



Periódico da Universidade Vale do Rio Verde

ISSN: 2526-690X  
Edição Especial | II SBHSF | 2018



**Daniella Pereira dos Santos**

Doutoranda. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/PGEA,  
daniellapsantos@hotmail.com

**Abelardo Antônio de Assunção Montenegro**

Doutor. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/PGEA  
montenegro.ufrpe@gmail.com

**Célia Silva dos Santos**

Doutoranda Universidade Federal Rural de Pernambuco UFRPE/PGEA  
celia@agro.eng.br

**Diêgo César dos Santos Araújo**

Doutorando, Universidade Federal Rural de Pernambuco UFRPE/PGEA,  
diego@agro.eng.br

**Márcio Aurélio Lins dos Santos**

Doutor/ Universidade Federal Rural de Pernambuco UFRPE/PGEA  
mal.santos@hotmail.com

## DINÂMICA DE VEGETAÇÃO, BALANÇO CLIMATOLÓGICO, ÍNDICES CLIMÁTICOS, NA SUB-BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

**Resumo:** O conhecimento das condições reais de uma dada bacia hidrográfica é de grande valor para o planejamento agrícola adequado. O objetivo foi realizar a análise espaço-temporal detalhada da dinâmica de vegetação, balanço climatológico e índices climáticos na sub-bacia do rio São Francisco. Uma imagem do satélite da Terra (NASA) foi utilizada na data de passagem de 06 a 13 de setembro de 2015 que abrange a área de estudo: bacia do rio Piauí, localizada no semi-árido brasileiro de Alagoas. A imagem foi processada pelo software MODIS13A3. Os dados meteorológicos foram coletados de uma estação automática pertencente ao INMET. Os parâmetros biofísicos foram: NDVI, EVI e temperatura superficial (Ts). O balanço hídrico climático mensal foi estimado pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) e os resultados obtidos foram as classificações climáticas e os índices climáticos. Os índices de vegetação NDVI e EVI são os mais expressivos na bacia da bacia, o que favorece o maior vigor das plantas, principalmente nas estações mais chuvosas. Os dados de temperatura apresentaram valores maiores em áreas menos vegetadas. Há pronunciada deficiência hídrica na bacia do rio Piauí em praticamente todos os meses do ano, e o período de excedente hídrico ocorre apenas nos meses de junho a julho. O nível de suscetibilidade ao risco de desertificação na bacia do rio Piauí é considerado moderado, seguido pela classificação climática para a área de estudo como subúmido seco, dando origem a um tipo climático semi-árido.

**Palavras-chave:** Mudanças ambientais. Capacidade de água disponível. Aridez.

## VEGETATION DYNAMICS, CLIMATOLOGICAL BALANCE AND INDICES CLIMATE IN SUB-BASIN OF RIO SÃO FRANCISCO

**Abstract:** Knowledge of the actual conditions of a given river basin is of great value for proper agricultural planning. The objective was to perform the detailed spatial-temporal analysis of vegetation dynamics, climatological balance and climatic indexes in the sub-basin of the São Francisco River. An image of the Earth satellite (NASA) was used on the date of passage 06 to 13 of September of 2015 that covers the area of study: Piauí river basin, located in the Brazilian semi-arid of Alagoas. The image was processed by the

MODIS13A3 software. The meteorological data were collected from an automatic station belonging to INMET. The biophysical parameters were: NDVI, EVI and surface temperature (Ts). The monthly climatic water balance was estimated by the method proposed by Thornthwaite and Mather (1955) and the results were obtained the climatic classifications and climatic indexes. The NDVI and EVI vegetation indexes are the most expressive in the basin of the basin, which favors greater plant vigor, especially in the rainier seasons. The temperature data presented higher values in less vegetated areas. There is pronounced water deficiency in the Piauí river basin in practically all the months of the year, and the water surplus period occurs only in the months of June to July. The level of susceptibility to the risk of desertification in the Piauí river basin is considered to be moderate followed by the climatic classification for the study area as dry subsumed, giving rise to a semiarid climatic type.

**Keywords:** Environmental changes. Available water capacity. Aridity.

## INTRODUÇÃO

Os processos de mudanças da cobertura e uso da terra são parte das discussões globais sobre o meio ambiente, há algumas décadas. Os sistemas terrestres respondem às alterações antrópicas, causando mudanças em seus ciclos que, em resposta, vão afetar as atividades humanas (Liana e Shimabukuro, 2007).

Técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas em estudos temporais de análise das mudanças da cobertura e uso do solo (Gómez *et al.*, 2011; Foody, 2010). Atualmente, existem diversos sensores remotos com resoluções espaciais, temporais e espectrais

diferentes que vêm sendo utilizados para a compreensão desses processos (Amiri *et al.*, 2009; Carreiras *et al.*, 2006). Nessas aplicações o principal interesse é compreender as mudanças ocorridas na paisagem ao longo do tempo.

A precipitação é uma das principais forças motrizes para a disponibilidade de biomassa em áreas secas e por isso altamente correlacionada com a cobertura vegetal. Por reunir esta característica, o semiárido é um indicador sensível das alterações climáticas (Brinkmann *et al.*, 2011). Mudanças no regime pluviométrico podem interferir diretamente na resposta da cobertura vegetal e, conseqüentemente, nos componentes do ciclo hidrológico. Em

ambientes semiáridos a análise da cobertura vegetal é complexa face ao alto grau de variabilidade interanual da precipitação. Mudanças detectadas nas propriedades físicas da superfície

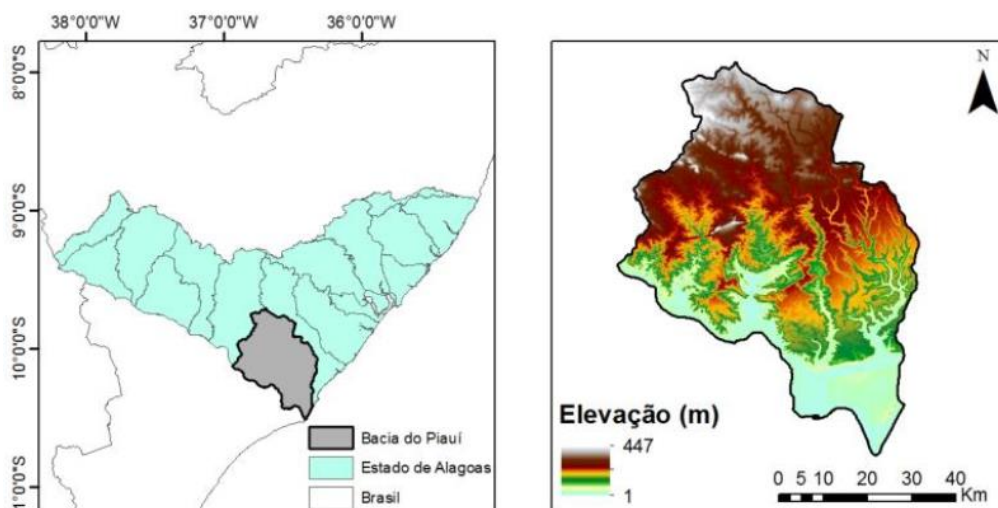
## MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A Bacia hidrográfica do Rio Piauí situa-se na região sul do Estado de Alagoas

(Figura 1) sendo afluente da margem esquerda do Rio São Francisco. Esta área limita-se ao norte com a bacia do rio Coruripe, no estado de Alagoas; ao sul com o rio São Francisco, na divisa com o estado de Sergipe; a oeste com a bacia do rio Perucaba, ambos afluentes de um importante ecossistema de Alagoas, a Várzea da Marituba; e a leste faz fronteira com algumas pequenas bacias litorâneas.

**Figura 1** - Localização da bacia hidrográfica do rio Piauí - AL



Está compreendida entre as coordenadas extremas  $36^{\circ} 45'$  e  $36^{\circ} 15'$  de latitude Sul, e  $10^{\circ} 30'$  de  $09^{\circ} 30'$  longitude W. Possui uma área total de  $1.100 \text{ km}^2$ , envolvendo um total de 10 municípios, Arapiraca, Limoeiro de Anadia, Junqueiro, São Sebastião, Igreja Nova, Penedo, Teotônio Vilela, Coruripe, Feliz Deserto e Piaçabuçu. Sua

foz, perto de Marituba, encontra o Rio São Francisco em seu último trecho antes do encontro deste com o Oceano Atlântico.

Do município de Coruripe, o Rio Piauí recebe os riachos da Lagoa, Imbuí, Água dos Meninos e Camondongo. Os riachos João Velho e Marituba, que drenam o município de Penedo, se juntam

aos anteriores para conformar o grupo dos principais tributários do Piauí.

Essa bacia apresenta três climas predominantes: Litoral Úmido, Agreste e Semiárido, este último apenas em sua porção noroeste, a qual se insere no Polígono das Secas. A temperatura média anual se situa em torno dos 24,5 °C. A precipitação média anual é de 1.200 mm, com bastante variação atingindo, próximo ao litoral, 2.000 mm e, na região do Polígono das Secas, menos de 800 mm. As precipitações ocorrem no período de fevereiro a setembro, com variações dentro deste período de acordo com a região da bacia, concentrando-se, na sua maioria, no intervalo dos meses de março a julho (Sergipe, 2004).

#### Caracterização hidrográfica

A região em estudo é a bacia hidrográfica do rio Piauí, afluente ao rio São Francisco. A área de drenagem da região está totalmente inserida no estado de Alagoas, totalizando aproximadamente 1.100 km<sup>2</sup>. O rio Piauí com 130 km de extensão, nasce nas proximidades do município de Arapiraca, em Alagoas, a uma altitude de aproximadamente 260 m. Nos seus 80 km de extensão iniciais, este rio tem seu curso orientado no sentido sudeste infletindo, neste ponto, para o

sentido sudoeste até sua confluência com o rio São Francisco. As declividades mais acentuadas ocorrem no trecho inicial com um desnível de 55 m em 9 km de extensão.

Neste estudo hidrológico, a bacia em estudo foi dividida em 3 sub-bacias, as quais são:

Sub-bacia PIAUÍ 1 – rio Piauí, próximo ao povoado Bananeiras; Sub-bacia PIAUÍ 2 – rio Piauí, próximo ao povoado Pindorama; Sub-bacia PIAUÍ 3 – rio Piauí, próximo à afluência ao rio São Francisco.

#### Índices de vegetação

Os índices de vegetação NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) e EVI (Índice de Vegetação Melhorado) foram obtidos a partir do produto MOD13A3, do sensor Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer – MODIS, a bordo do satélite Terra (NASA), com resolução espacial de 500 m, em composição referente à média dos dias 06 a 13 de setembro de 2015. Para a temperatura de superfície, os dados foram derivados do produto MOD11A2, também para o mesmo período, com resolução espacial de 1 km.

O EVI é um índice mais aprimorado em comparação ao NDVI, com maior redução de influências

atmosféricas e do solo. Vale destacar que, enquanto o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção de luz, o EVI apresenta maior sensibilidade a variações no dossel vegetal. Por isso, indica-se a análise dos dois índices em conjunto.

Balanço hídrico mensal climatológico

O BHC foi obtido pelo método de Thornthwaite; Mather (1955), assumindo uma capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100 mm (diretamente relacionado à vegetação semidecidual característica). Foram considerados, os dados médios mensais de precipitação e a temperatura média mensal, para tanto, não foram realizados procedimentos para preenchimentos de falhas nas bases de dados. Em seguida, calculou-se a evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Thornthwaite, seguindo as considerações realizadas por Pereira et al. (1997). Inicialmente, calculou-se a evapotranspiração potencial padrão (ETPp, mm/mês) pelas equações empíricas (1,2):

Quando:  $0 < T_n < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$ETP_p = 16 \times \left(10 \frac{T_n}{I}\right)^a \quad (1)$$

Quando:  $T_n \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$ETP_p = -415,85 + 32,24 T_n - 0,43 \quad (2)$$

Em que:  $T_n$  - temperatura média do mês  $n$ , em  $^\circ\text{C}$ ; e  $I$  é um índice que expressa o nível de calor da região. O subscrito  $n$  representa o mês, ou seja,  $n=1$  é janeiro;  $n=2$  é fevereiro; etc.

O valor de  $I$  depende do ritmo anual da temperatura, integrando o efeito térmico de cada mês, sendo calculado pela equação

$$I = 12 \times (0,2 \times \dots) 1,514 \quad (3)$$

Em que:  $T_a$  - temperatura média anual normal.

O expoente “ $a$ ”, sendo uma função de  $I$ , também é um índice térmico regional, e é calculado pela equação (4):

$$a = 0,49239 + 1,7912 \times 10^{-2} \times I - 7,71 \times 10^{-5} \times 2 + 6,75 \times 10^{-7} \times I \quad (4)$$

### Índice de aridez

Elaborado por Thornthwaite (1948) e ajustado posteriormente por Penman (1953), este índice pode ser calculado pela equação:

$$I_a = \frac{Pr}{ETP} \quad (5)$$

em que,  $I_a$  - representa o índice de aridez,  $Pr$  - corresponde à precipitação hídrica anual e  $ETP$  à evapotranspiração potencial anual (mm).

A partir do cálculo do índice de aridez para a estação selecionada foi

determinada a susceptibilidade à desertificação (Tabela 1).

Foi determinada a classificação climática para bacia do rio Piauí (Tabela

2) segundo metodologia do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP,1992).

**Tabela 1** - Classificação quanto ao nível de susceptibilidade à desertificação com o auxílio do uso do Índice de Aridez, Matallo Júnior (2001)

Níveis de susceptibilidade à desertificação	Índice de Aridez
Moderada	0,51<IA<0,65
Alta	0,21<IA<0,50
Muito Alta	0,05<IA<0,20

**Tabela 2** - Classificação climática com o auxílio do uso do IA, UNEP, 1992

Classificação climática	Índice de Aridez
Subúmido e Úmido	IA ≥ 0,65
Subúmido seco	0,51 ≤ IA ≤ 0,65
Semiárido	0,21 ≤ IA ≤ 0,5
Árido	0,05 ≤ IA ≤ 0,20
Hiperárido	IA ≤ 0,05

Utilizando os índices de aridez (equação 5), índice hídrico (equação 6) e o índice úmido (equação 7), foi avaliado para bacia do Piauí-AL, o tipo de clima segundo a classificação de Thornthwaite (1948) conforme (Tabela 3).

$$I_h = \frac{EXC}{ET_p} \times 100 \quad (5)$$

$$I_u = I_h - 0,6 \times I_a \quad (6)$$

Em que: I<sub>h</sub>: índice hídrico, I<sub>u</sub>: índice de umidade; EXC: excedente hídrico oriundo do balanço hídrico climatológico BHC (mm); ET<sub>p</sub>: evapotranspiração de referência ou potencial (mm).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices de vegetação NDVI e EVI (Figura 1A, B) são os mais expressivos na faixa litorânea da bacia, que está associada a menores altitudes, relevo menos acidentado e maior precipitação pluviométrica, que favorece maior vigor vegetal, especialmente nas estações mais chuvosas. No mês de setembro, referente à obtenção dos produtos MODIS, a precipitação acumulada foi de 29 mm, inferior a junho e julho, que foram os meses mais chuvosos (224,8 e 132,6 mm). Ainda assim, nota-se grande vigor vegetal em virtude das chuvas antecedentes.

Nota-se a tendência de os índices NDVI e EVI diminuírem com o aumento da elevação, resultado similar ao encontrado por Saksa *et al.* (2017) em uma bacia da Califórnia (EUA), também com grande variação de declividade. Esse padrão pode estar associado à própria topografia da bacia, com maior presença de rochas e solos menos profundos nas porções mais altas.

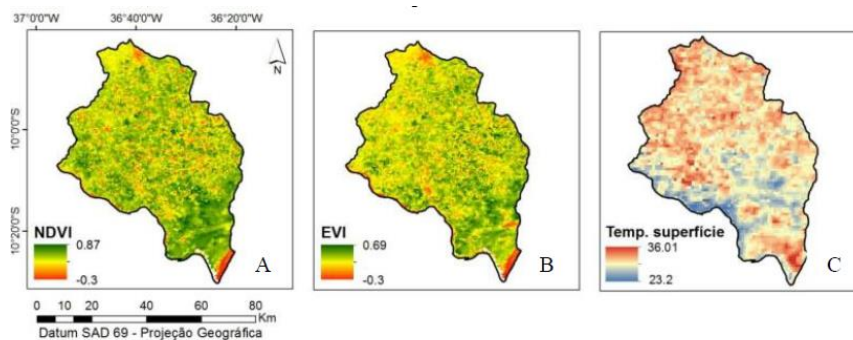
É comum o EVI ser menor que o NDVI (She *et al.*, 2015), visto que no seu processamento são desconsideradas as

influências da atmosfera e do solo, que podem levar à superestimativa dos valores. Desta forma, esse índice representa de forma mais precisa a condição do dossel vegetal. Os valores médios foram inferiores aos registrados por Oliveira *et al.* (2012) em estudo realizado em bacia no estado de Pernambuco. No entanto, os autores utilizaram dados de meses mais chuvosos (> 100 mm), e com precipitação mais expressiva nos meses antecedentes (> 200 mm), o que levou a altos valores de EVI em toda a bacia.

**Tabela 3** - Tipos climáticos, baseados no índice de umidade, segundo Thornthwaite (1948)

Tipos climáticos	Índice de umidade
A – super-úmido	$100 \leq Iu$
B4 – úmido	$80 \leq Iu < 100$
B3 – úmido	$60 \leq Iu < 80$
B2 – úmido	$40 \leq Iu < 60$
B1 – úmido	$20 \leq Iu < 40$
C2 – sub-úmido	$00 \leq Iu < 20$
C1 – sub-úmido seco	$-20 \leq Iu < 00$
D-semiárido	$-40 \leq Iu < -20$
E-árido	$-60 \leq Iu < -40$

**Figura 2** - Mapas temáticos da distribuição do NDVI, EVI e da temperatura da superfície (°C) na Bacia Hidrográfica do Rio Piauí-AL no dia de passagem do satélite Terra de setembro de 2015



Os dados de temperatura de superfície (Figura 1C), de modo geral, seguiram distribuição inversa àquela presenciada nos índices de vegetação, com maiores temperaturas em áreas menos vegetadas. Esse padrão, já confirmado em vários estudos (Oliveira *et al.*, 2012; Lins *et al.*, 2017), é esperado em estudos de avaliação de parâmetros biofísicos, especialmente em áreas de solo exposto ou

povoadas, devido às próprias características reflexivas dessas superfícies. Observando a Figura 2C, as temperaturas variaram entre 23,2 a 36,01 °C, esses valores estão em conformidade com os dados mensais da estação vistos na Tabela 4, em que a média para o mês de setembro, mesma data da imagem, foi de 25,1°C, confirmando esses valores.

**Tabela 4** - Dados mensais e extrato das variáveis do balanço climatológico (em mm) para o ano de 2015 na Bacia do Piauí-AL

Mês	TEMP	P	ETP	P-ETP	ALT	DEF	EXC
JAN	27.32	4.2	162.76	-158.56	-0.63	-157.93	0.0
FEB	27.46	25.6	148.11	-122.51	-0.11	-122.39	0.0
MAR	27.35	81.2	158.68	-77.48	-0.03	-77.45	0.0
APR	28.17	13.6	166.85	-153.25	-0.02	-153.23	0.0
MAY	26.52	58.8	135.50	-76.70	0.00	-76.70	0.0
JUN	24.24	224.8	93.19	131.61	100.00	0.00	31.6
JUL	23.59	132.6	87.06	45.54	0.00	0.00	45.5
AUG	23.46	50.8	86.33	-35.53	-29.90	-5.63	0.0
SEP	25.10	29	108.98	-79.98	-38.59	-41.39	0.0
OCT	25.81	27.8	127.51	-99.71	-19.88	-79.83	0.0
NOV	27.66	4.8	162.13	-157.33	9.21	-148.12	0,0
DEC	27.31	50.4	162.29	-111.89	-1.62	-110.26	0.0
ANUAL	-	- 703.60	1599.38	-895.78	0.00	972.92	77.15

Os resultados do balanço hídrico climatológico podem ser visualizados na Tabela 4, onde verifica-se que a média anual de precipitação atinge valores de 703,60 mm, com um período de maior precipitação entre os meses de junho a julho, concentrando acima de 50% da chuva

anual nestes meses. Verifica-se um déficit hídrico anual de 972,92 mm, distribuído ao longo do período entre janeiro a abril e agosto a dezembro (Figura 3A).

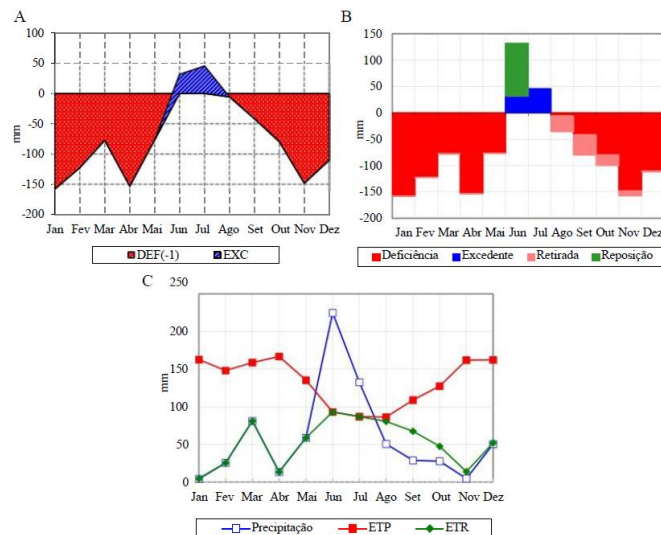
A figura 3B representa os componentes do balanço hídrico (déficit e excedente hídrico, reposição e retirada da



água do solo) observados no período de 2015. Nota-se, entre junho a julho, excedente hídrico e reposição, o que, certamente, se deve à estimativa diária do balanço hídrico, além da concentração das chuvas. Nos meses de agosto a dezembro ocorreu claramente deficiência hídrica e retirada o que pode ser explicado devido a demanda diária de água das plantas ( $T_e$ ),

que, muitas vezes, é superior à transpiração real da cultura ( $T_r$ ), gerando o déficit hídrico. Com isso, pode ser que ocorram altas precipitações em um dia, fazendo com que a CAD seja alcançada e gere grandes excedentes hídricos, mas no dia seguinte, as retiradas de água voltam a ocorrer.

**Figura 3** - Extrato do balanço hídrico mensal, deficiência, excedente, retirada e reposição, precipitação e evapotranspiração potencial e real da Bacia do Piauí-AL em 2015



Notam-se também na Figura 3C, claramente a contribuição da precipitação entre os meses de junho e julho e o decréscimo da evapotranspiração potencial e real nesse período, evidenciando a influências das taxas evapotransperimétricas no balanço hídrico climatológico.

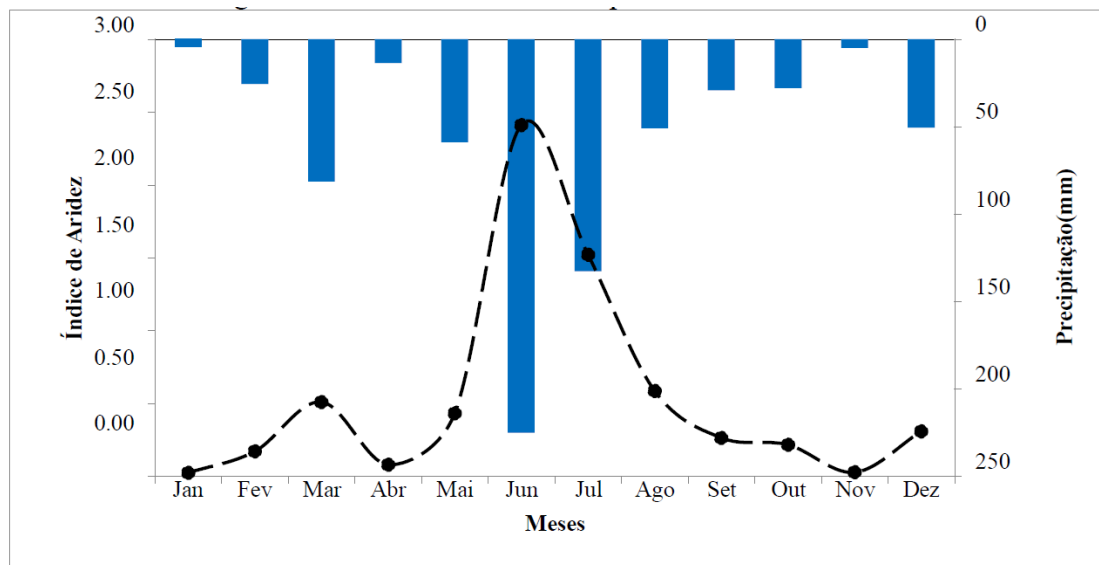
Na Figura 4 está disposto o índice de aridez mensal na bacia e a precipitação

da estação meteorológica em Arapiraca. Observa-se que os maiores valores encontrados para este índice foram nos meses em que houve maior precipitação na bacia, meses de junho (2,41) e julho (1,52), representando uma média anual para esse índice de 0,55 e classificando como moderado o nível de susceptibilidade à desertificação (Tabela 1).

Contudo, no resultado da estação meteorológica em Arapiraca-AL, foi possível observar a variação mensal do índice de aridez e de acordo com a média anual a região obteve região de classificação climática subúmido seco (Tabela 2). Lopes *et al.* 2017, trabalhando

no mesmo estado em estudo, encontrou valores próximos a deste estudo, sendo a classificação climática subúmido úmido ( $0,65 \leq IA \leq 1,00$ ).

**Figura 4 - Índice de aridez anual para bacia do Piauí-AL**



De acordo com método de Thornthwaite (1948), baseado no índice de umidade (Iu), o tipo climático da região é semiárido (Tabela 3). Segundo documento do Ministério da Integração Nacional (2005), a região em estudo está incluída na região do semiárido brasileiro, corroborando com estes resultados.

## CONCLUSÕES

1. Os índices de vegetação NDVI e EVI são os mais expressivos na faixa litorânea da bacia, que está associada a menores altitudes, relevo menos acidentado e maior precipitação pluviométrica, que favorece maior vigor vegetal, especialmente nas estações mais chuvosas. Em contrapartida os dados de temperatura de superfície, seguiram distribuição inversa àquela presenciada nos índices de vegetação, com maiores temperaturas em áreas menos vegetadas.

2. Existe deficiência hídrica pronunciada na bacia do rio Piauí em praticamente todos os meses do ano, sendo que o período de excedente hídrico ocorre apenas nos meses de junho a julho.

3. O nível de suscetibilidade quanto ao risco de desertificação na bacia do rio Piauí é considerado como moderado seguido da classificação climática para área de estudo como subsumido seco, originando um tipo climático semiárido.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J. J. A.; SILVA, M. C.; SILVA, S. V. Indicadores Climáticos das Áreas de Desertificação nos Cariris Velhos da Paraíba. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v.1, n.5, p.585-597, 2012.
- AMIRI, R.; WENG, Q.; ALIMOHAMMADI, A.; ALAVIPANAH, S. K. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.2606-2617, 2009.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. Classificação climática e regionalização do semiárido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n.2, p.143-151, 2005.
- BRADLEY, B. A.; MUSTARD, J. F. Identifying land cover variability distinct from land coverchange: Cheatgrass in the Great Basin. **Remote Sensing of Environment**, v.94, p.204-213, 2005.
- BRINKMANN, K.; DICKHOEFER, U.; SCHLECHT, E.; BUERKERT, A. Quantification of aboveground rangeland productivity and anthropogenic degradation on the Arabian Peninsula using Landsat imagery and field inventory data. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.465-474, 2011.
- CARREIRAS, J. M. B.; PEREIRA, J. M. C.; CAMPAGNOLO, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Assessing the extent of agriculture/pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using Spot Vegetation data. **Remote Sensing of Environment**, v.101, p.283-298, 2006.
- FOODY, G. M. Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.2271-2285, 2010.
- GALVÃO, A. C. F.; RODRIGUES, R. F. G. **Ministério da Integração Nacional**. Grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semiárido nordestino e do polígono das secas, 2005, 117 p.
- GÓMEZ, C.; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Characterizing the state and processes of change in a dynamic forest environment using hierarchical spatio-temporal segmentation. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.1665-1679, 2011.
- LIANA, A. O.; SHIMABUKURO, Y. E. **Monitoramento da cobertura terrestre: fenologia e alterações antrópicas**. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukur, Y. E.; Ceballos, J. C. (ed.) O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil. São José dos Campos: Silva Vieira, 2007. Cap. 14, 2007 p.185-205.

- LINS, F. A. C.; ARAÚJO, D. C. S.; SILVA, J. L. B.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **Irriga**, Ed. Especial, Irriga & Innovagri, p.65-75, 2017.
- 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, n.11, p.155-172, 2015.
- MATALLO JÚNIOR, H. Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas. – Brasília: UNESCO, 2001.
- 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. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, n.9, p.1209-1217, 2012.
- PENMAN, H. L. The physical bases of irrigation control. In: Hort. Congr., 2, London, Royal Horticultural Society, 1953, p.913-924. 1110 p.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- SAKSA, P.; SAFEEQ, M.; DYMOND, S. Recent Patterns in Climate, Vegetation, and Forest Water Use in California Montane Watersheds. **Forests**, v. 8, n. 278, p. 2-16, 2017.
- SHE, X.; ZHANG, L.; CEN, Y.; WU, T.; HUANG, C.; ALI BAIG, M. H. Comparison of the Continuity of Vegetation Indices Derived from Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ Data among Different Vegetation Types. **Remote sensing**, v. 7, p. 13485-13506, 2015.
- SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. **Superintendência de Recursos Hídricos**. Atlas digital sobre recursos hídricos. Aracaju: SEPLANTEC/SRH, 2004.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance: publications in climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.
- THORNTWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate, **Geographical Review**, New York, n. 1, p. 55-94, 1948.
- UNEP. United Nations Environment Programme. **World Atlas of Desertification**. Londres: UNEP/Edward Arnold, 1992. 69 p.