

Uso e ocupação da superfície a partir do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) na Área de Proteção Permanente (APP) do açude Santa Teresa em Soledade-PB

Use and occupation of the surface based on the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) in the Permanent Preservation Area (PPA) of the Santa Teresa reservoir in Soledade-PB

Uso y ocupación de la superficie en base al Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (IVAS) en el Área de Preservación Permanente (APP) del embalse de Santa Teresa en Soledade-PB

Recebido: 14/10/2022 | Revisado: 24/10/2022 | Aceitado: 25/10/2022 | Publicado: 30/10/2022

Lázaro Avelino de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6505-1288>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: lazaravelino@hotmail.com

Janaina Barbosa da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6366-2165>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: janainasimov@yahoo.com.br

Sérgio Murilo Santos de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9599-4383>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: sergiomurilosa.ufcg@gmail.com

Resumo

A classificação do uso e ocupação da superfície terrestre através de sensoriamento remoto é de extrema importância para a análise da cobertura vegetal e pode ser feita a partir da resposta espectral proveniente de determinado índice de vegetação que melhor responda aos objetivos do estudo pretendido. Nesse sentido, este estudo utilizou o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para realizar a classificação supervisionada da Área de Preservação Permanente (APP) do Açude Santa Teresa, localizado no município de Soledade, no semiárido paraibano. A partir do processamento digital de imagens do satélite Sentinel-2 dos anos de 2016 e 2018, fez-se o mapeamento de 5 classes de uso e ocupação da superfície a partir da utilização do software ArcGis-Pro. Estas classes foram delimitadas dentro do perímetro do polígono no envoltório do açude, definido através de um Buffer gerado a partir da borda do corpo hídrico, com 100 metros de largura (faixa de APP). Com base na resposta espectral fornecida pela aplicação do IVAS fez-se a coleta de amostras de treinamento e procedeu-se a classificação supervisionada por máxima verossimilhança (MAXVER), chegando-se aos percentuais de área coberta de 60,44% de vegetação e 39,57% de solo exposto, para o ano de 2016; e 68,48% de vegetação, 9,80% de água e 21,72% de solo exposto, para o ano de 2018. As classes de vegetação foram denominadas de Herbácea Semidensa, Subarbustiva Esparsa e Arbustiva Semidensa. Concluiu-se que os ganhos e perdas de cada classe identificada, em termos de área de abrangência, foram determinados pela pluviometria média de cada ano.

Palavras-chave: Classificação supervisionada; Sensoriamento remoto; Semiárido.

Abstract

The classification of the use and occupation of the terrestrial surface through remote sensing is extremely important for the analysis of vegetation cover and can be done from the spectral response from a given vegetation index that best responds to the objectives of the intended study. In this sense, this study used the Soil-Adjusted Vegetation Index (SA-VI) to carry out the supervised classification of the Permanent Preservation Area (PPA) of the Santa Teresa Reservoir, located in the municipality of Soledade, in the semi-arid region of Paraíba. From the digital processing of Sentinel-2 satellite images from the years 2016 and 2018, 5 classes of use and occupation of the surface were mapped using the ArcGis-Pro software. These classes were delimited within the perimeter of the polygon surrounding the weir, defined by a buffer generated from the edge of the water body, 100 meters wide (PPA strip). Based on the spectral response provided by the application of the SAVI, training samples were collected and the supervised classification by maximum likelihood (MAXVER) was carried out, reaching the percentages of covered area of 60.44% of vegetation and 39.57% of exposed soil, for the year 2016; and 68.48% of vegetation, 9.80% of water and 21.72% of exposed soil, for the year 2018. The vegetation classes were called Herbaceous Semidense, Subshrub

Sparse and Shrub Semidense. It was concluded that the gains and losses of each identified class, in terms of coverage area, were determined by the average rain-fall of each year.

Keywords: Supervised classification; Remote sensing; Semiarid.

Resumen

La clasificación del uso y ocupación de la superficie terrestre a través de la teledetección es de suma importancia para el análisis de la cobertura vegetal y se puede realizar a partir de la respuesta espectral de un índice de vegetación dado que mejor responda a los objetivos del estudio pretendido. En ese sentido, este estudio utilizó el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (IVAS) para realizar la clasificación supervisada del Área de Preservación Permanente (APP) del Embalse de Santa Teresa, ubicado en el municipio de Soledade, en la región semiárida de Paraíba. A partir del procesamiento digital de imágenes de satélite Sentinel-2 de los años 2016 y 2018, se mapearon 5 clases de uso y ocupación de la superficie mediante el software ArcGis-Pro. Estas clases se delimitaron dentro del perímetro del polígono que rodea el vertedero, definido por un buffer generado desde el borde del cuerpo de agua, de 100 metros de ancho (franja APP). En base a la respuesta espectral proporcionada por la aplicación del IVAS, se recolectaron muestras de entrenamiento y se realizó la clasificación supervisada por máxima verosimilitud (MAXVER), alcanzando los porcentajes de área cubierta de 60.44% de vegetación y 39.57% de suelo expuesto, para el año 2016; y 68.48% de vegetación, 9.80% de agua y 21.72% de suelo expuesto, para el año 2018. Las clases de vegetación se denominaron Herbácea Semidensa, Subarborescente Escasa y Arbustiva Semidensa. Se concluyó que las ganancias y pérdidas de cada clase identificada, en términos de área de cobertura, estuvieron determinadas por la precipitación promedio de cada año.

Palabras clave: Clasificación supervisada; Detección remota; Semi árido.

1. Introdução

A vegetação recobre significativa porção das terras emersas do nosso planeta, desde florestas arbóreas a vastas áreas cobertas por gramíneas, sejam naturais e/ou plantadas. Acompanhar a perenidade, crescimento, existência e perda da cobertura vegetal por motivos diversos é na atualidade uma atividade comum, quando do desenvolvimento das geotecnologias, em diversas escalas espaço-temporal. Para tanto, desde os anos de 1970, o uso de imagens de satélites tem sido empregado a partir dos Índices de Vegetação.

Os índices de vegetação são estimativas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (Jensen, 2011). Estes índices são adquiridos por combinações matemáticas das refletâncias de duas ou mais bandas ou faixas do espectro eletromagnético e têm como objetivo, em princípio, extrair informações espectrais da cobertura da superfície da terra, discriminando a vegetação da superfície não vegetada (Ribeiro, Silva & Silva, 2016).

Dentre os índices de vegetação usualmente utilizados, os que mais se destacam são o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) – amplamente utilizado na estimativa de biomassa; o Índice de Área Foliar (IAF) da produtividade; e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) – que utiliza as mesmas bandas do IVDN, porém, com um deslocamento dos eixos espectrais para minimizar o efeito das variações de brilho do solo (Monteiro, Angulo Filho, Xavier & Monteiro, 2013).

De acordo com Oliveira (2013), o IVDN atua como um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde, e é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo e do vermelho, e a soma das mesmas. Já o IVAS, introduz um fator de ajuste denominado de constante “L” ao IVDN, o que aproxima a distância entre o pixel e a linha do solo, minimizando os seus efeitos.

Na estimativa do IVAS, os *pixels* estranhos em uma imagem, e que possuem a mesma relação nos valores de refletância no vermelho e infravermelho, são determinados como solo exposto. Já os *pixels* desconhecidos que possuem valores maiores na faixa do infravermelho, se distanciam da linha do solo e são determinados como vegetação (Ribeiro et al, 2016).

A partir de dados obtidos através de sensoriamento remoto orbital, os índices de vegetação possibilitam a classificação do uso e ocupação da superfície terrestre através de técnicas especializadas de geoprocessamento. A técnica mais usual considera a classificação supervisionada com o uso de um algoritmo que avalia a máxima verossimilhança (MAXVER) entre os pixels da imagem analisada. O critério para a classificação baseia-se na definição de assinaturas espectrais (padrões) para cada uma das classes de estudo obtidas a partir de amostras de treinamento (Rennó, 1998).

Para a região semiárida do Brasil, a classificação do uso e ocupação da superfície feita a partir da aplicação do IVAS tende a mostrar resultados mais satisfatórios do que a classificação feita a partir de uma simples composição RGB. O fator de correção para minimizar as variações de brilho dos solos torna o IVAS preferível em regiões semiáridas, de vegetação tendencialmente mais esparsa, onde a resposta do solo predomina em relação à resposta da vegetação (Machado, Galvêncio & Oliveira, 2011). Oliveira, Chaves e Lima (2009) asseguram que o IVAS é um dos índices mais eficientes na identificação da Caatinga arbustiva, levando em consideração as variações de sazonalidade, da exposição e da inclinação do terreno.

No âmbito da legislação ambiental referente ao uso e ocupação da superfície, o Código Florestal Brasileiro estabelece em seu Artigo 4º, inciso III, que as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP), estas últimas sendo definidas conforme o Artigo 3º, inciso II, como: *“área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade”*, entre outros aspectos (Lei 12.651, 2012).

O barramento ou represamento de cursos d'água naturais de que trata o Código Florestal é comum na região Nordeste do Brasil como medida mitigadora dos efeitos do clima semiárido. A política de açudagem foi provida no Nordeste em muitas décadas de trabalho do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Estas ações, tomadas inicialmente pelo Império e seguidas pelo Governo Federal, remontam ao ano de 1877, ano em que a região foi assolada por uma grande seca (Campos & Studart, 2001).

De acordo com Araújo (2003), considerando-se que brevemente toda a capacidade estratégica de acumulação de água nos reservatórios do Nordeste esteja construída (isto é, não será mais possível aumentar a oferta de água eficientemente pela construção de novos reservatórios), é fundamental para o desenvolvimento sustentável da região a conservação da qualidade e da quantidade da água acumulada. Neste sentido, os sedimentos carreados e depositados nos açudes e/ou barragens do Semiárido apresentam um grande potencial de deterioração quantitativo e qualitativo da água ofertada superficialmente, sobretudo quando não há APPs protegendo os corpos hídricos.

Assim, as condições de uso e ocupação da superfície no entorno dos açudes e/ou barragens têm influência direta na capacidade acumulativa desses reservatórios, uma vez que o assoreamento provocado pela erosão pluvial, em face da maior ou menor cobertura vegetal, altera a relação cota-área-volume dos reservatórios, o que acarreta o aumento da evaporação.

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo realizar a classificação do uso e ocupação da superfície na APP do açude Santa Teresa em Soledade-PB, observando a variabilidade da cobertura vegetal nos períodos de cheia e de seca do açude, a partir da resposta espectral obtida através do IVAS, com imagens Sentinel-2 dos anos de 2016 e 2018.

O Açude Santa Teresa é formado por um barramento de terra homogênea medindo aproximadamente 275 m de comprimento, com largura de crista de 4 m, e de base dos taludes de 35 m. A estrutura interrompe o curso do Riacho Quixudi a uma distância de aproximadamente 3 km a oeste da sede do município de Soledade, e forma uma represa de 6.000.000 m³ quando totalmente cheia (Almeida, 2016). O uso principal do açude, de acordo com o Relatório de Segurança de Barragens (RSB) do ano de 2015, é o abastecimento (Agência Nacional de Águas, 2015).

A inexigibilidade de licença prévia, definida pela legislação estadual da Paraíba através do Decreto nº 19.258/97, desobriga a demarcação de APP no entorno do Açude Santa Teresa pelo fato de o reservatório comportar um pequeno volume

hídrico e possuir uma superfície hidrográfica de apenas 0,25 km², classificada como micro (Decreto 19.258, 1997). Porém, isso não significa que não seja importante dimensionar a importância da mata ciliar na proteção do corpo hídrico do açude contra o assoreamento; ainda mais quando a reduzida capacidade de acumulação deste reservatório pode ter sido a causa de seu rompimento ocorrido no ano de 1985, mediante evento extremo de precipitação. Daí a importância deste estudo.

2. Material e Métodos

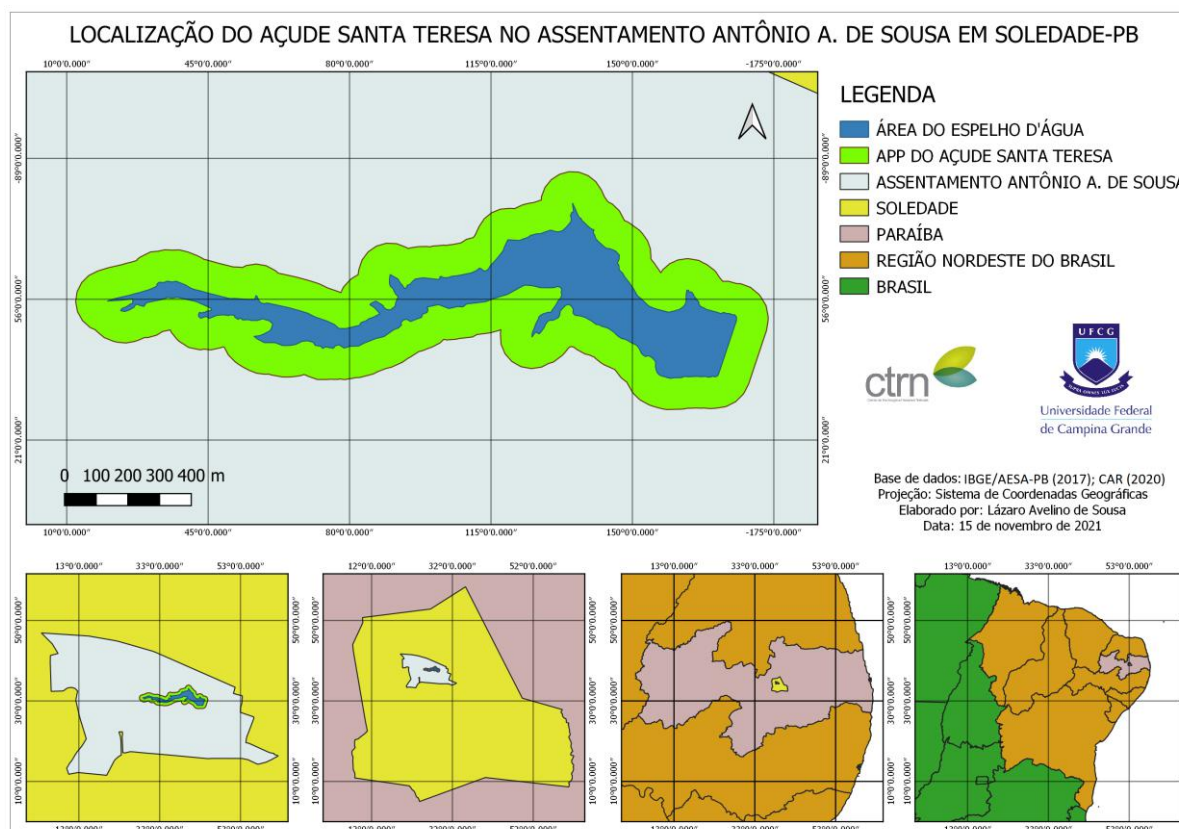
Para a consecução deste estudo foi feita uma pesquisa laboratorial (porém, com incursão em campo) que analisou quantitativamente o uso e ocupação da superfície terrestre através de um algoritmo processado em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), e verificou-se *in loco* a fidedignidade dos resultados. Popper (1972) enfoca que, em estudos quantitativos, os dados enfatizarão números (ou informações conversíveis em números) que permitam verificar, através da estatística ou de outras técnicas matemáticas, a ocorrência ou não das consequências, e daí então a aceitação (ainda que provisória) ou não das hipóteses. O algoritmo da máxima verossimilhança estima, numericamente, a partir da assinatura espectral, a quantidade de *pixels* que pertence a cada classe identificada na imagem analisada, possibilitando uma análise quantitativa. Os estudos quantitativos como os de geoprocessamento estão, no âmbito da análise geográfica, atrelados ao Positivismo Lógico ou Neopositivismo, em que a tese central é o princípio da verificação, ou seja, apenas as declarações verificáveis através da observação direta ou da prova lógica são significativas (Pereira & Souza Júnior, 2019).

A classificação de uso e ocupação da superfície realizada foi do tipo supervisionada, em que as classes são definidas, *a priori*, com base em informações já conhecidas (Queiroz, Severino, Rodrigues & Gomes, 2004). Segundo este método, descrito por Rennó (1998), o critério para a classificação baseia-se na coleta de amostras de treinamento, o que pressupõe que o analista conheça minimamente a área de estudo, visto que precisa selecionar as classes a serem mapeadas, coletando sobre a imagem um número de amostras para cada classe que seja suficiente para garantir a representatividade no mapeamento, e também apresente fidedignidade (ou ao menos similaridade) com o observado *in loco* (Almeida, Santos & Chaves, 2011).

2.1 Delimitação e localização da área de estudo

A área de estudo está inserida no assentamento rural Antônio Avelino de Sousa, situado ao lado esquerdo da BR 230, na altura do Km 218, no município de Soledade-PB (Figura 1). O assentamento possui uma área de 1.932,4 ha e engloba em seu território o açude objeto de análise. A área de estudo corresponde ao polígono envolvente do referido açude e engloba uma faixa de APP com 100 m de largura medidos a partir da borda do espelho d'água no período de cheia do açude. A área total do polígono é de 80,02 ha, sendo 55,02 ha correspondentes à faixa de APP, e 25,0 ha referentes a área ocupada pelo espelho d'água. O perímetro total da área de estudo é de 5.480 m.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir das bases de dados do IBGE (2021); da AESA-PB (2017) e do CAR (2000).

A Área de Preservação Permanente do Açude Santa Teresa foi definida de acordo com o Artigo 4º, inciso II, alínea a do Código Florestal Brasileiro. Esta diretriz foi elaborada para lagos e lagoas naturais, uma vez que reservatórios d'água artificiais como o Santa Teresa têm suas áreas de APP definidas na licença ambiental do empreendimento, conforme o mesmo Código Florestal. Como o Açude Santa Teresa não possui licença ambiental, está localizado na zona rural e possui mais de 20 ha de superfície hídrica, utilizou-se a diretriz elaborada para lagos e lagoas naturais, ou seja, faixa de APP com 100 m de largura medidos a partir da borda do corpo hídrico.

O clima na área de estudo, de acordo a classificação de Köppen, é do tipo BSh-Semiárido quente, com precipitação predominantemente abaixo de $600 \text{ mm} \cdot \text{ano}^{-1}$, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700 m). As chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de Sudeste e do Norte (Francisco, Medeiros & Santos, 2018). O mês mais chuvoso é o mês de março (média de 100 mm) e os meses mais secos são outubro e novembro (média de 10 mm). A vegetação desta unidade é formada por florestas subcaducifólica e caducifólica, próprias das áreas agrestes (Medeiros, 2022). A agricultura de sequeiro e a pequena criação de animais estão entre as principais atividades desenvolvidas pelas famílias assentadas na área (Almeida, 2016).

2.2 Aquisição das imagens de satélite

A classificação do uso e ocupação da superfície foi realizada a partir de imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2 dos dias 28 de outubro de 2016 e 28 de outubro de 2018, com resolução espacial de 10 m.

Na escolha das imagens considerou-se a menor cobertura de nuvens, bem como as condições de seca e de cheia do açude.

As imagens Sentinel-2 foram adquiridas no *site Copernicus*, da *European Space Agency – ESA*. Ambas as imagens correspondem à órbita/ponto 215/65.

2.3 Correção e recorte das imagens de satélite

As imagens passaram por tratamento para a correção atmosférica (*Dark Object Subtraction – DOS*), feita através do *Semi-Automatic Classification Plugin*, do *software* livre Qgis. Após as correções, foi feita a vetorização do corpo hídrico identificado na imagem do *Google Earth* do ano de 2018 (barragem com água) para, a partir destes contornos, gerar-se o *buffer* delimitando o perímetro a ser estudado.

As imagens do Sentinel-2 foram recortadas utilizando-se como camada máscara o perímetro vetorial delimitado pelo *buffer*, para, a partir de então, serem processadas e analisadas.

2.4 Processamento digital das imagens de satélite

O processamento digital das imagens de satélite para a obtenção do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) e a posterior classificação supervisionada do uso e ocupação da superfície se deu através do *software* ArcGis-Pro (licença: 0339864_LearnStudent). Nesta versão do ArcGis o processamento é feito *on-line* e dispensa o uso de calculadora *raster*, bastando indicar ao *software* as bandas necessárias para o cálculo do índice desejado (no caso, o IVAS), escolher o índice no *menu*, e mandar rodar.

Para a estimativa do IVAS utilizou-se as bandas 4 e 8 do Sentinel-2, ambas correspondentes as bandas do vermelho e infravermelho próximo.

De acordo com Heute (1988), o cálculo do IVAS se faz a partir da Equação (1) a seguir:

$$IVAS = ((NIR - VIS) (I + L)) / ((NIR + VIS + L)) \quad (1)$$

Onde, *NIR* = banda do infravermelho próximo; *VIS* = banda do vermelho visível; *L* = fator de correção variável.

Os valores de “*L*” podem ser atribuídos de acordo com três condições distintas de cobertura da vegetação: *L* = 1,0 é usado para a superfície do solo nu ou com pouca vegetação; *L* = 0,5 usado para cobertura média de vegetação; e *L* = 0,25 usado para cobertura completa de vegetação (Heute, 1988). No caso em tela, utilizou-se o fator *L* = 1,0 (mais adequado para ambientes de solo exposto ou com pouca vegetação).

A partir dos resultados do IVAS procedeu-se a classificação supervisionada através da coleta de amostras de treinamento e da aplicação do algoritmo da máxima verossimilhança (MAXVER) entre os *pixels* de cada amostra e seus *pixels* vizinhos. Foram criadas 5 classes para a análise, quais sejam: Água, Solo Exposto, Vegetação Arbustiva Semidensa, Vegetação Subarbustiva Esparsa e Vegetação Herbácea Semidensa.

Os mapas de uso e ocupação da superfície foram gerados no mesmo *software* ArcGis-Pro, e as classes identificadas foram quantificadas em hectares e em percentual de área, sendo apresentados em gráficos e numa tabela síntese.

A análise dos mapas produzidos considerou os índices pluviométricos mensais dos anos de 2016 e 2018, anos correspondentes às imagens de satélite utilizadas para os períodos de seca e de cheia do reservatório.

3. Resultados e Discussão

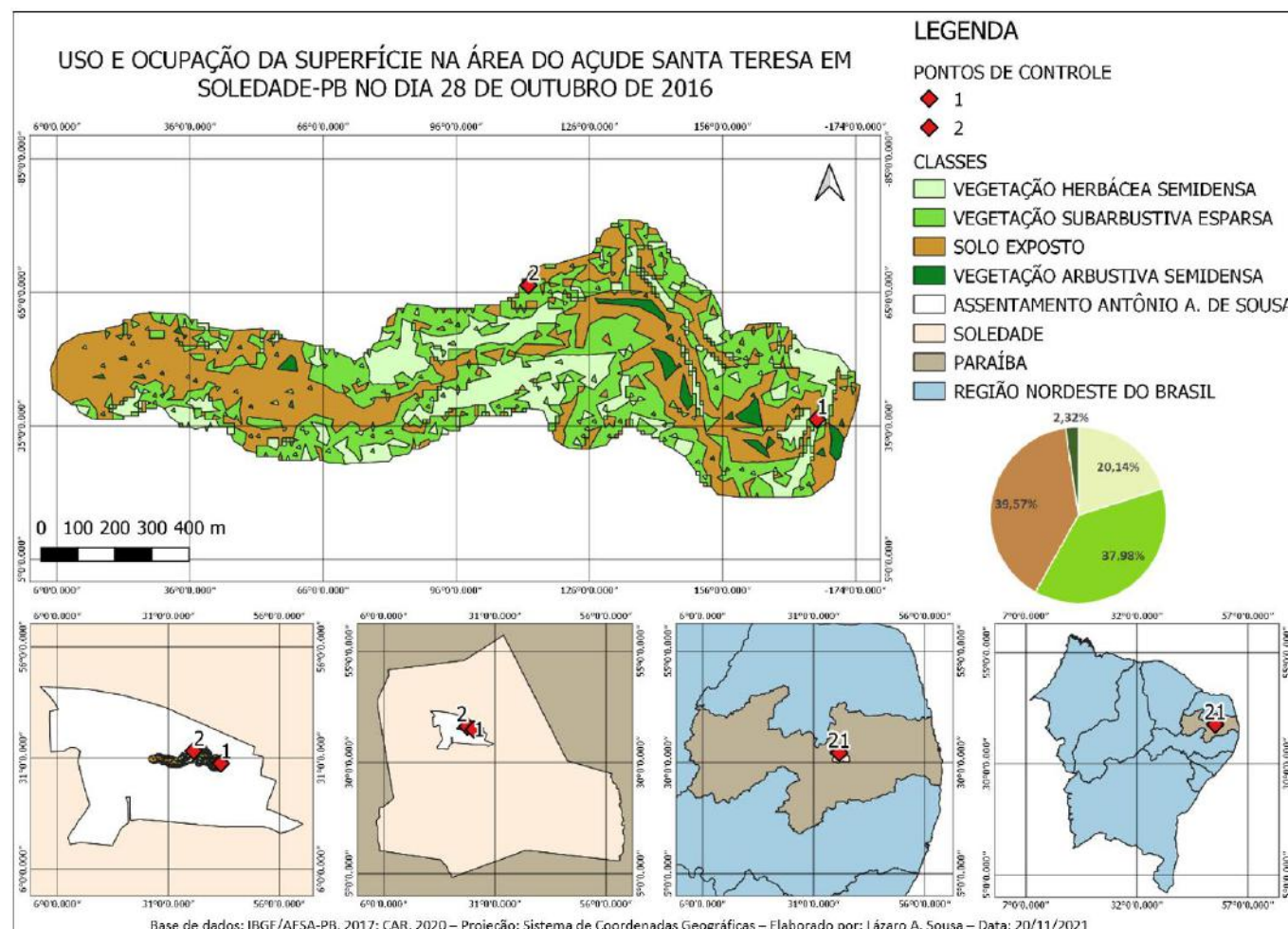
A faixa correspondente a Área de Preservação Permanente do Açude Santa Teresa equivale a 55,02 ha e não é preservada, posto que não seja regulamentada por nenhuma legislação. Como visto, a cobertura vegetal na área é típica do

agreste semiárido – Caatinga hiperxerófila e hipoxerófila, caducifólia e subcaducifólia. A variabilidade da cobertura vegetal em consonância com a disponibilidade de água resulta numa fitofisionomia esparsa com predominância de solo exposto na maior parte do ano. Tal característica favorece o assoreamento do açude por erosão pluvial.

Para efeito de análise, os limites internos da faixa de APP – linha que contorna o corpo hídrico – foram desprezados no processo de classificação do uso e ocupação da superfície, isto porque a vegetação – sobretudo a subarbusciva e a herbácea – ultrapassa este limite quando o espelho d'água diminui. Assim, como foram analisados dois cenários (açude seco em 2016 e cheio em 2018) toda a área delimitada pelo *buffer* (80,02 ha) foi considerada na classificação.

O mapa de classificação de uso e ocupação da superfície do ano de 2016 mostra a distribuição das classes no terreno e os percentuais de área de cada classe em relação a área total analisada. Neste ano o reservatório estava seco (vazio) e o leito do açude estava ocupado por vegetação e trechos de solo exposto. As classes mais expressivas em percentual foram Solo Exposto (39,57%) e Vegetação Subarbusciva Esparsa (37,98%) (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de uso e ocupação da superfície no perímetro delimitado pela Área de Preservação Permanente do Açude Santa Teresa em Soledade-PB no ano de 2016.



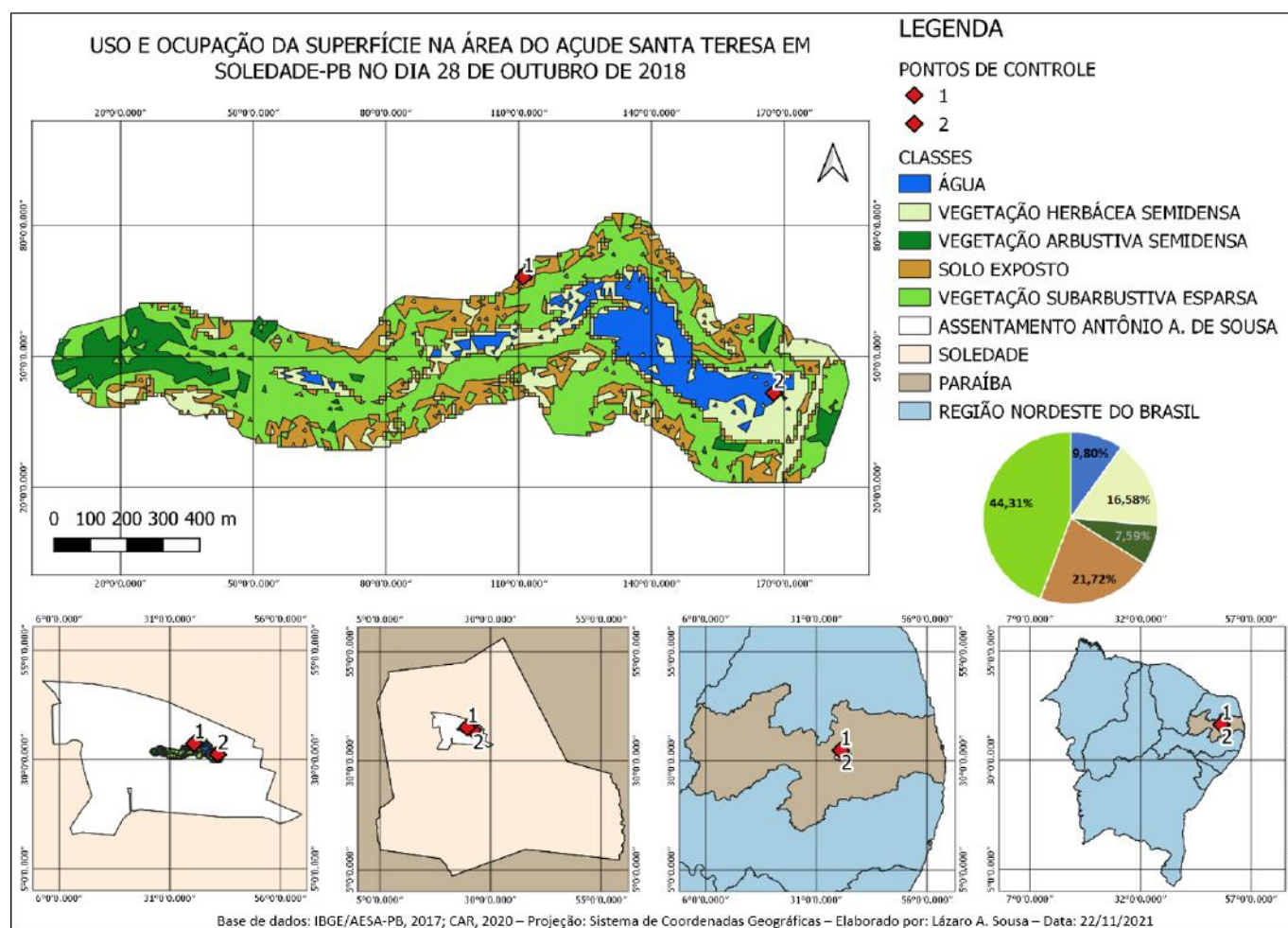
Fonte: Elaborado pelos autores a partir das bases de dados do IBGE (2021); da AESA-PB (2017) e do CAR (2020) com uso de imagem Sentinel-2 do dia 28 de outubro de 2016.

Observa-se abaixo da legenda do mapa de classificação do ano de 2016 o gráfico de *pizza* com os percentuais de cobertura de cada classe, bem como os pontos de controle 1 e 2, que foram verificados e fotografados *in loco* para conferir a

fideldignidade dos resultados processados em laboratório. As fotografias georreferenciadas desses pontos de controle são apresentadas mais adiante neste trabalho.

Para o ano de 2018, o mapa mostra uma cobertura de 9,8% de Água, além das demais classes de vegetação e solo exposto igualmente verificadas no ano de 2016, só que, com percentuais diferentes. As classes com percentuais de área de uso e ocupação de superfície mais expressivas no ano de 2018 também foram Vegetação Subarbustiva Esparsa (44,31%) e Solo Exposto (21,72%) (Figura 3).

Figura 3 - Mapa de uso e ocupação da superfície no perímetro delimitado pela Área de Preservação Permanente do Açude Santa Teresa em Soledade-PB no ano de 2018.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir das bases de dados do IBGE (2021); da AESA-PB (2017) e do CAR (2020) com uso de imagem Sentinel-2 do dia 28 de outubro de 2018.

No mapa de classificação do ano de 2018, bem como no gráfico correspondente aos percentuais de cobertura da superfície, aparece a classe Água, não verificada no ano de 2016. Esta classe representou o quarto maior percentual de cobertura, ficando acima da Vegetação Arbustiva Semidensa e abaixo das demais classes. Os pontos de controle para o ano de 2018 (pontos 1 e 2 no mapa), apesar de bem próximos dos apresentados para o ano de 2016, têm coordenadas geográficas diferentes destes últimos.

Observando-se as perdas e ganhos de cada classe entre os dois anos estudados, elaborou-se uma tabela síntese dos dados estimados nos mapas (Tabela 1).

Tabela 1 - Áreas em hectares e saldos de perdas e ganhos em hectares e em percentual das classes de uso e ocupação da superfície no perímetro estudado, 2016/18.

SATÉLITE	DATA	ÁGUA (ha)	SOLO EXPOSTO (ha)	VEGETAÇÃO HERBÁCEA SEMIDENSA (ha)	VEGETAÇÃO SUBARBUSTIVA ESPARSA (ha)	VEGETAÇÃO ARBUSTIVA SEMIDENSA (ha)	TOTAIS (ha)
SENTINEL-2	28/10/16	0,00	31,66	16,12	30,39	1,85	80,02
SENTINEL-2	28/10/18	7,84	17,38	13,27	35,46	6,08	80,02
SALDO (ha)		7,84	-14,28	-2,85	5,07	4,23	-
SALDO (%)		NE*	-45,10	-17,68	16,68	228,65	-

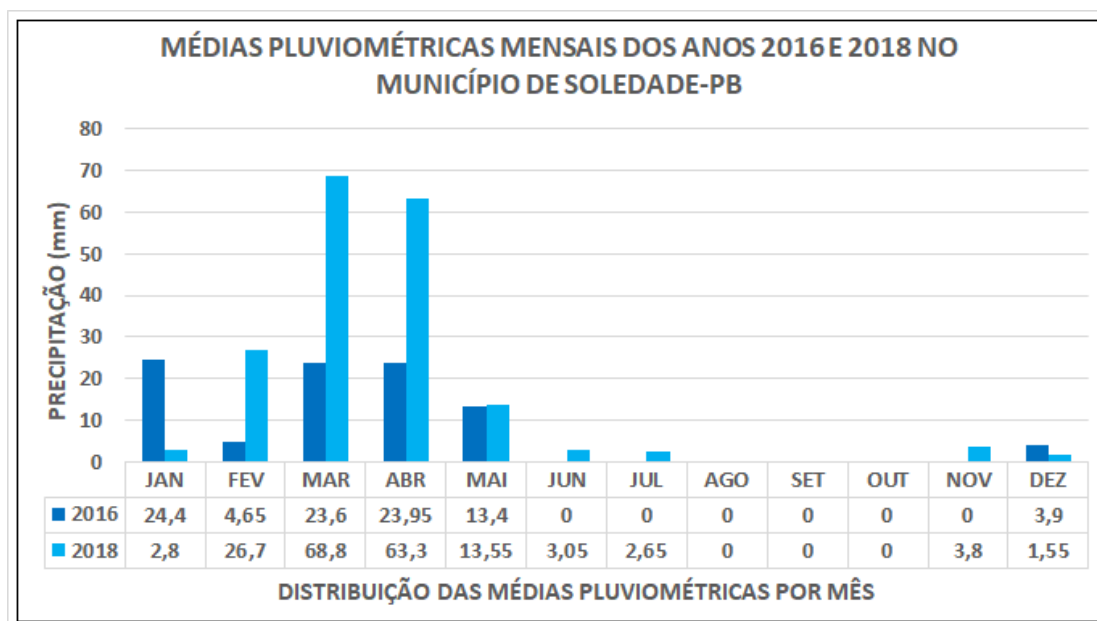
Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos mapas de uso e ocupação da superfície. (*Não Existe crescimento percentual em cima de zero).

Observa-se na tabela que a área total analisada corresponde a 80,02 ha, e que as classes que registraram perdas de área entre os anos de 2016 e 2018 foram as classes Solo Exposto (-14,28 ha) e Vegetação Herbácea Semidensa (-2,85 ha). Estas perdas foram compensadas pelo aumento da Água (7,84 ha), da vegetação Subarbusativa Esparsa (5,07 ha) e da Vegetação Arbustiva Semidensa (4,23 ha).

Estes ganhos de área das classes Água, Vegetação Subarbusativa Esparsa e Vegetação Arbustiva Semidensa, provavelmente, se devem ao fato de o ano de 2018 ter apresentado maiores médias pluviométricas do que o ano de 2016.

No gráfico da Figura 4 observa-se que o período chuvoso de 2018 – verificado entre janeiro e junho – registrou maiores médias que o mesmo período no ano de 2016, exceto no mês de janeiro. O mês mais chuvoso das séries analisadas foi o mês de março de 2018, com uma média de 68,8 mm (AESA-PB, 2021).

Figura 4 - Gráfico das médias pluviométricas mensais dos anos de 2016 e 2018 no município de Soledade-PB.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir das médias registradas nos postos pluviométricos da sede municipal e da Fazenda Pendência em Soledade-PB, disponibilizados pela AESA-PB, 2021.

Conforme se observa no gráfico das médias pluviométricas mensais, os meses de outubro dos dois anos (meses correspondentes as imagens analisadas) não registraram precipitação. Porém, como no ano de 2018 choveu bem mais, os

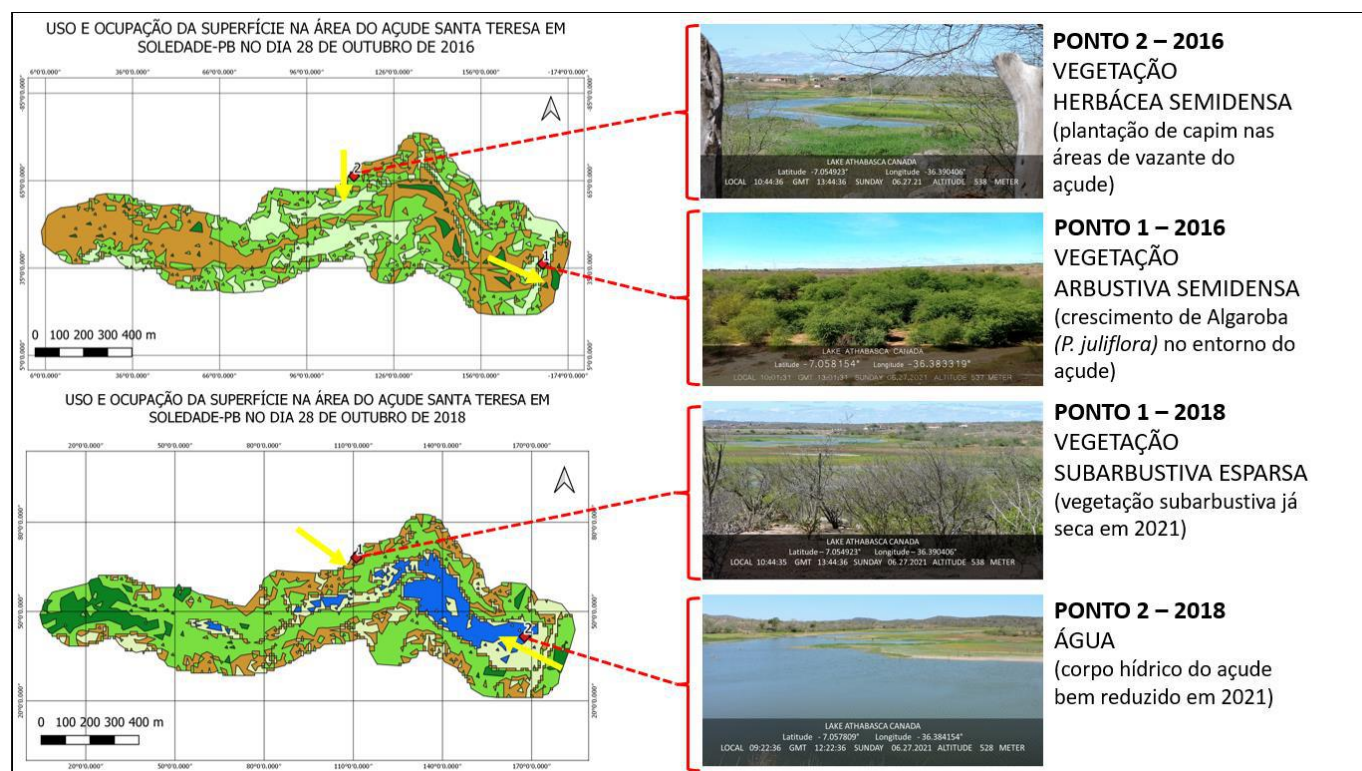
ganhos de Vegetação Subarbusativa Esparsa e Vegetação Arbustiva Semidensa – sobretudo em cima das áreas de Solo Exposto – possivelmente correspondem ao crescimento de Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC) comuns na área estudada.

Já a perda de Vegetação Herbácea Semidensa é possível que esteja relacionada com o pastoreio de animais bovinos e ovinos, uma vez que é comum em anos mais chuvosos a aquisição de animais para o aproveitamento do pasto verde, que se mantém por mais tempo em anos mais úmidos. Tradicionalmente, o manejo da criação animal na região semiárida se dá em função da disponibilidade de água e pasto, sendo que os animais adquiridos para engorda nos anos chuvosos, são vendidos nos anos secos. Esta atividade pastoril é verificada no Assentamento Antônio Avelino de Sousa, conforme Almeida (2016).

Também se verifica na área estudada – conforme visita de campo – a plantação de capim na vazante do açude para alimentação animal. Mesmo quando o açude seca, o solo enxarcado do leito propicia a umidade necessária para esta cultura. Neste sentido, a redução das áreas de Vegetação Herbácea também se explica pela diminuição das áreas de plantação de capim, ocupadas por Água em 2018.

Alguns pontos de controle da classificação realizada foram verificados em campo e fotografados por meio do aplicativo *GPS Map Camera*, que faz fotografias georreferenciadas através do uso de aparelho *Smartphone*. Estes pontos de controle indicam os tipos de vegetação verificados no mapeamento, bem como a cobertura do corpo hídrico (Figura 5).

Figura 5 - Imagens correspondentes aos pontos de controle.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos mapas de classificação e de fotografias correspondentes aos pontos de controle plotados nos mapas de 2016 e 2018.

Observa-se na Figura 5 a localização dos pontos de controle visitados em cada mapa e suas correspondentes fotografias georreferenciadas, registrando o tipo de cobertura da superfície em cada ponto. Tais fotografias revelam a fidedignidade das classes mapeadas com a cobertura real do ambiente fotografado *in loco*. As setas em amarelo indicam a direção em que as fotografias foram tiradas (todas as fotografias foram feitas no ano de 2021). As coordenadas dos pontos de controle estão no rodapé das fotografias, sendo: ponto 1 de 2016 (Lat.: -7.058154°; Long.: -36.383319°); ponto 2 de 2016 (Lat.:

-7.054935°; Long.: -36.390406°); ponto 1 de 2018 (Lat.: -7.054923°; Long.: -36.390406°); ponto 2 de 2018 (Lat.: -7.057809°; Long.: -36.384154°).

4. Conclusão

A Área de Preservação Permanente do açude Santa Teresa, mesmo que não seja preservada, está inserida num perímetro composto por vegetação de Caatinga que apresenta uma variabilidade na cobertura da superfície da terra de acordo com as condições climáticas da Região Semiárida a que pertence.

A classificação supervisionada por máxima verossimilhança realizada a partir dos resultados do IVAS gerou um mapeamento de uso e ocupação da superfície que mostrou a dinâmica do ciclo fenológico da vegetação de Caatinga em concordância com os efeitos do clima semiárido.

No ano menos chuvoso a classificação mostrou 60,44% de cobertura vegetal contra 68,48% do ano mais chuvoso. A presença de água no açude em 2018 também reduziu o percentual de solo exposto de 39,48% para 21,72%.

A vegetação subarbustiva esparsa – caracteristicamente caducifólia – apareceu mais exuberante no ano mais chuvoso sobre as áreas de solo exposto verificadas no ano mais seco.

O mapeamento proporcionou a verificação, mesmo que de forma estimada, da dinâmica da cobertura vegetal no entorno do Açude Santa Teresa nos períodos de seca e de cheia do reservatório, podendo ser utilizado para embasar estudos de erosão do solo e assoreamento do açude.

Os resultados deste estudo sugerem pesquisas futuras, como por exemplo, um estudo topobatimétrico no leito do açude, relacionando a cobertura vegetal da área de APP mapeada com o grau de assoreamento do reservatório.

Referências

- AESA-PB. (2017). *Shapefile (Municípios_PB)*. Paraíba, Brasil: AESA-PB, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>.
- AESA-PB. (2021). *Meteorologia – Chuvas*. Soledade, Brasil: AESA-PB, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>.
- Almeida, A. S., Santos, R. L., & Chaves, J. M. (2011). Mapeamento de uso e ocupação do solo no Município de Jeremoabo-BA: uso do Algoritmo Máxima Verossimilhança (Maxver). *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Curitiba, PN, Brasil. <http://mart.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.12.17.17/doc/p0787.pdf>
- Almeida, M. L. (2016). *Análise social no Assentamento Santa Tereza no município de Soledade-PB* (Monografia). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Brasil. Recuperado de: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/10651/1/PDF%20-%20Mayza%20Lopes%20de%20Almeida.pdf>
- Agência Nacional de Águas (2016). *Relatório de Segurança de Barragens - 2015*. Brasília: ANA. pp. 168. <https://www.snib.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/antiores/2015-1>
- Araújo, J. C. (2003). Assoreamento em reservatórios do semiárido: modelagem e validação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8 (2), p. 39-56. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p39-56>
- Queiroz, R. B., Severino, P. A. R., Rodrigues, A. G. & Gómez, A. T. (2004). Redes Neurais: Um Comparativo com Máxima Verossimilhança Gaussiana na Classificação de Imagens CBERS. *Anais do II Workshop de Tecnologia da Informação aplicada ao Meio Ambiente – CBComp*. Itajaí, SC, UVI, Brasil. Recuperado de: http://www.ufrgs.br/niee/eventos/CBCOMP/2004/pdf/Workshop_Ambiente/Inteligencia_Artificial/t170100151_3.pdf
- Brasil. (2012). *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm
- Campos, J. N. B. & Studart, T. M. C. (2001, setembro). Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções. *Anais do Inter-American Dialogue on Water Management*. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 4. Recuperado de: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/9326>
- CAR. (2020). *Shapefile (CAR de Soledade-PB)*. Paraíba, Brasil: CAR, Cadastro Ambiental Rural. <https://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads?sigla=PB>.

Francisco, P. R. M., Medeiros, R. M. & Santos, D. (2018). *Evapopluviogramas do Estado da Paraíba*. Campina Grande: EDUEFCG, 2018. 136p. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Roberto-Francisco/publication/324174904_Evapopluviogramas_do_Estado_da_Paraiba/links/5ac408fc0f7e9becc9d49730/Evapopluviogramas-do-Estado-da-Paraiba.pdf

Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment* (25), p. 295-309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

IBGE. (2021). *Shapifile Malhas Territoriais*. Brasil: IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>.

Jensen, J. R. & Epiphany, J. C. N. (2011). *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parêntese Editora.

Machado, C. C. C., Galvêncio, J. D. & Oliveira, T. H. (2011). Análise espacial e temporal do IVAS e do albedo da superfície no município de São José do Sabugi-PB. *Geografia*, 36 (2), p. 359-369. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/3883>

Medeiros, R. M. (2022). Flutuabilidade pluvial e sua relação com o fenômeno La Niña nos municípios de Juazeirinho e Soledade, semiárido da Paraíba, Brasil. *Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability*. 4 (1). <https://doi.org/10.52719/bjas.v4i1.3822>

Monteiro, P. F. C., Angulo Filho, R., Xavier, A. C. & Monteiro, R. O. C. (2013). Índices de vegetação simulados de diferentes sensores na estimativa das variáveis biofísicas do feijoeiro. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 48 (4), p. 433-441. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000400012>

Oliveira, J. S. S. (2013) *Índices de vegetação (NDVI, IVAS, IAF, NDWI) como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo na zona de amortecimento da Reserva Biológica de Saltinho* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10607>

Oliveira, W. M., Chaves, I. B. & Lima, E.R.V. (2009). Índices espectrais de vegetação de Caatinga em um Neossolo Litólico do semiárido paraibano. *Anais do Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, Natal, RN, Brasil. <http://mar.tecnico.ipe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.00.32/doc/2103-2110.pdf>

Pereira, M. P. B. & Souza Júnior, X. S. S. O geoprocessamento no âmbito da ciência geográfica: discussões para a disciplina projeto de pesquisa. *Anais do IV Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências - CONAPESC*. Campina Grande, PB, Brasil. <https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/57032>

Popper, K. (1972). *A Lógica da Pesquisa Científica*. (2a. ed.) São Paulo, Editora Cultrix.

Decreto Nº 19.258, de 31 de outubro de 1997. (1997). Regulamenta o controle técnico das obras e serviços de oferta hídrica e dá outras providências. Recuperado de: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/DECRETO_15.pdf

Rennó, C. D. (1998). *Avaliação das incertezas nas classificações de máxima verossimilhança e contextual de modas condicionais iterativas em imagens jers na região de Tapajós, Estado do Pará*. (Monografia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil. Recuperado de: <https://livrozilla.com/doc/428842/avalia%C3%A7%C3%A3o-das-incertezas-nas-classifica%C3%A7%C3%B5es-de-m%C3%A1xima>

Ribeiro, G. A., Silva, J. & Silva, J. B. (2016). Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 9 (6), p. 2054-2074. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p2054-2074>