

Efeitos da seca na vegetação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - Pernambuco

Reginaldo Lourenço Pereira Júnior*, Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel**, Josiclêda Domiciano Galvínio***

* Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente; Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Av. Professor Moraes Rego, s/n. Cidade Universitária, Recife – PE - Brasil. Email: reginaldolpjunior@outlook.com (Corresponding author)

** Professora Titular do Departamento de Biologia/Botânica; Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE.

***Professora Titular do Departamento de Ciências Geográficas; Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Received 28 March; accepted 10 April

RESUMO

A vegetação necessita de água para o desenvolvimento de suas funções fisiológicas. Neste contexto, o estudo investigou a influência de eventos de secas na vegetação da bacia do Riacho do Pontal. Com o uso do Sistema de Unidades de resposta hidrológica para Pernambuco (SUPER), as variáveis SW_END (Conteúdo de água em mm na HRU), LAI (Índice de área foliar) e BIOM (Biomassa vegetal total) foram obtidas. Os valores de SW_END foram utilizados para cálculo do Índice Padronizado de Umidade do Solo (SSMI) e entendimento da dinâmica da seca. Imagens do satélite Landsat 8 foram utilizadas para cálculo do NDVI. Os valores do SSMI das diferentes escalas de tempo foram correlacionados com os valores de LAI, biomassa e NDVI utilizando a correlação de Pearson e a análise de componentes principais. Com relação a dinâmica da seca, os locais apresentaram uma alta ocorrência de meses com seca em todas as escalas, com dominância de meses com seca fraca nas escalas de um, três meses e 12 meses e de seca severa na escala de seis meses. As médias do NDVI variaram entre 0,29 e 0,66. O LAI e a biomassa apresentaram médias entre 0,14 e 0,58 e entre 0,27 e 4,58, respectivamente. Os valores das características da vegetação apresentaram médias maiores nas HRUs de lavouras perenes. Os resultados da correlação e da análise de componentes principais mostraram que a biomassa, o LAI e o NDVI apresentaram uma correlação positiva predominantemente com as escalas de seis e 12 meses. Neste contexto, a dinâmica da vegetação pode ser influenciada por eventos de seca.

Palavras-chave: Biomassa, Caatinga, Índice de Área Foliar, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, Índice Padronizado de Umidade do Solo.

Effects of drought on vegetation in the Riacho do Pontal basin – Pernambuco

ABSTRACT

Vegetation depends on water for the development of its physiological functions. In this context, the study investigated the influence of drought events on the vegetation of the Riacho do Pontal basin. Using the Hydrological Response Units System for Pernambuco (SUPER), the variables SW_END (Water content in mm in the HRU), LAI (Leaf area index) and BIOM (Total plant biomass) were obtained. SW_END values were used to calculate the Standardized Soil Moisture Index (SSMI) and understand drought dynamics. Images from the Landsat 8 satellite were used to calculate the NDVI. The SSMI values from the different time scales were correlated with the LAI, Biomass and NDVI values using Pearson's correlation and principal component analysis. Regarding drought dynamics, the sites showed a high occurrence of months with drought on all scales, with a dominance of months with weak drought on the 1-, 3- and 12-month scales and severe drought on the 6-month scale. NDVI averages ranged from 0.29 to 0.66. LAI and biomass averaged between 0.14 and 0.58 and between 0.27 and 4.58, respectively. The values of the vegetation characteristics showed higher averages in the HRUs of perennial crops. The results of the correlation and principal component analysis showed that biomass, LAI and NDVI were predominantly positively correlated at the 6-month and 12-month scales. In this context, vegetation dynamics can be influenced by drought events.

Keywords: Biomass, Caatinga, Leaf Area Index, Normalized Difference Vegetation Index, Standardized Soil Moisture Index.

1. Introdução

As bacias hidrográficas podem ser objeto de estudo para entendimento dos componentes do balanço hídrico, do movimento da água e dos efeitos das alterações no uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos (Sousa et al., 2018; Viana et al., 2018). As bacias hidrográficas fornecem água para diferentes tipos de usos e ocupações do solo, permitindo a conservação da vegetação natural e o desenvolvimento da agropecuária, de indústrias e da urbanização (Viana et al., 2018).

Compreender os fenômenos hidrológicos ocorrentes nas áreas de uma bacia é uma tarefa desafiadora e pode impactar diretamente a conservação e a gestão da água, além do desenvolvimento socioeconômico nestas áreas (Viana et al., 2018; Martins et al., 2020).

Com relação à vegetação, ocorre impactos recíprocos entre as áreas vegetadas e diversos componentes do ciclo hidrológico (Zhang et al., 2020; Jia e Wang, 2021). A cobertura vegetal, por exemplo, influencia no teor de umidade do solo, auxilia na evapotranspiração e na formação da precipitação ao interceptar uma parte da água das chuvas, diminui o coeficiente de escoamento superficial, aumenta a infiltração e impacta positivamente a vazão (Ferreira et al., 2005; Faustino et al., 2014; Abbas et al., 2015; Rodrigues et al., 2015; Zheng et al., 2019; Zhang et al., 2020; Zhu et al., 2021a). A vegetação também pode estar relacionada com a qualidade de água de uma região, atuando como filtro (Menezes et al., 2016).

Além do impacto no ciclo hidrológico, a vegetação participa do sustento das populações e da manutenção da biodiversidade, especialmente quanto ao fornecimento de alimentos e materiais diversos para o ser humano (Kahiu e Hanan, 2018). Ademais, a investigação da vegetação é fundamental no planejamento e gestão de uma bacia devido a identificação das vulnerabilidades e potenciais ambientais e de propostas de uso sustentável (Oliveira e Aquino, 2020).

A água influencia o desenvolvimento e o crescimento de plantas e sua disponibilidade é limitada por eventos de seca (Gomes e Silva, 2022). Destaca-se que impactos causados pelas secas no desenvolvimento das plantas têm sido o foco de diversos estudos (Gomes e Silva, 2022), pois o estresse causado pela seca é o principal fator limitante no desenvolvimento de áreas cultivadas e na produção de alimentos (Santos et al., 2017; Paterniani et al., 2019).

A seca ocasiona perda de águas teciduais e celulares (Gomes e Silva, 2022), muitas vezes levando à morte do vegetal. Ademais, o déficit hídrico também pode causar redução nos teores dos pigmentos fotossintetizantes nas plantas (Oliveira et al., 2013). Assim, o objetivo deste estudo é investigar as consequências da seca na vegetação na bacia hidrográfica do Riacho do Pontal. - BHRP.

2. Material e métodos

Área de Estudo

A BHRP representa uma área com pouco mais de 6000 km², localizada entre as coordenadas 08°19'00" e 09°13'24"S e 40°11'42" e 41°20'39"W, envolvendo toda a área do município de Afrânio e partes de Petrolina, Lagoa Grande e Dormentes (Silva et al., 2012; Silva et al., 2015, 2016; Ferreira et al., 2017; Miranda et al., 2018).

A bacia hidrográfica apresenta um clima tropical semiárido, com temperatura média anual de 27°C e precipitação média de até 650 mm ano⁻¹, centralizada entre dezembro e março/abril de forma irregular e pode ser concentrada em períodos curtos (Silva et al., 2012; Silva et al., 2015, 2016; Ferreira et al., 2017; Miranda et al., 2018).

Na região da Bacia, Silva et al. (2012) identificaram a Caatinga densa, a Caatinga densa degradada e os cultivos diversificados como as classes de uso de solo dominantes, que juntas representam mais de 90% da área total. Com relação à Caatinga, a Caatinga arbustiva-arbórea e arbustiva são encontradas na bacia, sendo a arbustiva-arbórea o tipo predominante (Silva et al., 2012; Silva et al., 2015, 2016; Ferreira et al., 2017; Miranda et al., 2018).

Segundo Ferreira et al. (2020), as áreas de Caatinga da bacia estão sendo reduzidas devido ao desmatamento para ampliação de áreas para a agricultura ou perdendo o domínio para outros tipos de vegetação. Mudanças no uso do solo da região estão sendo evidenciadas e a área destinada à agricultura irrigada (uva, manga e goiaba) está crescendo enquanto as áreas de Caatinga densa estão diminuindo (Miranda et al., 2018; Lopes et al., 2019).

Na região, são encontradas três unidades de conservação: O Parque Estadual Serra do

Areal, o Refúgio da Vida Silvestre Riacho Pontal e o Refúgio da Vida Silvestre Tatu-Bola (Figura 1).

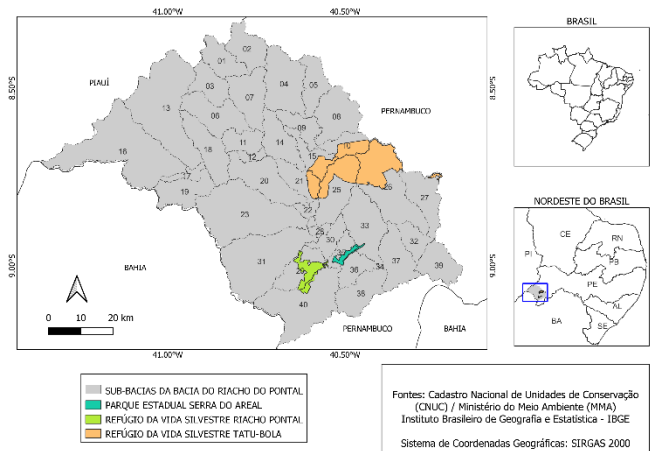


Figura 1 - Unidades de conservação presentes na área da bacia do Riacho do Pontal, em 2022. Fonte: Os autores (2024).

O Parque Estadual Serra do Areal, criado em 2014 com uma área de 1.596,55 ha, apresenta um mosaico de vegetação com Caatinga arbustivo-arbóreo (predominante) alternadas com partes de Caatinga arbustiva (CPRH, 2022a). O Refúgio de Vida Silvestre Riacho do Pontal, criado em 2014, apresenta uma área

de 4.819,63 ha no município de Petrolina e vegetação do tipo Caatinga (CPRH, 2022b). O Refúgio de Vida Silvestre Tatu Bola foi implantado em 2015, em áreas dos municípios de Petrolina, Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista, apresentando uma área de 110.110,25 ha com vegetação de Caatinga Hiperxerófila e partes de Floresta Caducifólia (Lacerda et al., 2017; Oliveira et al., 2022).

Para escolha das HRUs (Unidades de Resposta Hidrológica) foram elaborados mapas de uso e ocupação do solo utilizando dados da Coleção 6.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil do Projeto MapBiomas (Souza et al., 2020) e de unidades de conservação com dados do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC)/Ministério do Meio Ambiente (MMA). Foram escolhidas, de acordo com as características, HRUs dentro e fora das unidades de conservação, assim como áreas de cultivo (Quadro 1).

Quadro 1 - Características das Unidades de Resposta Hidrológica - HRUs da bacia do Riacho do Pontal. RVS = Refúgio de Vida Silvestre; PE = Parque Estadual.

HRU	SUB-BACIA	SOLO	USO DO SOLO	DECLIVIDADE	CATEGORIA MAPBIOMAS	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO
P1	10	Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA	Pastagem de verão - SPAS	3-8	Formação Savânica	RVS Tatu-Bola
P2	15	Argissolo Vermelho Amarelo - PVA	Pastagem de verão - SPAS	0-3	Formação Savânica	RVS Tatu-Bola
P3	26	Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA	Pastagem de verão - SPAS	3-8	Formação Savânica	RVS Tatu-Bola
P4	39	Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA	Pastagem de verão - SPAS	3-8	Formação Savânica	RVS Riacho Pontal
P5	33	Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA	Pastagem de verão - SPAS	0-3	Formação Savânica	Não
P6	33	Argissolo Vermelho Amarelo - PVA	Pastagem de verão - SPAS	3-8	Formação Savânica	Não
P7	35	Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA	Pastagem de verão - SPAS	0-3	Formação Savânica	PE Serra do Areal
P8	38	Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA	Pastagem de verão - SPAS	0-3	Lavouras Perenes	Não
P9	40	Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA	Pastagem de verão - SPAS	0-3	Lavouras Perenes	Não

2.1 Configurações do SUPER/SWAT

A modelagem com o modelo SWAT foi configurada no Sistema de Unidades de Resposta

Hidrológica para Pernambuco (SUPER). O SUPER, com o uso do Soil and Water Assessment Tool (SWAT), realiza a simulação de diversos processos físicos e cenários em uma bacia hidrográfica (Yen et al., 2016; Andrade et al.,

2017abc; Sousa et al., 2018; Viana et al., 2018; Corona et al., 2020). No SWAT, a bacia hidrográfica é dividida em sub-bacias que são discretizadas em HRUs (Unidades de Resposta Hidrológica), onde cada HRU apresenta uma associação de características, entre elas a declividade e o uso e tipo do solo (Andrade et al., 2017abc, Farias et al., 2020; Martins et al., 2020). O período da simulação foi de janeiro de 1961 a março de 2021, com os três primeiros anos de preparação/aquecimento.

2.2 Obtenção de dados

No SUPeR foram selecionadas três variáveis para a saída do modelo: Conteúdo de água no solo no final do período em mm na HRU (SW_END), biomassa vegetal total (toneladas métricas/hectares) média por mês na HRU (BIOM) e Índice de Área Foliar na HRU (LAI).

O LAI (Watson, 1947) é um indicador da biomassa, pois resulta da proporção entre a área foliar da cobertura vegetal em relação a sua área ocupada possuindo relação com a radiação solar que incide sobre o dossel vegetal (Oliveira et al., 2011; Abd-El Monsef e Smith, 2017; Nascimento et al., 2020).

Os valores da variável SW_END foram utilizados na caracterização da seca com a aplicação do índice Standardized Soil Moisture Index (SSMI) nas escalas de 1, 3, 6 e 12 meses (Sheffield et al., 2004; Inocêncio et al., 2020; Zhu et al., 2021b). Os valores negativos indicam a severidade da seca de acordo com a Tabela 1. O software DIMES (Blain et al., 2005) foi utilizado no cálculo com dados de janeiro de 1965 até março de 2021. Neste estudo, o recorte temporal utilizado foi de janeiro de 2013 a dezembro de 2020.

Tabela 1. Interpretação do valor obtido pelo Standardized Soil Moisture Index (SSMI).

VALOR DO SSMI	INTERPRETAÇÃO
Entre -0.01 e -0.99	Seca Fraca
Entre -1.00 e -1.49	Seca Moderada
Entre -1.50 e -1.99	Seca Severa
Menor ou igual que -2.00	Seca Extrema

Fonte: Adaptado de Guedes; Macedo; Souza (2012).

Para cálculos dos valores do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1974), imagens da órbita 217 e ponto 066 do sensor Operational Land Imager (OLI) do satélite LANDSAT 8 foram adquiridas do site Earth Explorer do Serviço

Geológico dos Estados Unidos (USGS). Foram obtidas 44 imagens entre os anos de 2013 e 2020, filtrando a quantidade de nuvens em até 20% da área das cenas. O período escolhido engloba parte da seca que ocorreu na região Nordeste do Brasil entre os anos de 2012-2017, neste período foram registrados diversos impactos na agropecuária, na vegetação e nos corpos hídricos (Santana e Santos, 2020; Aquino, 2023).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI expressa a qualidade e condição vegetal com valores variando entre -1 e +1, os valores positivos são indicadores de presença de vegetação verde, sendo que os valores mais próximos de 0 indicam solo exposto (Brito et al., 2017; Oliveira et al., 2022). O cálculo do NDVI foi realizado no software ADIVA (Galvêncio et al., 2022) pela relação entre a subtração e soma da refletividade do infravermelho próximo e da refletividade do vermelho (Oliveira et al., 2022).

2.2.1 Análise estatística

A correlação de Pearson (r) e a Análise de Componentes Principais (ACP) foram empregadas na análise de inter-relações entre as variáveis (Galvêncio, 2021) utilizando o software PAST 4.11 (Hammer et al., 2001). Na correlação de Pearson os valores foram interpretados conforme a tabela 2 adaptada da classificação de Vieira (2011). Foram consideradas correlações significativas ($p < 0,05$).

Tabela 2. Interpretação do valor obtido na correlação de Pearson.

VALOR DE R	INTERPRETAÇÃO
-1	Correlação negativa perfeita
$-1 < r \leq -0,75$	Correlação negativa forte
$-0,75 < r \leq -0,50$	Correlação negativa moderada
$-0,50 < r \leq -0,25$	Correlação negativa fraca
$-0,25 < r < 0$	Correlação negativa pequena
0	Correlação nula
$0 < r < 0,25$	Correlação positiva pequena
$0,25 \leq r < 0,50$	Correlação positiva fraca;
$0,50 \leq r < 0,75$	Correlação positiva moderada
$0,75 \leq r < 1,00$	Correlação positiva forte;
1	Correlação perfeita.

Fonte: Adaptado de Vieira (2011).

3. Resultados e discussão

Caracterização da seca

Na escala de um mês, a frequência de seca variou entre 80,21% e 96,88%, indicando que a maioria dos meses entre 2013 e 2020 foram de seca (Tabela 3). Inocêncio et al. (2020) evidenciaram que a seca aumentou a partir de 2012 acentuadamente no semiárido. A escala de um mês pode ser utilizada na agricultura, pois reflete as condições da umidade do solo em um intervalo de tempo pequeno (Guedes et al., 2012; Lupu et al., 2018; Uliana et al., 2015). Os meses de seca fraca foram os mais comuns em todas as HRUs analisadas.

Tabela 3. Meses com seca e com diferentes severidades na escala de 1 mês do Standardized Soil Moisture Index (SSMI). MS= Meses com seca; SF= Meses com seca fraca; SM= Meses com seca moderada; SS= Meses com seca severa; SE= Meses com seca extrema.

HRU		MS	SF	SM	SS	SE
P1		77	57	11	6	3
	%	80,21	74,03	14,29	7,79	3,90
P2		80	55	21	2	2
	%	83,33	68,75	26,25	2,5	2,5
P3		93	57	22	12	2
	%	96,88	61,29	23,66	12,9	2,15
P4		92	62	25	5	0
	%	95,83	67,39	27,17	5,43	0
P5		93	57	22	12	2
	%	96,88	61,29	23,66	12,9	2,15
P6		93	57	22	12	2
	%	96,88	61,29	23,66	12,9	2,15
P7		92	62	24	6	0
	%	95,83	67,39	26,09	6,52	0
P8		82	50	16	11	5
	%	85,42	60,98	19,51	13,41	6,10
P9		77	45	24	6	2
	%	80,21	58,44	31,17	7,79	2,6

A Tabela 4 mostra que a seca foi frequente na maioria dos meses no período analisado em todas as HRUs durante a escala de 3 meses. Os destaques foram as HRUs P3, P5 e P6, com mais 98% dos meses com

seca. A escala de 3 meses pode ser utilizada no estudo da seca agrícola e possui relação com a variação da precipitação relacionada às estações do ano e à umidade do solo (Guedes et al., 2012; Uliana et al., 2015; Lupu et al., 2018; Fernandes et al., 2021).

Os meses com seca fraca foram mais comuns em todos os pontos. Contudo, nas HRUs P3, P5 e P6, a frequência de meses com seca moderada foi próxima a dos meses com seca fraca. No estudo de Batista e Albuquerque (2022), identificou-se que as categorias de seca fraca e moderada impactaram negativamente os pequenos produtores nas regiões do Agreste Central, Alto Sertão e Centro-Sul de Sergipe.

Tabela 4. Meses com seca e com diferentes severidades na escala de três meses do Standardized Soil Moisture Index (SSMI). MS= Meses com seca; SF= Meses com seca fraca; SM= Meses com seca moderada; SS= Meses com seca severa; SE= Meses com seca extrema.

HRU		MS	SF	SM	SS	SE
P1		79	53	11	9	6
	%	82,29	67,09	13,92	11,39	7,59
P2		82	59	15	6	2
	%	85,42	71,95	18,29	7,32	2,44
P3		95	38	34	22	1
	%	98,96	40	35,79	23,16	1,05
P4		93	56	26	11	0
	%	96,88	60,22	27,96	11,83	0
P5		95	38	34	22	1
	%	98,96	40	35,79	23,16	1,05
P6		95	38	34	22	1
	%	98,96	40	35,79	23,16	1,05
P7		93	55	27	11	0
	%	96,88	59,14	29,03	11,83	0
P8		87	45	26	12	4
	%	90,63	51,72	29,89	13,79	4,6
P9		78	44	22	7	5
	%	81,25	56,41	28,21	8,97	6,41

A escala de seis meses retrata a mudança da água reservada e a vazão, também permitindo a investigação da seca agrícola (Guedes et al.,

2012; Lupu et al., 2018; Fernandes et al., 2021). As HRUs P3, P5 e P6 se destacaram com uma frequência de 100% de meses com seca nesta escala (Tabela 5). Nestes locais ocorreu uma leve predominância de meses com seca severa (>37%), seguidos de meses com seca moderada (>34%) e de meses com seca fraca (28%). meses com seca extrema não ocorreram.

Os efeitos da seca severa foram investigados em algumas espécies. Araújo (2014) ao investigar a influência dos estresses hídricos e térmicos em plântulas da espécie arbórea *Jatropha curcas* L., verificou que a seca severa junto com estresse térmico causou alterações na espécie, como por exemplo, uma taxa menor de crescimento. Oliveira et al. (2020) concluíram que as trocas gasosas das folhas da espécie *Gossypium hirsutum* L., conhecida como algodoeiro, foram levemente impactadas pela seca e seca severa.

Tabela 5. Meses com seca e com diferentes severidades na escala de seis meses do Standardized Soil Moisture Index (SSMI). MS = Meses com seca; SF = Meses com seca fraca; SM = Meses com seca moderada; SS = Meses com seca severa; SE = Meses com seca extrema.

HRU	MS	SF	SM	SS	SE
P1		73	39	12	11
	%	76,04	53,42	16,44	15,07
P2		88	56	22	8
	%	91,67	63,64	25	9,09
P3		96	27	33	36
	%	100	28,13	34,38	37,5
P4		94	41	34	19
	%	97,92	43,26	36,17	20,21
P5		96	27	33	36
	%	100	28,13	34,38	37,5
P6		96	27	33	36
	%	100	28,13	34,38	37,5
P7		94	42	33	19
	%	97,92	44,68	35,11	20,21
P8		94	60	19	13
	%	97,92	63,83	20,21	13,83
P9		84	50	19	11
	%	87,5	59,52	22,62	13,1

A escala de 12 meses apresentou sete das nove HRUs com todos os meses com seca (Tabela 6). Destas sete, cinco não apresentaram nenhum mês com seca extrema. As HRUs P3, P5 e P6 apresentaram dominância de meses com seca moderada e severa. Nas

demais, meses com seca fraca foram mais frequentes. As consequências hidrológicas da falta de chuvas podem ser investigadas na escala de doze meses (Guedes et al., 2012; Lupu et al., 2018; Fernandes et al., 2021; Yaseen et al., 2021).

Tabela 6. Meses com seca e com diferentes severidades na escala de 12 meses do Standardized Soil Moisture Index (SSMI). MS = Meses com seca; SF = Meses com seca fraca; SM = Meses com seca moderada; SS = Meses com seca severa; E = Meses com seca extrema.

HRU	MS	SF	SM	SS	SE
P1		72	43	5	3
	%	75	59,72	6,94	4,17
P2		96	62	20	12
	%	100	64,58	20,83	12,50
P3		96	4	47	45
	%	100	4,17	48,96	46,88
P4		96	43	32	21
	%	100	44,79	33,33	21,88
P5		96	5	43	48
	%	100	5,21	44,79	50
P6		96	4	47	45
	%	100	4,17	48,96	46,88
P7		96	44	31	21
	%	100	45,83	32,29	21,88
P8		96	57	21	16
	%	100	59,38	21,88	16,67
P9		87	51	14	19
	%	90,63	58,62	16,09	21,84

Caracterização da vegetação

O NDVI dos pontos amostrados apresentou médias variando entre 0,29 e 0,66 (Tabela 7). Esses valores estão próximos dos valores encontrados por outros estudos para a região da bacia. Brito et al (2017) registraram em áreas de Caatinga no município de Petrolina NDVI com predominância entre 0,4 e 0,6. No Norte do Município, estes autores registraram NDVI variando entre 0,2 e 0,6 em maio de 2016 (após o período chuvoso) e com concentração de valores entre 0 e 0,2 em janeiro de 2017 (período chuvoso). No estudo de Silva e Galvêncio (2012),

o NDVI para uma área no município de Petrolina concentrou valores entre 0,25 e 0,4, representando uma vegetação arbustiva.

Tabela 7. Valores mínimos, máximos e médios do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI para cada Unidade de Resposta Hidrológica - HRU da bacia do Riacho do Pontal entre os anos de 2013 e 2020.

HRU	Mínimo	Máximo	Médio
P1	0,17	0,83	0,35
P2	0,04	0,85	0,35
P3	0,11	0,93	0,41
P4	0,20	0,96	0,40
P5	0,14	0,63	0,29
P6	0,09	0,89	0,36
P7	0,09	0,90	0,35
P8	0,12	0,95	0,66
P9	0,06	0,95	0,57

Na região do município de Petrolina, Brito et al. (2020) verificaram com imagens de dois meses de 2013 NDVI em áreas da vegetação da Caatinga valores entre 0,2 e 0,4, enquanto as áreas de agricultura irrigada

apresentaram valores predominantes acima de 0,5. Oliveira et al. (2022) observaram em áreas entre o entorno do Rio São Francisco e no limite do Refúgio de Vida Silvestre Tatu Bola que o NDVI variou entre 0,31 e 0,60 nas áreas de Caatinga, com áreas mais densas com valores acima de 0,61 e que as áreas de agricultura irrigada apresentaram os valores mais altos (acima de 0,60). Assim como o evidenciado por esses autores, os valores médios de NDVI para as áreas de lavouras perenes (P8 e P9), foram superiores à 0,5 nas HRUs analisadas.

A Figura 2, um recorte das sub-bacias das HRUs, mostra a imagem do dia 21 de outubro de 2013, quando os valores de NDVI foram inferiores à 0,53 em todos os pontos, com uma média de 0,29. Paralelamente, a imagem mostra o dia 08 de outubro de 2020, que apresentou média 0,38, com variação de 0,27 a 0,74. Oliveira et al. (2022) registraram valores menores que 0,40 para o NDVI em 2015 para a área do Refúgio de Vida Silvestre Tatu Bola e que, segundo os autores, pode ter ocorrido pela precipitação mais baixa do que o histórico no mês de janeiro de 2015.

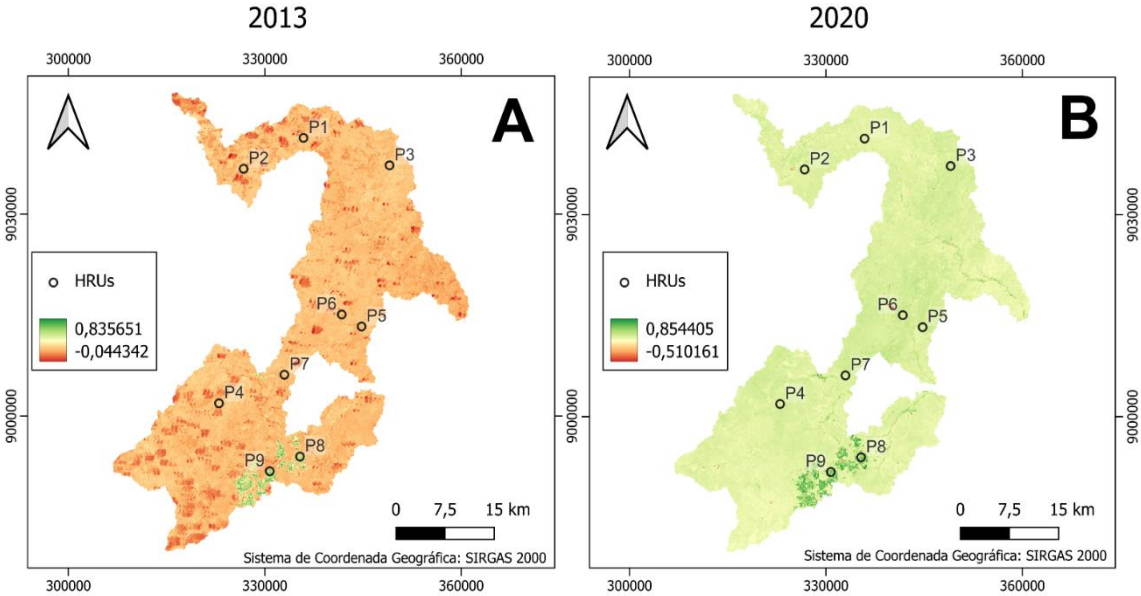


Figura 2 – Valores do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) nos dias 21 de outubro de 2013 (A) e 08 de outubro de 2020 (B), com recorte para as sub-bacias das Unidades de Respostas Hidrológicas (HRUs). Fonte: Os autores (2024).

O LAI apresentou médias variando entre 0,14 e 0,58 enquanto para a biomassa (toneladas métricas/ha) as médias estiveram entre 0,27 e 4,58. A HRU P8, ocupada por lavouras perenes, apresentou os maiores

valores médios para a biomassa (4,58 toneladas métricas/ha) e o LAI (0,58) (Tabela 8). Do mesmo modo, a HRU P9 ocupada por lavouras perenes apresentou valores altos para o LAI e biomassa.

Resultados similares para o LAI foram encontrados por Silva et al. (2015) com dados amostrados após 2001 na mesma bacia, sendo que o perímetro irrigado apresentou valores moderados entre 0,6 e 1,2 nas áreas agrícolas e com mínimos menores do que 0,2 em áreas não agrícolas. Contudo, Galvêncio et al. (2020) observaram, com dados de estimativas do sensor MODIS, que valores médios para o LAI no município de Petrolina foram superiores ao encontrados na maioria das HRUs, com variação entre 0,5 e 1,8.

Tabela 8. Valores mínimos, máximos e médios do Índice de Área Foliar - LAI e da Biomassa (BIOM) para cada Unidade de Resposta Hidrológica - HRU da bacia do Riacho do Pontal.

HRU	LAI			BIOM (toneladas métricas/hectares)		
	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED
P1	0,00	2,31	0,35	0,00	5,53	1,98
P2	0,00	2,28	0,49	0,00	4,27	1,97
P3	0,00	1,03	0,14	0,00	1,22	0,27
P4	0,00	1,11	0,14	0,00	1,48	0,49
P5	0,00	1,04	0,14	0,00	1,24	0,27
P6	0,00	1,03	0,14	0,00	1,22	0,27
P7	0,00	1,13	0,14	0,00	1,49	0,50
P8	0,00	2,04	0,58	0,00	12,64	4,58
P9	0,00	2,76	0,36	0,00	7,67	2,93

Embora alguns autores demonstrem que a redução da cobertura vegetal é maior no período seco, pois é neste período que a vegetação perde suas folhas (Ferreira et al., 2012; Nascimento et al., 2020), os valores mínimos para o LAI e a biomassa ocorreram nos meses do período chuvoso: dezembro (2019/2020), janeiro (2014) e fevereiro (2019).

Análise estatística

A biomassa apresentou correlação positiva fraca com a escala de seis meses do SSMI na maioria das HRUs. A exceção ocorreu na HRU P7, que registrou correlações positivas fracas com as escalas de um mês e seis meses do SSMI. A biomassa também esteve positivamente correlacionada com a escala de 12 meses na HRUs P1, P2, P8, P9 (correlação moderada) e P3, P5, P6 (correlação fraca).

O LAI apresentou correlação positiva fraca nas HRUs P1 e P2 com a escala de seis meses e nas HRUs P2, P3, P5 e P6 com a escala de 12 meses. Na China, Kim et al. (2017) evidenciaram que o LAI apresentou correlações com significância com as escalas de três, seis, nove e 12 meses do índice de Precipitação Padronizado (SPI). Galvêncio et al. (2020) registraram o

LAI apresentando uma alta correlação física com a precipitação no município de Petrolina.

Com relação ao NDVI, a correlação foi positiva fraca com as escalas de seis e 12 meses na HRU P1 e na escala de 12 meses na HRU P4. Contudo, na HRU P3 a correlação foi negativa fraca com as escalas de três e seis meses. Em um estudo em uma região do Iraque, Al-Quraishi et al. (2021) registraram um valor baixo e sem significância para o coeficiente de correlação entre o NDVI e o SPI.

Na análise de componentes principais, os valores do LAI e do NDVI foram inversamente correlacionados com as escalas de um e três meses. A Biomassa esteve correlacionada positivamente com a escala de 6 e 12 meses. Como exemplo, temos a Figura 3, que mostra o componente 1 junto com o componente 2, explicando mais de 67% da variação dos dados na HRU P1. Neste ponto, o LAI e o NDVI formam um grupo inverso das escalas de um e três meses e a Biomassa forma um grupo com as escalas de seis e 12 meses.

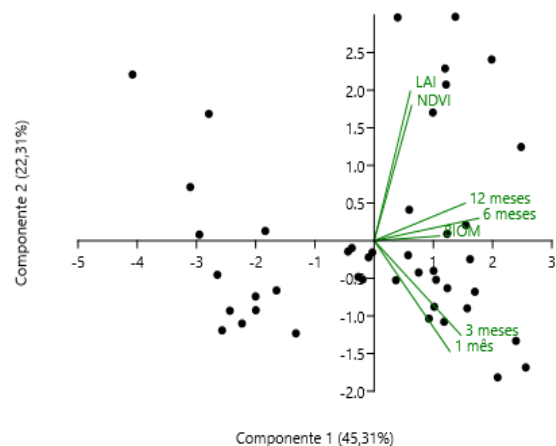


Figura 3 – Análise dos Componentes Principais das escalas de 1, 3, 6 e 12 meses do Standardized Soil Moisture Index (SSMI) e das características da vegetação (Índice de Área Foliar – LAI, Biomassa – BIOM e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI) da Unidade de Resposta Hidrológica (HRU) P1 da bacia do Riacho do Pontal. Fonte: Os autores (2024).

Silva Junior et al (2024) observaram que os valores de NDVI de uma vegetação de mata ciliar de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Pajeú aumentavam quando os valores do Standardized Precipitation Index (SPI) aumentavam.

4. Conclusões

A compreensão das relações entre os eventos de seca e das características da vegetação servem para compreender como estes eventos podem impactar as plantas.

Nos pontos amostrados, a seca esteve presente na maioria dos meses, com locais alcançando todos os meses com seca. A seca fraca foi frequente nas escalas de um, três e 12 meses.

A biomassa, o NDVI e o LAI apresentaram médias mais altas nas HRUs com vegetação representada por lavouras perenes, resultado evidenciado por outros estudos.

A biomassa, o LAI e o NDVI podem ser impactados pelos eventos de seca. A dinâmica da vegetação, identificada por características (biomassa) e índices (LAI e NDVI), com base na correlação de Pearson, estiveram majoritariamente relacionadas positivamente com as escalas de seis e 12 meses. A análise de componentes principais reforça estes resultados, tendo a biomassa apresentando correlação com estas escalas.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão de bolsa de estudo (Doutorado) ao primeiro autor. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade de pesquisa à terceira autora.

Referências

Abbas, T., Nabi, G., Boota, M.W., Hussain, F., Faisal, M., Ahsan, H., 2015. Impacts of landuse changes on runoff generation in Simly watershed. *Science International*, 27(4), 4083-4089.

Abd-El Monsef, H., Smith, S.E. 2017. A new approach for estimating mangrove canopy cover using Landsat 8 imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 135, 183-194.

Agência Estadual do Meio Ambiente - CPRH, 2022a. Parque Estadual Serra do Areal. 2022. Disponível em: <http://www2.cprh.pe.gov.br/uc/parque-estadual-serra-do-areal>. Acesso em: 26 ago. 2022.

Agência Estadual do Meio Ambiente - CPRH, 2022b. RVS Riacho Pontal. 2022. Disponível em: <http://www2.cprh.pe.gov.br/uc/rvs-riacho-pontal>. Acesso em: 26 ago. 2022.

Al-Quraishi, A.M.F., Gaznayee, H.A., Crespi, M. 2021. Drought trend analysis in a semi-arid area of Iraq based on Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Water Index and Standardized Precipitation Index. *Journal of Arid Land*, 13(4), 413-430.

Andrade, C.W.L., Montenegro, S.M.G.L., Lima, J.R.S., Montenegro, A.A.A., Magalhães, A.G., 2017a. Modelagem hidrológica sob escassez de dados na Bacia do Alto Mundaú, Nordeste do Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 02(03), 227-238.

Andrade, C.W.L., Montenegro, S.M.G.L., Lima, J.R.S., Montenegro, A.A.A., Magalhães, A.G., 2017b. Modelagem hidrológica sob mudanças na cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 02(03), 239-248.

Andrade, C.W.L., Montenegro, S.M.G.L., Lima, J.R.S., Montenegro, A.A.A., Srinivasan, R., 2017c. Análise de sensibilidade de parâmetros do modelo SWAT em uma sub-bacia da Região Nordeste, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(2), 440-453.

Andrade, C.W.L., Montenegro, S.M.G.L., Montenegro, A.A.A., Lima, J.R.S., Srinivasan, R., Jones, C.A., 2019. Soil moisture and discharge modeling in a representative watershed in northeastern Brazil using SWAT. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 19(2), 238-251.

Aquino, L.L., 2023. A influência das secas na história de Patos - Paraíba. Dissertação (Mestrado). Pombal-PB, UFCG.

Araújo, J.D.P., 2014. Efeito dos estresses de seca e calor sobre Plântulas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). Dissertação (Mestrado). Macaíba- RN, UFRN.

Batista, D.F., Albuquerque, T.M.A. 2022. Impacto da Seca na Agricultura dos Territórios Agreste Central, Alto Sertão e Centro-Sul de Sergipe. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37(1), 81-88.

Blain, G.C., Rolim, G.S., Brunini, O. 2005. Dimes- Software para cálculos e interpretação do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) em um visual basic for application em ambiente MS-Excel. *Anais do V Congresso Brasileiro de Agroinformática*: Londrina, Paraná. 2005.

- Brito, P.V.S., Morais, Y.C.B., Ferreira, H.S., Silva, J.F., Galvêncio, J.D. 2017. Análise comparativa da umidade da vegetação de áreas de caatinga preservada, agricultura irrigada e sequeiro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 02(03), 493-498.
- Brito, P.V.S., Santos, T.O., Morais, Y.C.B. 2020. Análise da sazonalidade da vegetação de caatinga do município de Petrolina (Pernambuco) a partir de imagens do satélite Landsat 8 – OLI. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 1(1), 29-37.
- Cao, S., Zhang, L., He, Y., Zhang, Y., Chen, Y., Yao, S., Yang, W., Sun, Q., 2022. Effects and contributions of meteorological drought on agricultural drought under different climatic zones and vegetation types in Northwest China. *Science of The Total Environment*, 821, 153270.
- Corona, J., Doley, T., Griffiths, C., Massey, M., Moore, C., Muela, S., Rashleigh, B., Wheeler, W., Whitlock, S.D., Hewitt, J., 2020. An integrated assessment model for valuing water quality changes in the United States. *Land Economics*, 96(4), 478-492.
- Farias, C.W.L.A., Montenegro, S.M.G.L., Montenegro, A.A.A., Lima, J.R.S., Srinivasan, R., Jones, C.A., 2020. Modeling runoff response to land-use changes using the SWAT model in the Mundaú watershed, Brazil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 05(02), 194-206.
- Faustino, A.B., Ramos, F.F., Silva, S.M.P., 2014. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em Sensoriamento Remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. *Sociedade e Território*, 26(2), 18-30.
- Fernandes, V.R., Cunha, A.P.M.A., Pineda, L.A.C., Leal, K.R.D., Costa, L.C.O., Broedel, E., França, D.A., Alvalá, R.C.S., Seluchi, M.E., Marengo, J.A. 2021. Secas e os impactos na Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 28, 561-584.
- Ferreira, J.M.S., Ferreira, H.S., Silva, H.A., Santos, A.M., Galvêncio, J.D. 2012. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 04, 904-922.
- Ferreira, P.S., Santos, A.M., Ferreira, J.M.S., Ferreira, H.S., Galvêncio, J.D., 2017. Análise da suscetibilidade à desertificação na bacia hidrográfica do rio Pontal – Pernambuco - Brasil. *Investigaciones Geográficas*, (53), 37-50.
- Ferreira, S.J.F., Luizao, F.J., Dallarosa, R.L.G., 2005. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 35(1), 55-62.
- Ferreira, T.R., Silva, B.B., Moura, M.S.B., Verhoef, A., Nóbrega, R.L.B., 2020. The use of remote sensing for reliable estimation of net radiation and its components: a case study for contrasting land covers in an agricultural hotspot of the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108052.
- França, P.H.T., Silva, E.C.A., Silva, T.C., Brasil, N.A., Nogueira, R.J.M.C., 2017. Análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) submetidas ao déficit hídrico. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 13(4), 264-269.
- Galvêncio, J.D. 2021. Impacto do aumento de CO₂ nas precipitações do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(03), 1828-1839.
- Galvêncio, J.D., Mendes, S.M., Souza, W.M., Morais, Y.C.B., Miranda, R.Q., Moura, M.S.B., Santos, W., 2020. Correlação linear entre a precipitação e o Índice de Área Foliar do bioma Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(07), 3304-3313.
- Galvêncio, J.D., Miranda, R.Q., Moura, M.S.B., Montenegro, S.M.G. 2022. ADIVA-Análise de Índice de Vegetação e Água. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(03), 1654-1659.
- Gomes, A.A., Silva, A.C., 2022. Effects of droughts on carbon allocation in plants. *Nativa* 10(2), 142-153.
- Guedes, R.V.S., Macedo, M.J.H., Sousa, F.A.S. 2012. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 23, 55-65.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4(1).
- Huang, B., Chen, Y-E., Zhao, Y-Q., Ding, C-B., Liao, J-Q., Hu, C., Zhou, L-J., Zhang, Z-W., Yuan, S., Yuan, M. 2019. Exogenous Melatonin Alleviates Oxidative Damages and Protects Photosystem II in Maize Seedlings Under Drought Stress. *Frontiers in Plant Science*, 10, 677.

- Inocêncio, T.M., Ribeiro Neto, A., Souza, A.G.S.S., 2020. Soil moisture obtained through remote sensing to assess drought events. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24 (9), 575-580.
- Jia, Q., Wang, Y-P., 2021. Relationships between Leaf Area Index and Evapotranspiration and Crop Coefficient of Hilly Apple Orchard in the Loess Plateau. *Water* 13(14), 1957.
- Kahiu, M.N., Hanan, N.P., 2018. Estimation of woody and herbaceous leaf area index in Sub-Saharan Africa using MODIS data. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123(1), 3-17.
- Kim, K., Wang, M-C., Ranjithkar, S., Liu, S-H., Xu, J-C., Zomer, R.J. 2017. Using leaf area index (LAI) to assess vegetation response to drought in Yunnan province of China. *Journal of Mountain Science*, 14(9), 1863-1872.
- Lacerda, A.C., Albuquerque, J.V., Galvêncio, J.D., 2017. Área legalmente protegida sob conflito: o caso da Reserva de Vida Silvestre Tatu-Bola, Estado de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 4(7), 191-202.
- Lopes, I., Ramos, C.M.C., Leal, B.G., Silva, D.A.O. 2019. Caracterização ambiental espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal no Estado de Pernambuco. *Revista Ambientale*, 11(1), 34-45.
- Lupu, L., Boroneanț, C., Dogaru, D. 2018. Evaluation of the socioeconomic effects of drought in the Turnu Măgurele–Giurgiu sector of the Romanian Danube Valley. *Romanian Journal of Geography*, 62(1), 49-70.
- Martins, L.L., Martins, W.A., Moraes, J.F.L., Pedro Júnior, M.J., De Maria, I.C., 2020. Calibração hidrológica do modelo SWAT em bacia hidrográfica caracterizada pela expansão do cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(02), 576-594.
- Menezes, J.P.C., Bittencourt, R.P., Farias, M.S., Bello, I.P., Fia, R., Oliveira, L.F.C., 2016. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(03), 519-534.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2024. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação – CNUC. Disponível em: <<https://cnuc.mma.gov.br>>.
- Miranda, R.Q., Galvêncio, J.D., Morais, Y.C.B., Moura, M.S.B., Jones, C.A., Srinivasan, R., 2018. Dry forest deforestation dynamics in Brazil's Pontal basin. *Revista Caatinga*, 31(2), 385-395.
- Nascimento, K.R.P., Alves, E.R., Alves, M.V.S., Galvêncio, J.D. 2020. Impacto da precipitação e do uso e ocupação do solo na cobertura vegetal na Caatinga. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 05(02), 221-231.
- Oliveira, A.C., Araujo, A.F.B., Lacerda, C.F., Canjá, J.F., Pinho, L.L., Sousa, N.I.G. 2020. Influência da irrigação suplementar com águas residuárias sobre as trocas gasosas foliares do algodoeiro. *Irriga*, 25(4), 677-682.
- Oliveira, L.M., Silva, J.N., Coelho, C.C.R., Neves, M.G., Silva, R.T.L., Oliveira Neto, C.F., 2013. Pigmentos fotossintetizantes, aminoácidos e proteínas em plantas jovens de graviola submetida ao déficit hídrico. *Revista Agroecossistemas*, 5(1), 39-44.
- Oliveira, L.M.M., Montenegro, S.M.G.L., Antonino, A.C.D., Machado, C.C.C., Oliveira, T.H., Silva, B.B., Galvêncio, J.D., 2011. Diagnóstico do albedo de superfície e índice de área foliar na bacia hidrográfica do rio Tapacurá - PE. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 2011, INPE. p.5284-5291.
- Oliveira, L.N., Aquino, C.M.S. 2020. Índice da Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí-Brasil: análise do efeito da expansão agrícola. *Revista Geoaraguaia*, 10(2), 126-143.
- Oliveira, T.H., Oliveira, J.S.S., Pimentel, R.M.M., Galvêncio, J.D., 2022. Spatial evolution of land use and land cover for the Tatu-Bola Wildlife Refuge - Pernambuco, using orbital images. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 12(1), 038-059.
- Paterniani, M.E.A.G.Z., Bernini, C.S., Guimarães, P.S., Rodrigues, C.S., 2019. Estratégias de melhoramento para tolerância à seca em germoplasma de milho tropical. *Singular. Meio Ambiente e Agrárias*, 1(1), 19-24.
- Rodrigues, V.A., Sánchez-Román, R.M., Tarjuelo, J.M., Sartori, M.M.P., Canales, A.R., 2015. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. *Irriga*, 1(1), 1-13.
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. Harlan, J. C. 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. *NASA Technical Reports Type III*, Greenbelt, Maryland.

- Santana, A.S., Santos, G.R. 2020. Impactos da seca de 2012-2017 na região Semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, 22, 119-129.
- Santos, H.R.B., Silva, E.C., Nogueira, R.J.M.C., 2017. Initial Growth and Compatible Solutes Concentration in Seedlings of Two Genotypes of *Psidium Araca Raddi* (Myrtaceae) in Response to Water Suppression. *Gaia Scientia*, 11(4), 45-56.
- Serviço Geológico dos Estados Unidos-USGS. 2024. EarthExplorer. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 04 de março de 2024.
- Sheffield, J., Goteti, G., Wen, F., Wood, E.F. 2004. A simulated soil moisture based drought analysis for the United States. *Journal of Geophysical Research*, 109, D24108.
- Silva Junior, U.J., Silva Junior, J.A., Almeida, D.N.O., Santos, E.M., Paiva, A.L.R., Santos, S.M., Oliveira, L. M. M. 2024. Variações Sazonais Intra e Interanual da cobertura vegetal (NDVI e SAVI) na Mata Ciliar do bioma Caatinga associada ao Reservatório de Serrinha II, PE, Brasil e sua correlação com o SPI e o volume hídrico acumulado. *Caminhos de Geografia*, 25(99), p. 224-242.
- Silva, E.R.A.C., Miranda, R.Q., Ferreira, P.S., Gomes, V.P., Galvêncio, J.D., 2016. Estimativa do Estresse Hidrológico na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE. *Caderno de Geografia*, 26(47), 844-861.
- Silva, E.R.A.C., Moraes, Y.C.B., Silva, J.F., Galvêncio, J.D., 2015. Consumo de água na irrigação para cultivo da bananeira nas condições edafoclimáticas da bacia do riacho do Pontal no Semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(3), 921-937.
- Silva, L.G., Galvêncio, J.D. 2012. Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD-22, em Petrolina-PE, na Primeira Década do Século XX. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 05(06), p. 1446-1456.
- Silva, M.T., Silva, V.P.R., Sousa, E.P., Oliveira, S.D. 2012. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5(3), 646-660.
- Sousa, W.S., Viana, J.F.S., Silva, R.R., Irmão, R.A., 2018. Estimativa do balanço hídrico de uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema com o Modelo SWAT. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 03(01), 146-154.
- Souza, C.M.Jr., Shimbo, J.Z., Rosa, M.R., Parente, L.L., Alencar, A.A., Rudorff, B.F.T., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L.G., Souza-Filho, P.W.M., Oliveira, S.W., Rocha, W.F., Fonseca, A.V., Marques, C.B., Diniz, C.G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E.R., Vélez-Martin, E., Weber, E.J., Lenti, F.E.B., Paternost, F.F., Pareyn, F.G.C., Siqueira, J.V., Viera, J.L., Ferreira Neto, L.C., Saraiva, M.M., Sales, M.H., Salgado, M.P.G., Vasconcelos, R., Galano, S., Mesquita, V.V., Azevedo, T., 2020. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing* 12(17), 2735.
- Uliana, E.M., Reis, E.F., Souza, A.P., Silva, J.G.F., Xavier, A.C. 2015. Utilização do índice de precipitação padronizado para a região Norte do estado do Espírito Santo. *Irriga*, 20(3), 414-428.
- Viana, J.F.S., Montenegro, S.M.G.L., Silva, B.B., Silva, R.M., Sousa, W.S., 2018. Modelagem hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama-PE utilizando o modelo SWAT. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 03(01), 155-172.
- Vieira, S. Introdução à bioestatística. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 345 p.
- Watson, D.J., 1947. Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops: I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties, and within and between Years. *Annals of Botany*, 11(41), 41-76.
- Yaseen, Z.M., Ali, M., Sharafati, A., Al-Ansari, N., Shahid, S. 2021. Forecasting standardized precipitation index using data intelligence models: regional investigation of Bangladesh. *Scientific reports*, 11(1), 3435.
- Yen, H., Daggupati, P., White, M.J., Srinivasan, R., Gossel, A., Wells, D., Arnold, J.G., 2016. Application of large-scale, multi-resolution watershed modeling framework using the Hydrologic and Water Quality System (HAWQS). *Water* 8(4), 164.
- Zhang, X., Maggioni, V., Rahman, A., Houser, P., Xue, Y., Sauer, T., Kumar, S., Mocko, D., 2020. The influence of assimilating leaf area index in a land surface model on global water

- fluxes and storages. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(7), 3775-3788.
- Zheng, D., Wang, Y., Shao, Y., Wang, L., 2019. The Vegetation Dynamics and Climate Change Responses by Leaf Area Index in the Mu Us Desert. *Sustainability* 11(11), 3151.
- Zhu, P., Zhang, G., Wang, H., Zhang, B., Liu, Y., 2021a. Soil moisture variations in response to precipitation properties and plant communities on steep gully slope on the Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, 256, 107086.
- Zhu, Y., Liu, Y., Wang, W., Singh, V.P. and Ren, L., 2021b. A global perspective on the probability of propagation of drought: From meteorological to soil moisture. *Journal of Hydrology* 603 (Part A), 126907.