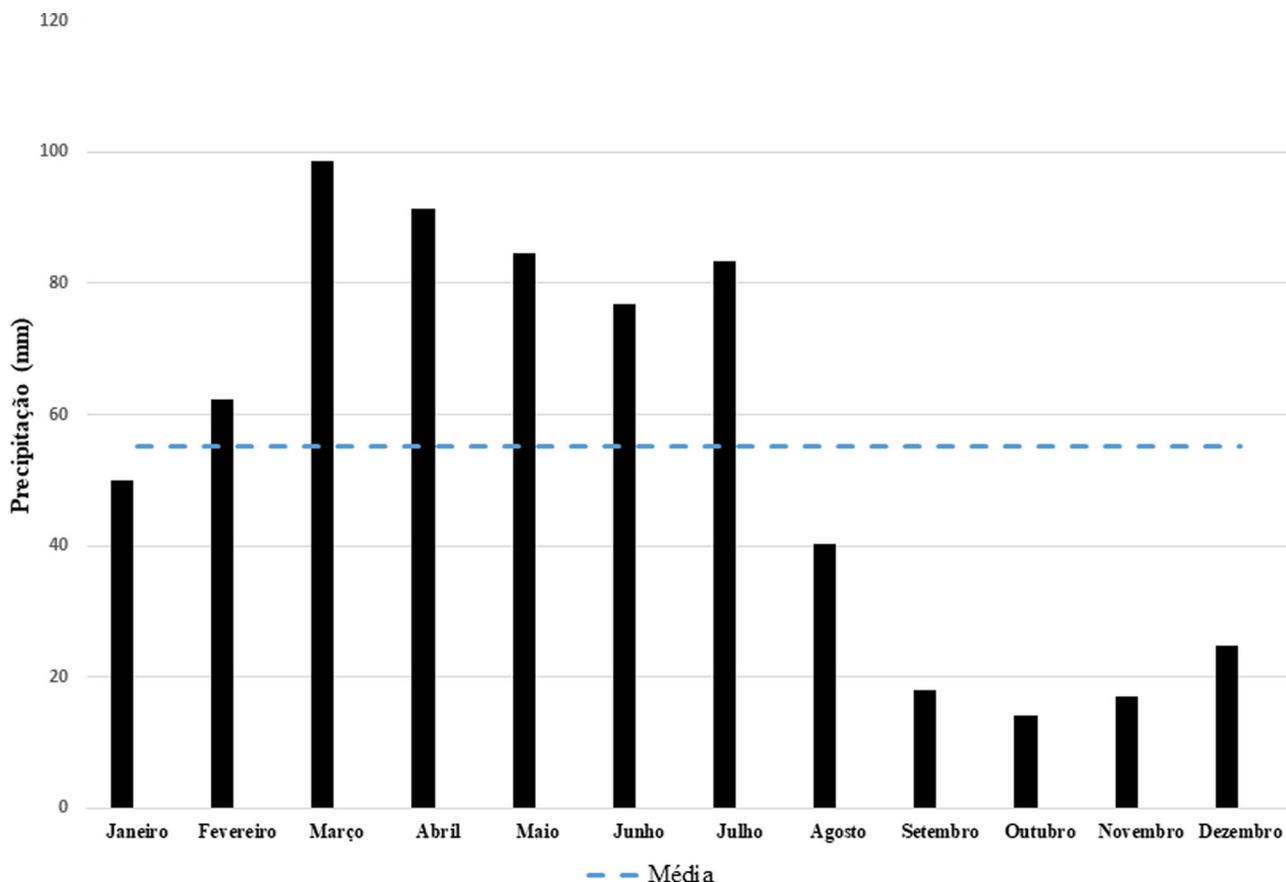
**Tabela 4** - Precipitação antecedente acumulada (mm) às datas das imagens.

Data da imagem	Precipitação antecedente acumulada (mm)			
	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias
03/09/1989	59,6	79,6	113,3	281,3
06/10/1995	0	3,2	13,7	19,7
22/10/2001	77,6	77,6	77,6	83
02/11/2005	0	0	1	5,6
29/09/2010	13,1	38,5	49,5	69,2
14/11/2015	0	0	0	15

quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal, enquanto que os mais próximos a 0 (zero) superfície não vegetada e os corpos hídricos apresentam valores negativos, próximos a -1 (Rosendo, 2005; Melo *et al.*, 2011).

O índice de vegetação ajustado às condições do solo (SAVI), é um índice que busca amenizar os efeitos antecedentes do solo, conforme Eq. (4) (Huete, 1988).

$$SAVI = \frac{(1 + L) \cdot (r_{b\ IVP} - r_{b\ V})}{(L + r_{b\ IVP} + r_{b\ V})} \quad (4)$$



**Figura 3** - Mapa de uso da cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema.

em que:  $r_{b\ IVP}$  e  $r_{b\ V}$  correspondem, respectivamente, às bandas refletivas 4 e 3 do Landsat 5 TM e 5 e 4 do Landsat 8 OLI. O fator L é a constante de ajuste ao solo, que depende do tipo de solo. Para esta pesquisa utilizou-se 0,1 segundo metodologia proposta por (Allen *et al.*, 2007). Segundo Almeida *et al.* (2012), o SAVI possui valores que variam de -1 a 1 e os valores positivos indicam áreas com presença de alguma vegetação e os valores negativos representam áreas sem vegetação, nuvens e corpos d'água.

Através do SAVI foi possível obter o Índice de Área Foliar (IAF), que é um índice biofísico definido pela razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação, sendo um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, computado pela Eq. (5) (Allen *et al.*, 2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (5)$$

O valor máximo para IAF é 6,0, o que corresponde a o valor máximo para o SAVI (Sebal, 2002). Com isso, quanto maior for o valor do IAF maior será a biomassa na área de estudo.

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  $\epsilon_{NB}$  (10,4-12,5  $\mu\text{m}$ ). 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  $\epsilon_0$  (5-100  $\mu\text{m}$ ).

Segundo (Allen *et al.*, 2002), as emissividades de cada pixel ( $\epsilon_{NB}$ ) e a ( $\epsilon_0$ ), podem ser obtidas e validadas, para NDVI > 0 e IAF < 3, segundo as Eqs. (6) e (7), a seguir:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \cdot IAF \quad (6)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \cdot IAF \quad (7)$$

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

Para a obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ) foi utilizada a radiancia 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 ( $\epsilon_{NB}$ ) obtida na etapa anterior. Desta forma, obteve-se a temperatura da superfície (K) pela seguinte Eq. (8):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} \cdot K_1}{L_b} + 1\right)} \quad (8)$$

Em que, segundo Chander e Markhan (2003)  $K_1$  e  $K_2$  são constantes de calibração das bandas termais do Landsat 5 TM ( $K_1 = 607,76$  e  $K_2 = 1260,56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) e do

Landsat 8 TIRS (USGS, 2017) (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.

## 2.6. Análise estatística

A análise estatística foi aplicada a todos os pixels que compõem o recorte da bacia analisada. Desta forma, a partir das imagens dos parâmetros biofísicos foram determinados a análise descritiva dos valores de máxima, mínima, média, desvio padrão e coeficiente de variação, realizados pelo software *ERDAS imagine*, a partir do pacote "Statistics Info".

## 3. Resultados e Discussão

Foi analisado o comportamento da precipitação mensal (Fig. 2) com o intuito de identificar os meses chuvosos e secos da bacia. A média de precipitação na bacia é de 55,12 mm/mês, com período chuvoso iniciando em março e estendendo-se até julho, com máximo de 98,55 mm. Os meses mais secos são de agosto a janeiro, sendo o mês de outubro o mais seco com precipitação de 14 mm.

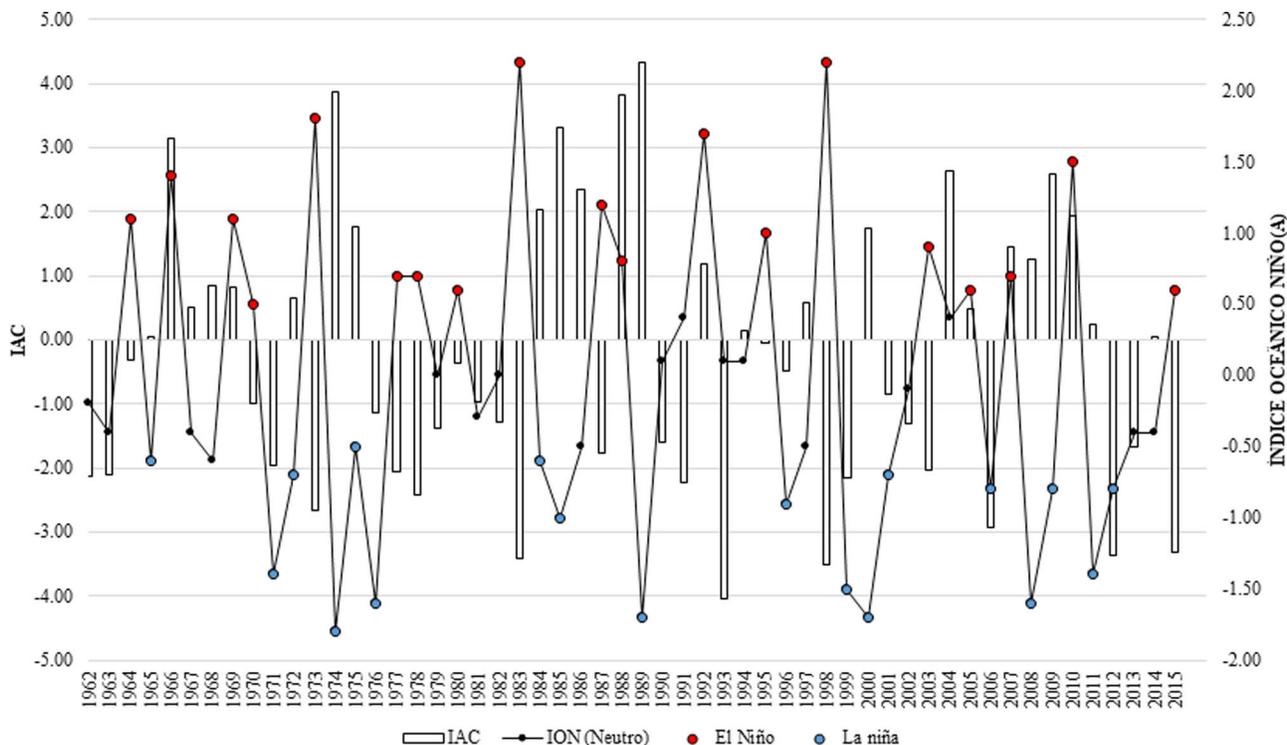
A Fig. 4 ilustra os valores do IAC e ION na bacia hidrográfica do Alto Ipanema, com base na série histórica de 1962 a 2015. Foi possível observar uma grande variabilidade entre os anos secos e chuvosos na série, onde dos 54 anos analisados, 25 anos foram chuvosos (IAC positivos) e 29 anos secos (IAC negativos).

O IAC da bacia hidrográfica apresentou alternâncias entre valores positivos e negativos até o ano de 1975. De 1976 até 1983 houve uma sequência de oito anos com valores de IAC negativos. Também foi possível observar que durante esses oito anos de valores negativos do IAC, houve ocorrência de El Niño de intensidades fracas e fortes nos anos de 1977, 1978, 1980, 1983 com valores de ION (0,7, 0,7, 0,6, 2,2), respectivamente, de acordo com o site NCEP/NOAA (2018). Esses resultados coincidem com a fase positiva do Dipolo do Atlântico.

Foi possível identificar um intervalo chuvoso com interrupção de um ano seco (1987), onde foi observado um El Niño de intensidade forte. Neste intervalo, foi encontrado o único ano extremamente úmido na série, com um valor de IAC igual a 4,34 que foi o ano de 1989. Para este ano, foi verificado a influência da La Niña com valor de ION de -1,7 (intensidade forte), com atuação da fase negativa do Dipolo.

Segundo Ferreira e Mello (2005), a La Niña (resfriamento anômalo das águas do oceano pacífico) associado ao dipolo negativo do Atlântico (favorável às chuvas), é normalmente responsável por anos considerados chuvosos ou muito chuvosos no NEB.

Quando foram analisados os anos secos, apenas o ano de 1993, mostrou-se como extremamente seco com um valor de IAC igual a -4,033, esse ano não sofreu ocorrência do ENOS e nem do Dipolo do Atlântico. Assis



**Figura 4** - Variação do IAC e ION da bacia do Alto Ipanema de 1962-2015.

*et al.*, 2015 analisaram a variabilidade espaço-temporal da precipitação climática no trecho Submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco e perceberam que o ano 1993 foi considerado o mais seco da série histórica, corroborando com os resultados obtidos.

Evidencia-se que o El Niño influenciou em doze anos negativos na série (1964, 1970, 1973, 1977, 1978, 1980, 1983, 1987, 1995, 1998, 2003 e 2015). Enquanto a La Niña influenciou em onze anos positivos da série (1965, 1972, 1974, 1975, 1984, 1985, 1989, 2000, 2008, 2009 e 2011). Analisando o Dipolo, percebeu-se que esse a fase positiva influenciou um total de dezoito anos negativos (1962, 1963, 1970, 1971, 1979, 1980, 1981, 1982, 1990, 1996, 1999, 2001, 2002, 2003, 2006, 2012, 2013, 2014) e a fase negativa atuou em treze anos positivos (1966, 1968, 1969, 1972, 1974, 1975, 1984, 1985, 1986, 1988, 1989, 1992, 1994).

Salgueiro *et al.* (2016) analisaram a relação existente entre os eventos extremos registrados no Nordeste do Brasil, no período de 1943 a 2013, com as anomalias das TSM e os sistemas atmosféricos atuantes na região, e o resultados apontaram que os eventos extremos (secas e chuvas intensas) estão mais associados a influência do Dipolo do Atlântico do que ao ENOS.

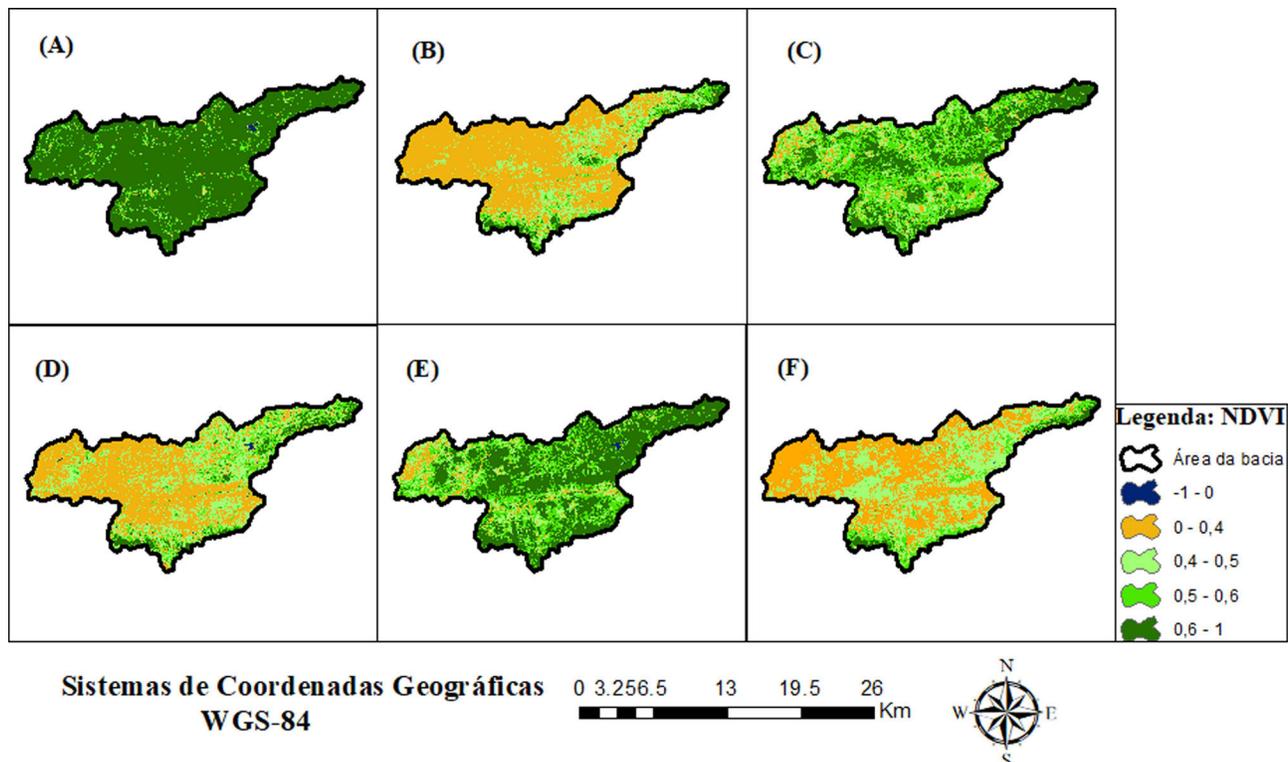
A compreensão das condições hidrometeorológicas, principalmente pluviométrica, é fundamental também para o entendimento do comportamento da vegetação na área de estudo. Para analisar os parâmetros biofísicos, foram avaliadas as chuvas acumuladas de 30 dias que ante-

cederam as imagens de satélite (Tabela 4). Pode-se perceber que houve duas datas com chuva acima da média e quatro abaixo da média. A média está representada em uma linha tracejada em azul (Fig. 3).

O mapa temático do NDVI (Fig. 5) ilustra o caso de 1989, ano que mais choveu antes da passagem do sensor, cerca de 79,6 mm em trinta dias, que é bem acima da média (55,12 mm - Fig. 3) para a região, influenciando na predominância de uma vegetação mais densa e fechada em boa parte da bacia. Nas datas de 06/10/1995, 02/11/2005 e 14/11/2015 ocorreu uma redução significativa nas chuvas, onde apareceu uma grande quantidade de solo exposto, visto que um mês antes da passagem do sensor choveu 3,2, 0 e 0 mm, respectivamente.

Nas datas de 22/10/2001 e 29/09/2010, ocorreu o aparecimento de mais vegetação e menos solo exposto respectivamente. Observou-se a precipitação antecedente estava acima da média para 2001 e para 2010 um pouco baixo da média. Destacando que o caso de 2001 não houve precipitação pluviométrica nos 30 e 45 dias antes da passagem do sensor, apenas acumulou a chuva dos 15 dias. 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.

Mesmo em datas onde ocorreu precipitação anterior, foi observado que a porção noroeste da bacia em todas as



**Figura 5** - Mapa temático da distribuição espacial e temporal do NDVI nas datas: 03/09/1989 (A), 06/10/1995 (B), 22/10/2001 (C), 02/11/2005 (D), 29/09/2010 (E) e 14/11/2015 (F).

datas analisadas, com exceção do caso de 1989, apresentam áreas com solo exposto e que podem ser propícias ao processo de degradação ambiental. Segundo [Figueirêdo \(2014\)](#), esse aumento é devido à escassez das chuvas e o aumento da agricultura e pecuária na bacia, especialmente com ausências de práticas de conservação do solo.

Para o índice SAVI ([Fig. 6](#)) foi empregado a mesma classificação do NDVI. O SAVI como um índice ajustado do NDVI para amenizar os efeitos do solo, exibiu resultados bem similares quando comparado ao NDVI. Essas semelhanças são perceptíveis principalmente na identificação de áreas de solo exposto, corpo hídrico e do tipo de cada vegetação nas imagens geradas e analisadas de acordo com a precipitação acumulada antecedente do sensor.

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.

Analisando o mapa do IAF ([Fig. 7](#)) os maiores valores são apresentados em tonalidades de verde escuro nas áreas bem vegetadas da bacia (intervalos de 4,5 a 6), enquanto que o tom alaranjado indica pouquíssima presença de folhas e o tom azul presença de corpo hídrico. Observa-se que no caso do IAF, que também é um indica-

dor da biomassa da vegetação, anteriormente comportamento é similar ao observado com o NDVI e SAVI.

A precipitação antecedente e fatores antrópicos influenciou no IAF nas três cenas, [Figs. 7\(B\), \(D\) e \(F\)](#) já que nos períodos secos na bacia, a vegetação sofre com a queda das folhas como mecanismo de defesa, consequentemente diminuindo visivelmente a quantidade da biomassa.

Analisando o mapa temático da  $T_s$  ([Fig. 8](#)), foram encontrados os menores valores de  $T_s$  ( $15\text{ }^\circ\text{C}$  a  $22\text{ }^\circ\text{C}$ ) nos corpos hídricos e um intervalo ( $22\text{ }^\circ\text{C}$  a  $37\text{ }^\circ\text{C}$ ) onde possui vegetação. Foi observado que temperatura elevadas ( $37\text{ }^\circ\text{C}$  a  $45\text{ }^\circ\text{C}$ ), tonalidade vermelha, correspondem a solos expostos intensificando a taxa de evaporação da água.

No dia 03/09/1989, prevaleceu a tonalidade azul e verde claro, pois como os índices de vegetação, a precipitação também influencia na  $T_s$  ([Fig. 8](#)). [Gusmão et al. \(2013\)](#) obtiveram temperaturas médias menores que  $21\text{ }^\circ\text{C}$  em corpos d'água, observando, ainda, esse mesmo comportamento para locais com presença da vegetação nativa de maior porte.

Na [Tabela 5](#) constam os valores dos principais parâmetros estatísticos dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) e  $T_s$  envolvidos na área de estudo. Os valores médios do NDVI, SAVI e IAF apresentaram uma grande variação entre as cenas, destacando a imagem do dia 14/11/2015, com os menores valores (0,325), (0,278) e (0,418),

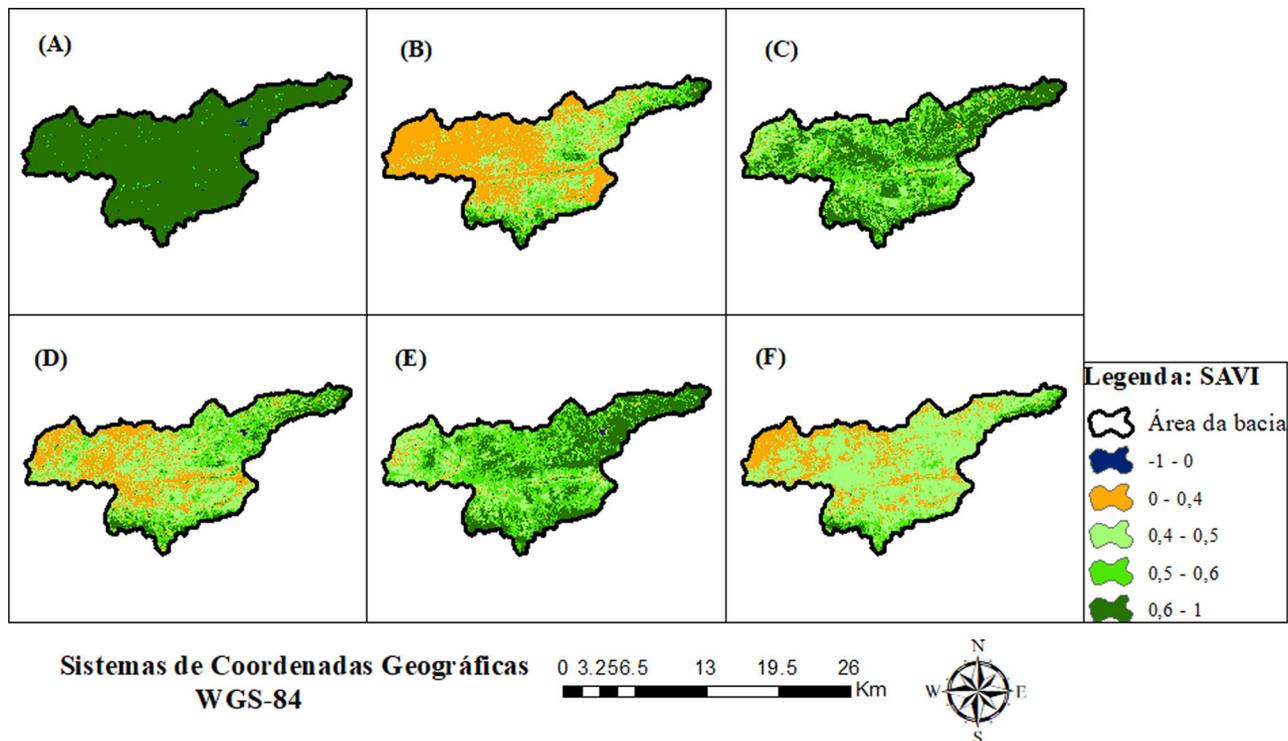


Figura 6 - Mapa temático da distribuição espacial e temporal do SAVI nas datas: 03/09/1989 (A), 06/10/1995 (B), 22/10/2001 (C), 02/11/2005 (D), 29/09/2010 (E) e 14/11/2015 (F).

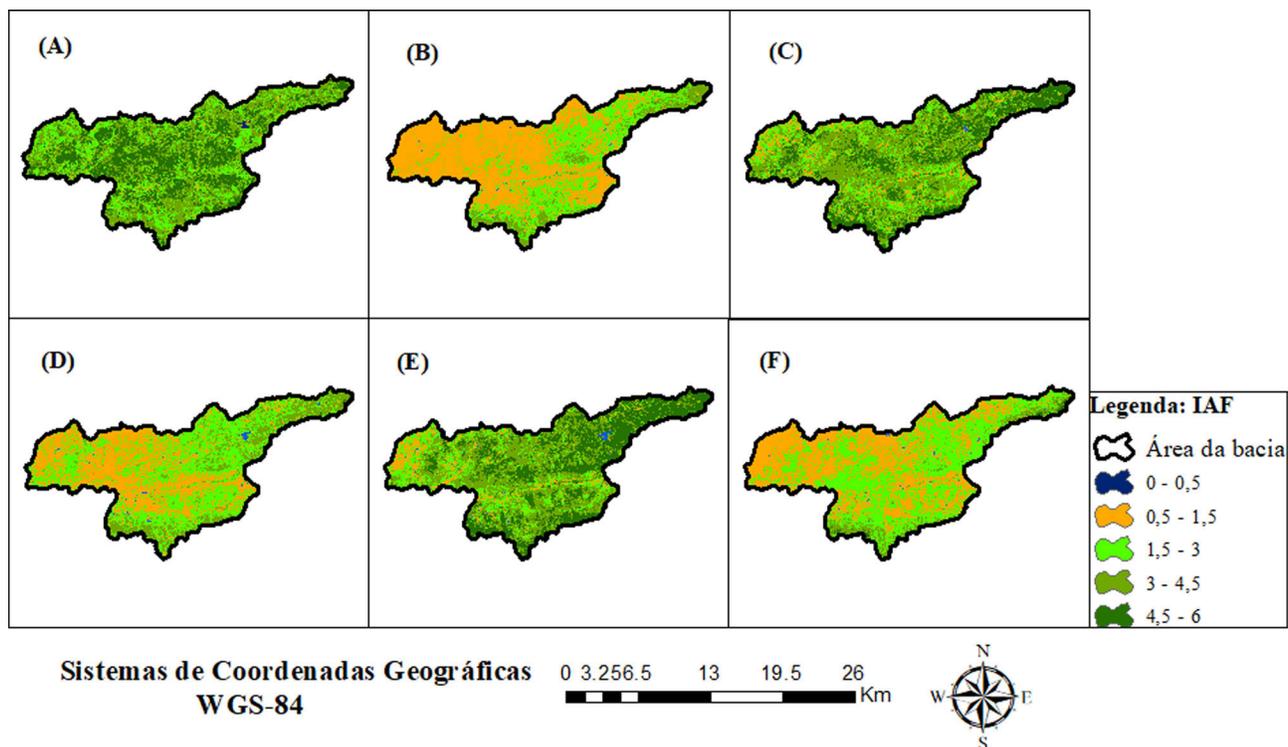
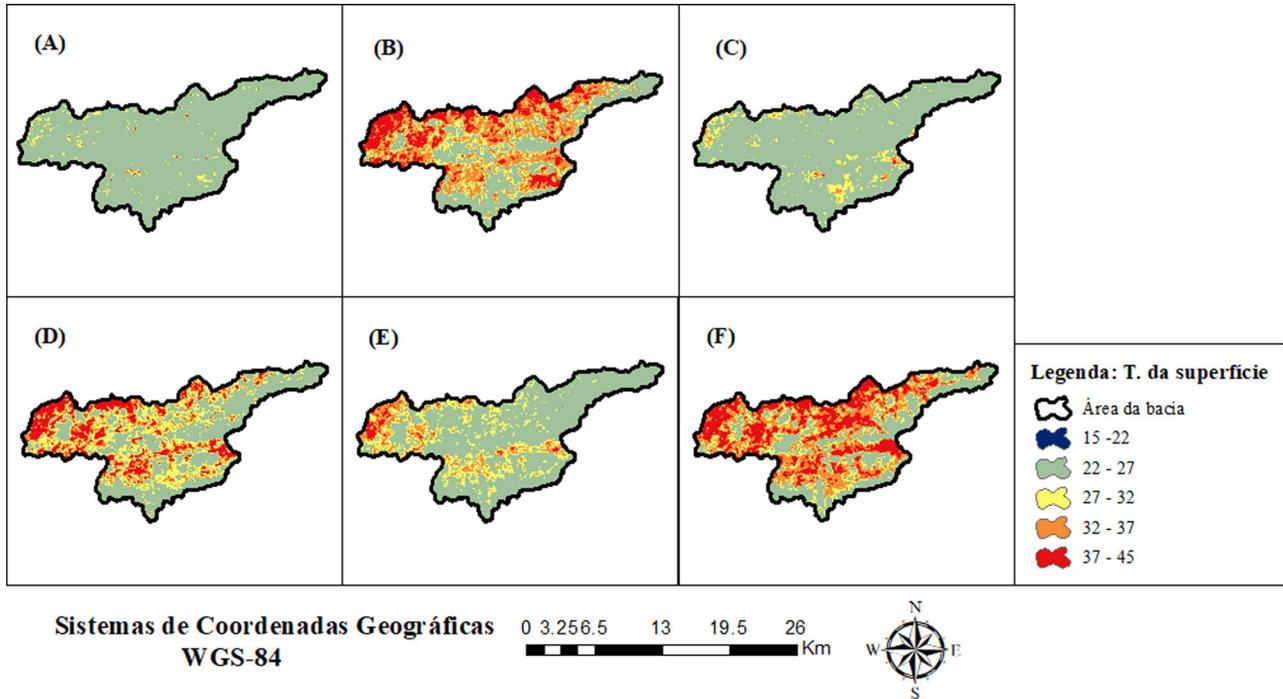


Figura 7 - Mapa temático da distribuição espacial e temporal do IAF nas datas: 03/09/1989 (A), 06/10/1995 (B), 22/10/2001 (C), 02/11/2005 (D), 29/09/2010 (E) e 14/11/2015 (F).



**Figura 8** - Mapa temático da distribuição espacial e temporal da Temperatura da superfície nas datas: 03/09/1989 (A), 06/10/1995 (B), 22/10/2001 (C), 02/11/2005 (D), 29/09/2010 (E) e 14/11/2015 (F).

**Tabela 5** - Valores dos parâmetros estatísticos, máximo (Máx.), mínimo (Mín.), médio, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), obtidos na análise estatística dos mapas dos parâmetros biofísicos.

Datas das imagens	Parâmetros biofísicos	Máx.	Mín.	Médio	DP	CV
03/09/1989	NDVI	0,929	-1	0,737	0,104	0,14
	SAVI	0,84	-0,33	0,634	0,091	0,14
	IAF	6,00	-0,09	3,574	1,880	0,52
	Ts	31,9	20,97	24,8	1,485	0,06
06/10/1995	NDVI	0,84	-0,44	0,386	0,118	0,30
	SAVI	0,78	-0,33	0,319	0,095	0,30
	IAF	6,00	-0,09	0,565	0,415	0,73
	Ts	36,01	20,97	27,08	2,194	0,08
22/10/2001	NDVI	0,86	-0,42	0,558	0,115	0,21
	SAVI	0,78	-0,26	0,472	0,096	0,20
	IAF	6,00	-0,09	1,258	0,741	0,58
	Ts	36,01	20,07	27,08	2,194	0,08
02/11/2005	NDVI	0,85	-0,47	0,420	0,122	0,29
	SAVI	0,78	-0,26	0,353	0,099	0,28
	IAF	6,00	-0,09	0,695	0,511	0,73
	Ts	43,4	22,4	30,53	2,987	0,09
29/09/2010	NDVI	0,86	-0,62	0,592	0,132	0,22
	SAVI	0,78	-0,30	0,487	0,111	0,23
	IAF	6,00	-0,09	1,426	0,907	0,63
	Ts	43,4	22,4	30,53	2,987	0,09
29/09/2015	NDVI	0,78	-0,58	0,325	0,088	0,27
	SAVI	0,72	-0,31	0,278	0,070	0,25
	IAF	6,00	-0,08	0,418	0,245	0,58
	Ts	46,90	27,55	38,93	31,92	0,08

respectivamente; e do dia 03/09/1989 com os maiores valores (0,737), (0,634) e (3,574), respectivamente. Nota-se que quanto maior a média desses índices maior a quantidade de vegetação na bacia e quanto menor for esses valores mais solo exposto é encontrado.

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 Parapanema/SP, encontraram para o SAVI os valores médios de 0,48 (30/01/2014) e 0,338 (11/09/2014), respectivamente.

Para os valores da Ts, observou-se que na data 14/11/2015, observou-se que o valor máximo do pixel (46,90) e o mínimo (27,55), se mostraram bastante elevados em relação as outras datas estudadas. O ano de 2015 também teve a maior média com 38,93 °C, enquanto que o ano de 1989 teve a menor média que foi de 24,8 °C. Oliveira *et al.* (2012) encontraram brusca mudança de classe da Ts entre os dias 10/7/1989 e 29/8/2007, nos valores de 18 °C a 23 °C e 23 °C a 30 °C, respectivamente e, ainda, Ts maior que 30 °C para esse último dia, nos centros urbanos das cidades de Pombos e Vitória de Santo Antão/PE.

#### 4. Conclusão

Foi possível comprovar que o IAC foi importante na avaliação da variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica no semiárido brasileiro, e que a ocorrência e/ou ausência de chuvas sofre interferência da presença dos fenômenos El Niño e La Niña em conjunto ou não das fases positivas e negativas do Dipolo do Atlântico.

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 e que a precipitação influencia na vegetação da bacia com um rápido crescimento da mesma.

#### Referências

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. 380-394, 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.

ALMEIDA, N.V.; CUNHA, S.B.; NASCIMENTO, F.R. A cobertura vegetal e sua importância na análise morfodinâmica na bacia hidrográfica do Rio Taperoá - Nordeste do Brasil/Paraíba. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 365-378, 2012.

ARAGÃO, J.O.R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bull Inst. Fr. Études Andines**, v. 27, n. 3, p. 839-844, 1998.

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.

ASSIS, J.M.O.; SOUZA, W.M.; SOBRAL, M.C. Análise climática da precipitação no submédio da bacia do rio São Francisco a partir do índice de anomalia de chuva. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 36, p. 115-127, 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.

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**, v. 7, n. 2, p. 05-22, 2015.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S.; Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FIGUEIRÊDO, A.C. **Dinâmica de Vegetação e Regime de Precipitação em Bacia Hidrográfica da Região Semiárida de Pernambuco**. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

FREITAS, M.A.S.; Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semiáridas. **Revista Tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 19-30, 1998.

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.

IBGE. **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

LIMA, G.C.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; SILVA, M.A.; OLIVEIRA, A.H.; AVANZI, J.C.; UMMUS, M.E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Revista Ambi-Agua**, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013.

MARCUZZO, F.F.N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28 n. 4, p. 429-440, 2013.

MELO, E.T.; SALES, M.C.L.; OLIVEIRA, J.G.B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús - CE. **RA'EGA**, n. 23, p. 520-533, 2011.

- MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **J. Atmos. Sci.**, v. 38, p. 2653-2675, 1981.
- NOAA/NCEP. Cold & Warm Episodes by Season. **El Niño / Southern Oscillation (ENSO)**. Disponível em: [http://origins.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring](http://origins.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring). Acesso em 20 de janeiro de 2018.
- OLIVEIRA, L.M.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ANTONINO, A.C.D.; SILVAB. B.; MACHADO, C.C.C.; GALVÍN-CIO, 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.
- PEREIRA, E.R.R. **Índices Pluviométricos na Análise da Intensidade e Variabilidade Regional das Chuvas no Nordeste do Brasil**. 2014. 100f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.
- PHILANDER, S.G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. Academic Press: San Diego, 2005, 311p.
- 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, 2016.
- RODRIGUES, L.O.; SOUZA, W.M.; COSTA, V.S.O.; PEREIRA, M.L.T. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1995-2009, 2017.
- ROOY, M.P.V. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. **Notes**, v. 14, 1965.
- ROSENDO, J.S. **Índices de Vegetação e Monitoramento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis**. Dissertação de Mestrado em Geografia e Gestão do Território, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005, 130 p.
- SALGUEIRO, J.H.P.B.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; PINTO, E.J.A.; SILVA, B.B.; SOUZA, W.M.; OLIVEIRA, L.M.M. Influence of oceanic-atmospheric interactions on extreme events of daily rainfall in the Sub-basin 39 located in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 4, p. 685-693, 2016.
- SANTOS, E.C.; 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 irrigadas. **Revista Irriga & Inovare**, Edição Especial, p. 30-36, 2015.
- 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**, v. 15, n. 10, p. 1073-1081, 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, n. 9, p. 921-931, 2010.
- 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, p. 13-27, 2015.
- SURFACE ENERGY BALANCE ALGORITHMS FOR LAND (SEBAL). **Advanced Training and Users Manual - Version 1.0**. 2002.
- USGS (United States Geological Survey). **EarthExplorer**. Disponível online em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acessado em 01 de dezembro de 2017.
- VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.; FRANCO, R.A.M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Corrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 55-64, 2010.
- VILAÇA, M.F.; GOMES, I.; MACHADO, M.L.; VIEIRA, E.M.; SIMÃO, M.L.R. **Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso do ribeirão Conquista no município de Itaguara/MG**. UFV: Viçosa, 2009.