



ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA DO MUNICÍPIO DE PRINCESA ISABEL - PB

Vinicius Novo da Silva

Universidade Federal da Paraíba

Eduardo Rodrigues Viana de Lima

Universidade Federal da Paraíba

RESUMO

O município de Princesa Isabel na Região Geográfica Intermediária de Patos enfrenta um processo de degradação ambiental em virtude das atividades socioeconômicas em sua maioria associadas a agricultura, potencializados pela ineficiência de instrumentos de gestão que permitam a otimização do ordenamento territorial. Dessa forma, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o uso e cobertura da terra no município de Princesa Isabel - PB em uma escala Têmporo-Espacial. O seu desenvolvimento se deu por meio de uma revisão bibliográfica, visitas a área de estudo, e na elaboração de mapas temáticos desenvolvidos no Software livre QGIS. Os mapas foram trabalhados em uma escala temporal, com utilização de imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8 referentes aos anos de 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020, escolhidas de acordo com a variação pluviométrica da região. Os resultados obtidos apresentam uma variação intensa no uso e cobertura do município ao longo dos anos, com a observação do crescimento das classes vegetativas nos últimos anos, fenômeno que pode estar associado ao desenvolvimento das atividades antrópicas e variação pluviométrica. Ademais, ficou evidente a prevalência da vegetação semidensa e densa em porções mais elevadas do município, ao passo que nas áreas mais planas observou-se o desenvolvimento intenso de atividades antrópicas, com predominância das classes rala e esparsa da vegetação, e solo exposto.

Palavras-chave: degradação ambiental, ordenamento territorial, análise temporal-espacial.

ANALYSIS OF LAND USE AND COVERAGE IN THE MUNICIPALITY OF PRINCESA ISABEL - PB

ABSTRACT

The municipality of Princesa Isabel in the Intermediate Geographical Region of Patos faces a process of environmental degradation due to socioeconomic activities mostly associated with agriculture, enhanced by the inefficiency of management instruments that allow the optimization of territorial planning. Thus, the present research aimed to evaluate the use and land cover in the municipality of Princesa Isabel - PB on a Temporo-Spatial scale. Its development took place through a bibliographic review, visits to the study area, and the elaboration of thematic maps developed in the free software QGIS. The maps were worked

on a time scale, using images from the LANDSAT 5 and 8 satellites for the years 1985, 1998, 2005, 2017, and 2020, chosen according to the rainfall variation in the region. The results obtained show an intense variation in the use and coverage of the municipality over the years, with the observation of the growth of vegetative classes in recent years, a phenomenon that may be associated with the development of human activities and rainfall variation. Furthermore, the prevalence of semi-dense and dense vegetation was evident in higher portions of the municipality, while in the flatter areas there was an intense development of anthropic activities, with a predominance of the sparse class of vegetation, and exposed soil.

Keywords: environmental degradation, land use planning, temporal-spatial analysis

INTRODUÇÃO

Dentre as atividades antrópicas de modificação do meio ambiente, o processo de uso e ocupação da terra pode ser citado como uma ação com alto potencial para alterações significativas, visto que ocorre de forma desordenada, considerando a inexistência ou falhas do planejamento ambiental, atrelado ao desconhecimento das potencialidades e fragilidades das áreas ocupadas.

O uso e ocupação deve ser compreendido como o método pelo qual o homem ocupa o espaço. Segundo Ferreira e Filho (2009) o entendimento do processo de uso e ocupação é primordial para a compreensão organizacional do ambiente, visto que o uso desequilibrado tem como resultado a potencialização dos impactos ambientais e logo a degradação ambiental.

Para Pereira e Santos (2012), o processo de uso e ocupação do território pode ser entendido como um resultado do desenvolvimento de atividades como a agricultura e a indústria, e tal processo é condicionado pela relação entre os fatores naturais e sociais, e como eles afetam os sistemas ecológicos. Nesse sentido, a compreensão dos efeitos causados sobre os componentes da natureza (clima, relevo, vegetação e recursos hídricos) são cruciais para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis.

Os estudos associados ao uso e cobertura da terra apresentam a distribuição geográfica de cada classe de uso, definidas por meio de padronização das homogeneidades da cobertura terrestre. Estes são primordiais para a compreensão dos meios de uso e ocupação do território, sendo essenciais para auxiliar o processo de tomada de decisões no que se refere ao planejamento ambiental, o desenvolvimento de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental (IBGE – Manual Técnico de Uso da Terra, 2013).

No processo de ocupação do território e gestão do espaço existem duas grandes ordens de fatores que podem influenciar este processo, os naturais e os cultural-econômico. Desta forma se considerado um determinado meio com características específicas de relevo e clima, uma sociedade com hábitos tradicionais mais simples tem o potencial para gerar um nível específico de alterações no território, ao passo

que no mesmo ambiente uma sociedade com maior desenvolvimento tecnológico e disponibilidade de recursos financeiros pode alterar de forma mais intensa o ambiente (ROSS, 2006).

O desenvolvimento de atividade antrópicas sem a consideração das características naturais do meio e sua relação com as atividades socioeconômicas desenvolvidas pode resultar em inúmeras adversidades ambientais como a impermeabilização dos solos, potencialização dos fenômenos erosivos, diminuição da recarga de aquíferos, assoreamento dos corpos hídricos, perda de nutrientes do solo, entre outros.

A identificação da capacidade de suporte do solo é primordial para o planejamento do seu uso no desenvolvimento de atividades industriais, ambientais e agrícolas. Os autores sustentam tal argumento tomando como base o aumento na demanda alimentícia, bem como o crescimento urbano acelerado, e como tais ações resultaram em alterações nos sistemas de produção e tiveram como consequências a exploração excessiva do solo, além de alterações na capacidade de suporte natural (SILVA e SILVA, 2017).

As adversidades causadas pelo uso a terra são reafirmadas por Santos (2015). Segundo o autor ações como a retirada da cobertura vegetal, o aterramento dos corpos hídricos, ocupação de áreas íngremes ou encharcadas e o aumento da impermeabilização do solo apresentam a capacidade de perturbar de forma expressiva os processos naturais, e por consequência gerar inúmeros impactos ambientais e riscos emergentes.

Nesta perspectiva, destaca-se o município de Princesa Isabel, no semiárido paraibano, onde é perceptível a identificação do processo de degradação ambiental intenso. Entre diversos problemas que existem, verifica-se atualmente a expansão da área urbana da sede municipal em direção ao manancial de abastecimento, o açude Jatobá II, e a área ocupada pelo lixão municipal, desativado no ano de 2021.

A respeito das atividades socioeconômicas desenvolvidas no município de Princesa Isabel, observa-se que estas associam-se em sua grande maioria ao:

[...] uso e ocupação do solo e ao desenvolvimento da agropecuária que é realizada de forma tradicional envolvendo atividades extrativistas, uso de agrotóxicos, deposição inadequada de resíduos e efluentes tanto domésticos como agroindustriais. (SILVA, 2017, p.23).

Nessa perspectiva o objetivo desta pesquisa foi avaliar o uso e cobertura da terra no município de Princesa Isabel - PB em uma escala temporal-espacial.

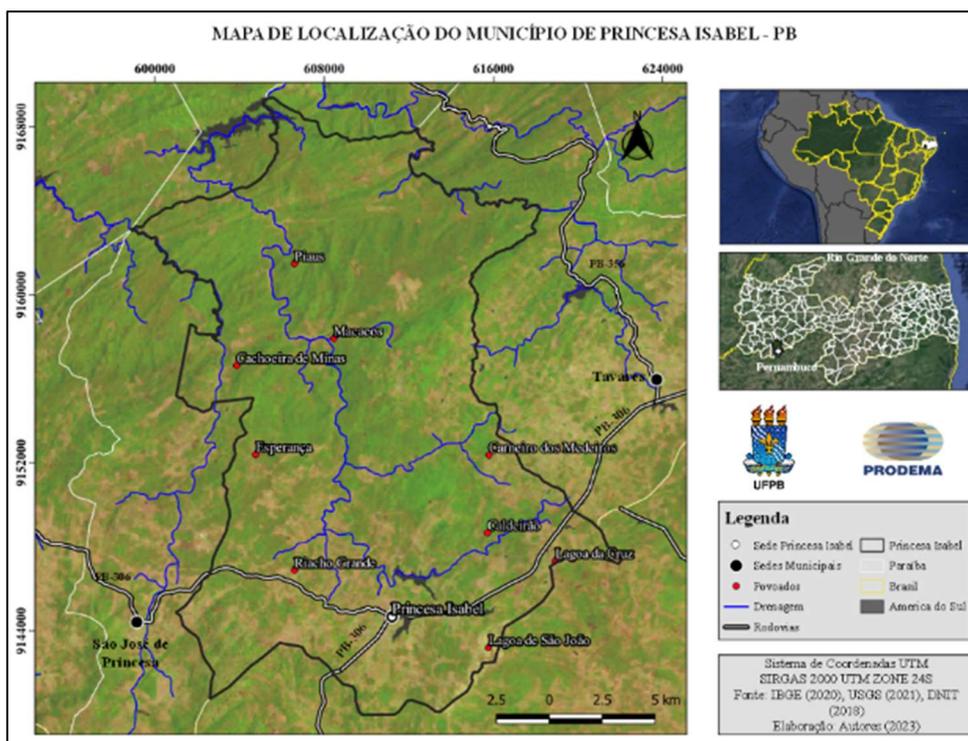
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Área de Estudo

O município de Princesa Isabel (Figura 1) está localizado na região oeste do Estado da Paraíba. Está inserido na Região Geográfica Intermediária de Patos, e na Região

Geográfica Imediata de Princesa Isabel, limitando-se a Oeste com os municípios de São José de Princesa e Manaíra, ao Norte com Nova Olinda e Pedra Branca, ao Leste com o município de Tavares, e ao Sul com os municípios pernambucanos de Quixaba, Flores e Triunfo (IBGE, 2017; CPRM, 2005). A área do município é de 367,975 Km², com altitude média de 683 metros e população estimada de 23.549 habitantes (IBGE, 2020).

Figura 1 – Localização do município de Princesa Isabel - PB

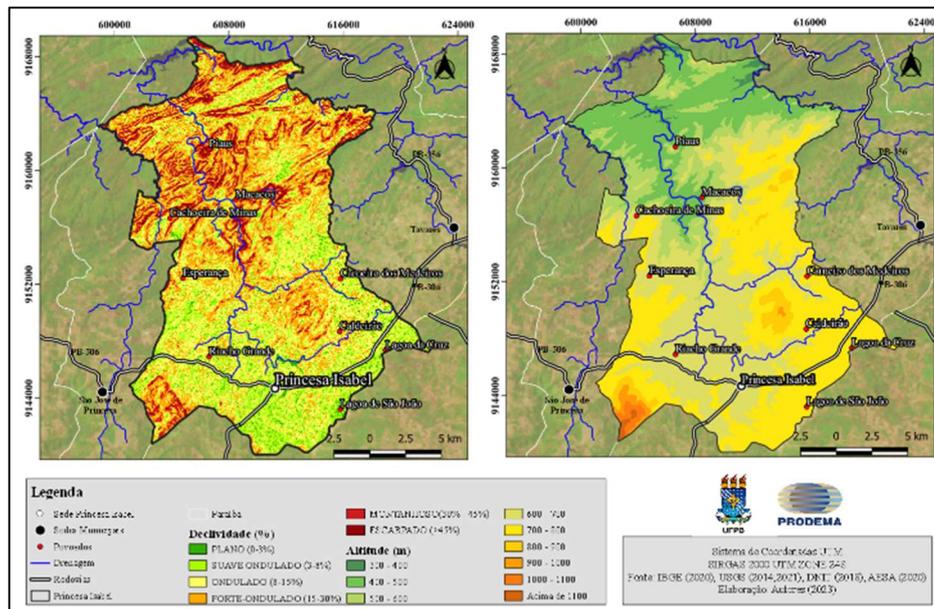


Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

No que se refere ao relevo, o município está alocado na “Planície Sertaneja”, formada por um plano arrasado e composta por um conjunto de serras alongadas e alinhadas ao longo da estrutura geológica regional, cujo domínio topográfico estende-se dos municípios de Manaíra a Teixeira. A sede municipal apresenta altitude de 680 m (CPRM, 2005), e uma prevalência nas classes de relevo plano, suave ondulado e ondulado, especialmente na porção mais sul como pode ser observado na Figura 2.

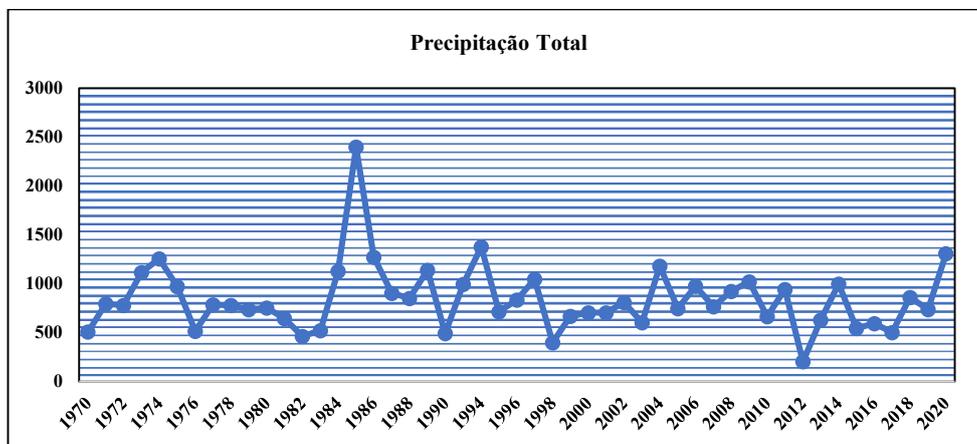
A respeito dos aspectos pluviométricos do município a figura 3 apresenta um gráfico com a variação das chuvas entre os anos de 1970 e 2020, elaborado por meio de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas no estado da Paraíba (AESA – PB) e do Portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).

Figura 2 – Declividade e altitude do município de Princesa Isabel – PB



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Figura 3 – Precipitação anual em mm no município de Princesa Isabel – PB (50 anos)



Fonte: Adaptado de ANA (2018) e AESA (2020)

Métodos

O desenvolvimento do trabalho se deu por meio de levantamento bibliográfico, seguido de atividades de campo, aquisição de dados matriciais e vetoriais necessários para o estudo, processamento digital das imagens de acordo com suas características e geração dos mapas de uso e cobertura da terra. Todos os

procedimentos de manipulação dos dados vetoriais e matriciais foram desenvolvidos no software livre QGIS 3.16.

As imagens utilizadas foram obtidas no site do Serviço Geológico Americano (USGS-United States Geological Survey), em uma escala temporal de 36 anos, selecionando-se os anos de 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020 (Tabela 1). A escolha do intervalo temporal tomou como base a variação pluviométrica da região, para tal fez-se a interpretação dos dados pluviométricos do município. O critério para adoção dos anos de seleção das imagens foi a expressividade de chuvas e estiagem e o intervalo temporal, nesse sentido os anos de 1985 e 2020 foram selecionados por terem sido anos com incidência de chuvas acima da média, e os anos de 1998 e 2017 por serem anos de seca, já o ano de 2005 foi escolhido por apresentar chuvas próximas da média pluviométrica do município como evidenciado na figura 3 e apresentado na tabela 1. O segundo critério adotado para seleção dos anos foi a variação temporal, para tal considerou-se qual o ano de chuvas expressivas mais recente (2020) e o mais antigo (1985), bem como o ano de seca expressiva mais recente (2017) e mais antigo (1998). O critério final para a escolha dos anos foi a disponibilidade e qualidade das imagens.

Por se tratar de um município inserido no bioma caatinga a influência da chuva ocorre de maneira muito rápida na quantidade de biomassa da vegetação, e por consequência em sua resposta espectral. Nesse sentido a análise dos cenários secos e chuvosos permitem uma compreensão mais criteriosa das características ambientais do município. Destaca-se que justamente pelas características do bioma buscou-se a utilização de imagens obtidas entre os meses de agosto e início de setembro, onde a vegetação ainda se encontra sob influência das chuvas e apresentam um menor percentual de nuvens.

Tabela 1 - Dados das imagens utilizadas

Satélite	Órbita	Ponto	Resolução espacial	Datum	Zona UTM	Data	Precipitação total anual
Landsat 5	216	065	30m	WGS 84	24	14/08/1985	2395,9 mm
Landsat 5	216	065	30m	WGS 84	24	19/09/1998	396,2 mm
Landsat 5	216	065	30m	WGS 84	24	06/09/2005	746,3 mm
Landsat 8	216	065	30m	WGS 84	24	06/08/2017	499,8 mm
Landsat 8	216	065	30m	WGS 84	24	14/08/2020	1308 mm

Fonte: USGS (2021), ANA (2018) e AESA (2020)

Todas as imagens utilizadas passaram por um pré-processamento a fim de otimizar os resultados gerados. Desta forma as imagens foram submetidas a algumas operações, tendo em vista o satélite escolhido.

Para as imagens do Landsat 5, fez-se a princípio a calibração radiométrica de forma que o nível de cinza de cada pixel fosse convertido em radiância espectral monocromática, tomando como referência a interpretação da fórmula (Equação 1) estabelecida por Markham e Baker (1987) por Giongo e Vettorazzi (2014).

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} + NC \quad \text{Eq. (1)}$$

no qual L_{λ_i} é a radiância espectral da banda, a_i é radiância espectral mínima, b_i é a radiância espectral máxima, NC é o nível de cinza, e i são as bandas do Landsat 5.

Feita a calibração radiométrica, aplicou-se a fórmula (Equação 2) proposta por Allen et al. (2002) para a obtenção da reflectância monocromática de cada banda, definida por meio da razão entre o fluxo da radiação refletida e o fluxo da radiação incidente (Giongo e Vettorazzi, 2014).

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} * \cos\theta * dr} \quad \text{Eq. (2)}$$

sendo ρ_{λ_i} a reflectância monocromática das bandas, K_{λ_i} é a irradiância solar espectral, banda i no topo da atmosfera (Valores obtidos na Tabela 2), e $\cos\theta$ é o ângulo zenital solar (Equação 3);

$$\cos\theta = 90^\circ - \beta \quad \text{Eq. (3)}$$

onde β é o ângulo de elevação solar, d_r - Inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (em unidade astronômica – UA (Equação 4).

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(DS \frac{2\pi}{365}\right) \quad \text{Eq. (4)}$$

no qual DS corresponde aos dias sequenciais do ano, apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 – Comprimento de onda (λ), coeficientes de calibração (a e b) e irradiância espectral no topo da atmosfera (Toa) para o Landsat 5

Banda	λ (μm)	a	b	Toa ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)
1	0,452 – 0,518	-1,52	169	1983
2	0,528 – 0,609	-2,84	333	1976
3	0,626 – 0,693	-1,17	264	1536
4	0,776 – 0,904	-1,51	221	1031
5	1,567 – 1,784	-0,37	302	220
6	10,45 – 12,42	1,2378	15,3032	N/A
7	2,097 – 2,349	-0,15	16,5	83,44

Fonte: Adaptado de Chander et al. (2009)

Para as imagens obtidas no satélite Landsat 8, o cálculo da reflectância foi feito por meio da aplicação da seguinte fórmula (Equação 5) apresentada no site do USGS:

$$\rho_{\lambda'} = (M \rho * Q_{cal} + A \rho) \quad \text{Eq. (5)}$$

no qual $\rho_{\lambda'}$ é a reflectância planetária, sem correção para o ângulo solar, $M\rho$ é o fator multiplicativo (disponível nos metadados), $A\rho$ é o fator aditivo (disponível nos metadados), e Q_{cal} são os valores de pixel calibrados do produto padrão (DN).

Para a obtenção do valor de reflectância planetária com a correção do ângulo solar, aplicou-se a seguinte fórmula (Equação 6), também obtida no USGS.

Tabela 3 – Número de dias sequenciais no ano

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	60	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	-	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	-	90	-	151	-	212	243	-	304	-	365

Fonte: Allen et al. (2002).

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\text{Sen}(\theta_{se})}$$

Eq. 6

sendo $\rho\lambda$ a refletância planetária com correção para o ângulo solar, e θ_{se} o ângulo de elevação solar local.

A elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra foi feita com base na utilização das imagens de 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020, o processamento se deu por meio da ferramenta miscelânea para a composição de uma imagem com cor real. Para a classificação fez-se a utilização do complemento SEMI-AUTOMATIC PLUGIN

CLASSIFICATION no QGIS, pelo qual foram selecionadas as amostras representantes de cada classe de cobertura, e posteriormente aplicadas para obtenção do mapa de uso e cobertura por meio do cálculo da distância mínima.

As classes adotadas para a classificação do uso e cobertura da terra foram adaptadas e descritas conforme os trabalhos de Souza, Suertegaray e Lima (2011), Silva (2017), Lima e Almeida (2017) e Pereira et. al. (2020), sendo estas: (a) Água: Corpos hídricos artificiais e naturais identificados no município, (b) Área urbana/Solo exposto: áreas degradadas, com ausência de cobertura vegetal, afloramentos rochosos, rios intermitentes, ou áreas contendo edificações, asfaltadas, (c) Vegetação esparsa: vegetação restante após processo de degradação e dispersa, presente em áreas com maior incidência de atividades antrópicas e com manchas significativas de solo exposto, geralmente espécimes arbustivos e ralos. Representando também áreas utilizadas para pastagens, ou agricultura, (d) Vegetação rala: vegetação predominantemente arbustiva, com poucos exemplares arbóreos, representando também áreas utilizadas para pastagens, ou agricultura, (e) Vegetação semidensa: representação de áreas de transição entre a vegetação rala e densa, com a presença de exemplares do extrato arbustivo e herbáceo, com alguns exemplares arbóreos, e (f) Vegetação densa: vegetação pouco degradada, em sua maioria observada em áreas de maior altitude ou margens de rios. Associa-se a esta classe a vegetação de porte arbóreo e arbustivo fechado.

Destaca-se que para a imagem de 2020, em especial, fez-se a aferição da acurácia da classificação, desenvolvida por meio da obtenção da matriz de erro, e do cálculo do índice kappa e da exatidão global, tendo como referência para a obtenção destes produtos o trabalho de Mendes et. al. (2015).

Segundo Congalton e Green (2009), a matriz de erro é uma forma efetiva para representação e identificação da acurácia de mapas temáticos, visto que apresenta de forma clara o nível de acurácia individual de cada classe analisada, com um detalhamento dos erros de inclusão, também chamados de erros de comissão, que estão associados a inclusão de um elemento a determinada classe à qual não pertence, bem como dos erros de exclusão, ou erros de omissão, que se refere a exclusão de um elemento da área qual deveria pertencer.

Ademais, é possível obter por meio desta matriz o grau de acurácia do produto e do usuário, onde a acurácia do produto representa a divisão do valor representativo da classe analisada na diagonal principal pelo total de elementos atribuídos aquela classe, ao passo que a acurácia do usuário é obtida pela divisão do valor da classe analisada na diagonal principal pelo total de pontos de referência utilizados para a classe. Nesse sentido, ambos os produtos são extremamente úteis para uma análise mais criteriosa do grau de acurácia de cada classe identificada no mapa (CONGALTON e GREEN, 2009).

Para a obtenção da matriz de erro (Tabela 4) utilizou-se o complemento AcATaMa - Accuracy Assessment of Thematic Maps do Qgis, no qual fez-se a geração de amostras tomando como referência a proporção da área de cada classe, analisada pelo método estatístico de amostragem aleatória estratificada, cuja verificação se

deu por meio de fotointerpretação aliada ao conhecimento da área de estudo após as visitas in loco.

Tabela 4 – Modelo da matriz de erro

Matriz de erro							
Classes	1	2	3	4	5	6	Total de pontos de referência
1	n11	n12	n13	n14	n15	n16	n1+
2	n21	n22	n23	n24	n25	n26	n2+
3	n31	n32	n33	n34	n35	n36	n3+
4	n41	n42	n43	n44	n45	n46	n4+
5	n51	n52	n53	n54	n55	n56	n5+
6	n61	n62	n63	n64	n65	n66	n6+
Total de pontos classificados	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n

Fonte: Adaptado de Mendes et. al. (2015).

A obtenção da exatidão global foi calculada pelo próprio Qgis após os procedimentos realizados no AcATaMa, já para a obtenção do índice kappa, aplicou-se a equação 7, descrita por Santos, Peluziu e Saito (2010) e Congalton e Green (2009):

$$\text{Índice kappa} = \frac{D - Q}{T - Q} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde: D refere-se a soma dos elementos da diagonal principal, T o número total de amostras analisadas, e Q é variável determinada pela Equação 8:

$$Q = \sum_{i=1}^k n_{i+} \cdot n_{+i} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde: n_{i+} = O valor total da linha para uma classe analisada, n_{+i} = O valor total da coluna para uma classe analisada. Para avaliação da qualidade da classificação em função do valor obtido para o índice Kappa, fez-se a avaliação segundo o enquadramento (Tabela 5) definido por Congalton e Green (2009):

Tabela 5 – Enquadramento do nível de exatidão da classificação do índice kappa

Índice Kappa	Qualidade
$K < 4$	Ruim
$4 \leq K \leq 8$	Razoável
$K > 8$	Excelente

Fonte: Adaptado de Congalton e Green (2009)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de uso e cobertura da terra foram gerados considerando os métodos descritos, obtendo-se desta forma cinco mapas temáticos representando os anos

Em análise ao mapa de 1985, observa-se que na porção sudeste e leste do município pode-se constatar uma maior prevalência de solo exposto e/ou área urbana, especialmente nas adjacências da sede do município e dos povoados de Lagoa de São João e Carneiro dos Medeiros.

A classe de vegetação rala, apresenta uma distribuição proporcional em todo o município, e bastante expressividade, assim como a vegetação semidensa e densa, o que pode ser justificado pela incidência das chuvas neste ano.

No mapa referente ao ano de 1998 constatou-se uma variação significativa na cobertura do município e distribuição das classes, especialmente das classes vegetativas, que sofreram uma redução expressiva, fato corroborado pelos dados numéricos apresentados na tabela supradita.

Verificou-se no mapa de 1998 um crescimento das áreas de solo exposto/área urbana, especialmente nas parcelas mais ao sul e a leste do município, bem como da vegetação esparsa. Em contrapartida a vegetação densa, semidensa e rala diminuíram consideravelmente.

Essa relação de variação entre as classes de cobertura pode estar associada as influências do regime pluviométrico, tendo em vista que o ano de 1997 apresentou índice pluviométrico acima da média do município (1045,9 mm), o que pode ter incentivado o desenvolvimento expressivo de atividades agrícolas, contudo em decorrência da estiagem em 1998 houve uma perda da colheita, resultando no aumento das áreas de solo exposto, fato este que pode ser constatado ao se comparar os dados entre áreas plantadas e colhidas de 1997 e 1998, que segundo dados do IBGE (2021), 1997 e 1998 apresentaram respectivamente 89,41 Km² e 85,88 Km² de áreas plantadas, e 89,41 km² e 1,15 km² de áreas colhidas, uma perda significativa de produção.

No ano de 2005 observa-se a prevalência das classes de vegetação esparsa e vegetação rala, com a concentração da primeira na porção mais próxima da sede municipal, e da vegetação rala mais ao norte, em cotas altimétricas mais elevadas. Nota-se também a redução das áreas de solo exposto, o que reforça a influência das chuvas na cobertura do município. Ademais, nota-se um acréscimo nas áreas de vegetação semidensa e densa, possivelmente como efeito das chuvas dos anos anteriores.

No mapa de 2017 constata-se o predomínio da vegetação rala em detrimento das demais classes vegetativas, de forma que especialmente as classes de vegetação semidensa e densa podem ter sua redução associada tanto a atividades antrópicas como também a influência das chuvas no ano de 2017 e nos anos de 2016 (593,5 mm), 2015 (542,9 mm) e 2012 (202,9 mm), caracterizados por um índice pluviométrico abaixo da média municipal.

O mapa de 2020 apresenta uma situação ainda mais positiva do ponto de vista das classes vegetativas, considerando a prevalência da vegetação semidensa, o crescimento da vegetação densa e uma quase equidade entre as classes de vegetação rala e esparsa.

Destaca-se que para o ano de 2020, considerando a realização das visitas in loco fez-se o cálculo da acurácia da classificação por meio da matriz de erro (Tabela 7), construída após análise de 412 amostras geradas proporcionalmente a distribuição da área das classes no município.

Tabela 7 – Matriz de erro para análise da acurácia da classificação de 2020

Classes	Água	Solo Exposto Área urbana	Vegetação esparsa	Vegetação rala	Vegetação semidensa	Vegetação densa	Pontos de Referência
Água	5	0	0	0	0	0	5
Solo Exposto Área urbana	0	18	4	0	0	0	22
Vegetação esparsa	0	6	78	14	0	0	98
Vegetação rala	0	0	6	95	4	0	105
Vegetação semidensa	0	0	0	13	111	5	129
Vegetação densa	0	0	0	0	3	50	53
Pontos classificados	5	24	88	122	118	55	412

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Com base nos dados da matriz de erro obteve-se a porcentagem de exatidão global para classificação, calculada pelo QGIS na geração dos dados, obtendo-se um valor de 86,65%, e por meio dos dados apresentados no quadro, bem como pela aplicação das operações matemáticas descritas na seção de procedimentos metodológicos foi calculado o índice kappa, cujo valor foi de 82,52%. Tais valores ao serem enquadrados nos parâmetros discutidos por Congalton e Green (2009) podem ser avaliados como excelentes.

Para uma análise mais criteriosa dos dados da matriz de erro, gerou-se os dados de acurácia do produtor e do usuário, permitindo desta forma a compreensão do grau de acurácia associado a cada classe do mapa (Tabela 8).

Tabela 8 – Acurácia do produtor e do usuário para a classificação de 2020

Classes	Acurácia do produto (%)	Acurácia do usuário (%)
Água	100	100
Solo Exposto / Área urbana	75,00	81,82
Vegetação esparsa	88,64	79,59
Vegetação rala	77,87	90,48
Vegetação semidensa	94,07	86,05
Vegetação densa	90,91	94,34

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Como apresentado nos quadros, para a classe de solo exposto e área urbana foram enquadradas 18 amostras, todavia o número de pontos classificados nesta classe foi de 24, uma omissão de 6 amostras que foram definidas como vegetação esparsa, resultando em uma acurácia do produtor de 75%. Todavia sob a ótica do usuário observa-se que se mantém a quantidade de amostras classificadas como área urbana e solo exposto (18), entretanto é evidenciado que era esperado a categorização de 22 amostras desta classe, das quais 4 foram identificadas como vegetação esparsa, o que resultou em uma acurácia de usuário de 81,82%.

No caso da classe de vegetação esparsa a acurácia do produtor obtida foi de 88,64 %, considerando a definição de 78 amostras como representantes desta classe, contudo classificou-se 88 amostras, uma omissão de 10 amostras das quais 4 haviam sido classificadas como área urbana e solo exposto, e 6 como vegetação rala. Já, a acurácia do usuário foi de 79,59 %, visto que se esperava a classificação de 98 amostras, no entanto 14 foram identificadas como vegetação rala e 6 como área urbana e solo exposto.

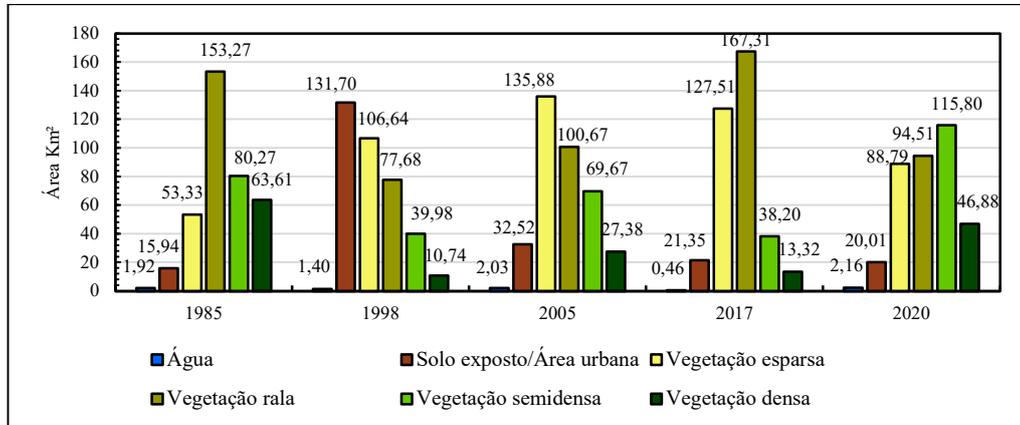
Para a vegetação rala cujo valor na diagonal principal foi de 95, notou-se uma omissão de 27 amostras, visto que foram classificados 122 pontos, estando estas distribuídas entre as classes de vegetação esparsa (14), vegetação semidensa (13), o que resultou em uma acurácia do produtor de 77,87%. Enquanto a acurácia do usuário foi de 90,48%, visto que se atribuiu 105 amostras de referência, mas o procedimento identificou de que destas seis eram na verdade vegetação esparsa e quatro vegetação semidensa.

Na classe de vegetação semidensa foram classificadas 118 amostras, contudo apenas 111 foram definidas como integrantes desta classe, devido a omissão de 7 amostras indicadas nas classes de vegetação rala (4) e vegetação densa (3), atribuindo a esta classe o valor de 94,07% de acurácia de produtor. A cerca da acurácia do usuário desta classe (86,05%), das 129 amostras de referência que se esperava confirmação de inserção na classe, 13 amostras foram caracterizadas como vegetação rala e 5 como vegetação densa.

No caso da vegetação densa a acurácia do produtor foi de 90,91%, tendo em vista a tendo em vista a classificação de 55 amostras no total para esta classe, das quais 5 estavam inseridas erroneamente na classe de vegetação semidensa. No tocante a acurácia do produtor, esperava-se a classificação de 53 amostras, mas constatou-se que 3 destas estavam na verdade eram vegetação semidensa, resultando em um acurácia do usuário de 94,34%. Para a classe de água tanto a acurácia do usuário como do produtor foi de 100%,

Para uma melhor compreensão dos fatores que podem estar associados a variação das áreas das classes de uso e cobertura da terra nos 5 anos analisados, faz-se necessária uma visualização deste fenômeno de forma unificada, neste sentido a Figura 5 apresenta a distribuição das áreas destas em Km² em forma de gráfico.

Figura 5 – Área das classes de uso e cobertura da terra no município de Princesa Isabel nos anos estudados



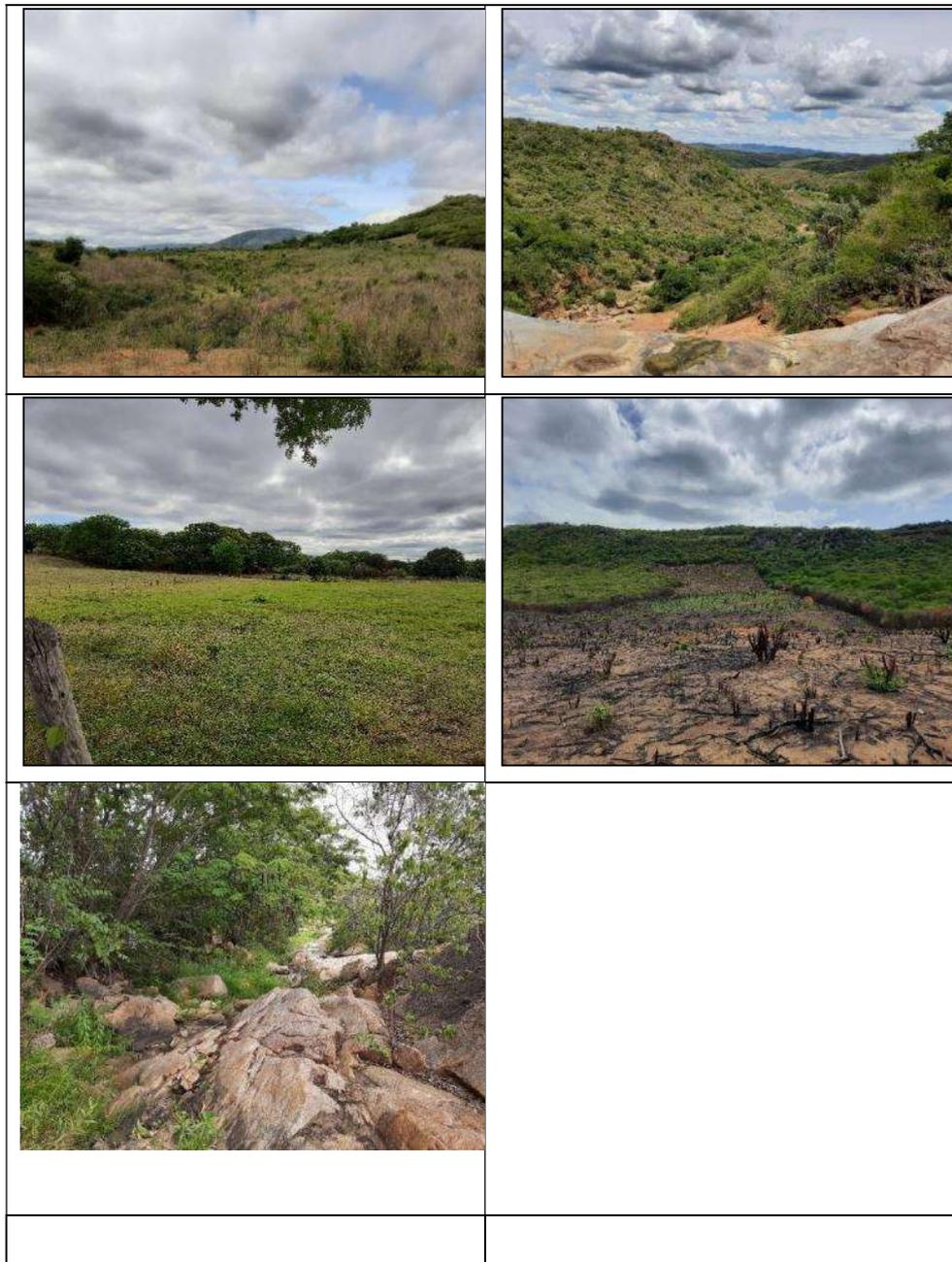
Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

No gráfico é possível perceber que nos em 1998 e 2005 a classe de vegetação esparsa apresentava uma maior representação entre as coberturas vegetativas, fato que pode estar associado ao desenvolvimento intenso da agricultura na região durante estes anos, contudo ela sofreu uma redução gradual nos anos seguintes, dando espaço para o desenvolvimento da vegetação rala, bem como da vegetação semidensa e densa.

O aumento nas classes de vegetação como discutido por Silva (2017) pode estar associado a redução da classe de solo exposto em decorrência do êxodo rural motivado fenômenos como a seca, a busca por oportunidades para otimização da qualidade de vida, acesso à educação, inserção no mercado de trabalho fora do nicho da agricultura e pecuária. Fato este, corroborado pelos dados do censo do IBGE (1991, 2010), visto que em 1991 a população rural representava 49,84% dos moradores do município, contudo em 2010 estes eram 31,74%.

O abandono das terras antes utilizadas para os cultivos ou pastagem permite que um processo de regeneração da vegetação mesmo que lenta ocorra nestas porções antes degradadas, como pode ser observado na Figura 6a.

Figura 6 – (a) Área com vegetação em processo de regeneração, (b) área elevada com vegetação semidensa e densa, (c) área com indícios de utilização para pastagem, (d) supressão vegetal em área de declividade acentuada, (e) leito de rio seco, porém com presença de vegetação de médio e grande porte em suas margens



Fonte: Autores (2021)

No tocante as classes de vegetação semidensa e densa, são observadas estas classes em especial nas áreas de maior elevação e declividade, onde a altitude geralmente varia dos 700 aos 1100 m, e o relevo é normalmente forte ondulado ou montanhoso, como observado na Figura 6b. Esta condição de preservação da vegetação de maior porte pode estar associada a dificuldade de acesso, como também no desenvolvimento de práticas agrícolas ou de pecuária, fato este

também discutido por Pereira et al. (2020) e Nascimento, Lima e Lima (2014) que observaram em seus trabalhos uma relação direta entre o relevo e os padrões vegetacionais, onde áreas de maior elevação apresentam um padrão de preservação mais expressivo. Em contrapartida áreas com relevo mais plano ou suave ondulado e de menor altitude, no caso do município nas cotas altimétricas que variam dos 600 a 700 m, o acesso para intervenções antrópicas é facilitado (Figura 6c) e por consequência existe crescimento na degradação ambiental, como observado nas áreas que apresentam maior expressividade de solo exposto e área urbana e vegetação esparsa. Todavia, é imprescindível destacar que apesar de não se apresentarem como tão oportunas ao desenvolvimento de atividades antrópicas, parcelas de alta declividade ainda sim, são utilizadas para estes propósitos, como evidenciado na Figura 6d. Como demonstrado na Figura 6d, observa-se evidências de ações de supressão da vegetação por meio de queima, possivelmente para ao desenvolvimento de culturas, o que é preocupante visto a sua declividade elevada, com relevo variando principalmente do forte ondulado ao montanhoso, como também pelo solo (Neossolos litólicos eutróficos) pouco desenvolvido e mais propício a processos morfo genéticos.

Ademais a realização de queimadas como técnicas para limpeza do solo, observadas em outras localidades do município e constatadas também por Silva (2017) traz consigo inúmeras adversidades, como descrito por Neary et al (1999), ao destacar que os efeitos das queimadas nos ecossistemas podem causar a redução ou eliminação da biomassa acima do solo, como também impactos físicos, químicos e microbianos abaixo do solo, que podem ser benéficos ou deletérios para o ecossistema subterrâneo de acordo com a gravidade dos incêndios.

Queimas mais intensas podem resultar em mudanças nas taxas de sucessão, alterações na diversidade de espécies e nas proporções de carbono e nitrogênio, afetando ainda o funcionamento hidrológico do solo, degradando suas propriedades físicas e perdas posteriores de nutrientes pela erosão, lixiviação ou desnitrificação (NEARY, et. al., 1999).

Um ponto de destaque quanto a distribuição espacial da vegetação semidensa e densa que ocorre principalmente nas áreas de elevação, é que também foi constatado a representação desta classe próximo a corpos hídricos, especialmente durante o período chuvoso, onde se observa esse tipo de vegetação nas proximidades de rios, como evidenciado pela Figura 6e. Tal relação entre o porte vegetativo e quantidade de biomassa e sua relação com os corpos hídricos e a precipitação é um ponto que necessita atenção, visto que a caatinga se apresenta como um bioma de alto poder de resiliência, cuja resposta a presença de umidade acontece rapidamente, mesmo durante chuvas de baixa intensidade (NASCIMENTO, LIMA, LIMA, 2014).

Sob esta perspectiva se traz a discussão sobre os níveis de vegetação presentes nos anos analisados, especialmente nos anos secos (1998 e 2017) e chuvosos (1985 e 2020), visto que nos anos secos a expressividade de classes como a de solo exposto e área urbana e vegetação esparsa pode estar associada tanto as ações antrópicas, como também com o estresse hídrico na vegetação, como foi observado por Silva,

Melo e Galvêncio (2011), que constataram durante o período de estiagem mais severo a prevalência de classes de solo exposto, e pouca expressividade de vegetação com maior porte arbóreo, havendo a predominância da vegetação esparsa e rala.

Em contrapartida nos anos chuvosos observou-se não só uma alta expressividade na classe de vegetação rala, como também nas classes de vegetação densa e semidensa, que podem estar associadas tanto ao processo de regeneração natural, como discutido nos parágrafos anteriores, como também a resposta espectral da vegetação as chuvas intensas nestes anos, o que pode retratar, especialmente no caso da vegetação rala, que nesta classe existe uma representação significativa de áreas de agricultura, visto que estas apresentam aspectos de uma vegetação mais desenvolvida e úmida.

Segundo Pereira (2017) a sazonalidade especialmente na caatinga onde a vegetação é mais sensível a variações meteorológicas, pode acarretar alterações expressivas nos aspectos vegetativos, mesmo em períodos curtos, o que pode afetar índices físicos como o IVDN, como também o processo de classificação do uso e cobertura da terra, gerando confusão em algumas classes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise temporal-espacial do uso e cobertura da terra possibilitou uma melhor compreensão da influência pluviométrica sob a cobertura, especialmente da vegetação, bem como um melhor entendimento das mudanças nas classes de uso e cobertura da terra do município ao longo dos anos, sendo notório o aumento de classes como a vegetação rala, ao passo que áreas de solo exposto reduziram significativamente.

A análise integrada dos mapas de uso e cobertura da terra com os de altitude e declividade permitiu a percepção da prevalência de áreas de vegetação semidensa e densa em porções mais elevadas do município, diferente de áreas mais planas que apresentaram maior concentração de vegetação esparsa e solo exposto. Podendo tal relação estar associada a dificuldades no desenvolvimento de atividades antrópicas em áreas de maior declividade.

A utilização do SIG para a geração e análise dos resultados se mostrou como uma alternativa eficaz e rápida, permitindo uma compreensão mais integrada e otimizada da área de estudo e de suas características.

Por conseguinte, surge como oportunidades para estudos futuros o desenvolvimento de análises mais criteriosas da relação entre os efeitos das chuvas e a reflectância da vegetação, bem como a elaboração e implementação de medidas que possam otimizar o uso e cobertura da terra de forma eficaz, como os instrumentos de planejamento ambiental.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; et al. SEBAL. **Surface energy balance algorithms for land: Advanced training and user's manual**, version 1.0. Idaho: Implementation, 2002. 97p.

AESA. **Precipitação Máxima dos Municípios/Postos no Período de 01/01/2019 até 31/12/2019**. 2020. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2020-05-12&produto=municipio&periodo=personalizado>> Acesso em 05 jan. 2020

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Rede hidrológica nacional**. 2018. Disponível em < <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>> Acesso em 25 set. 2021

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

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. 2. ed. Taylor & Francis Group, 2009, 183p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Princesa Isabel, estado da Paraíba/ Org. João de C. M.; Breno A. B.; Luiz C. de S. J.; Franklin de M., Vanildo A. M., Jorge L. F. de M.** Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 10 p. anexo. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16286/1/Rel_Princesa_Isabel.pdf > Acesso em: 18 jul. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 170p. Disponível em < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>> Acesso em 18 jan. 2020.

_____. **Princesa Isabel**. 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/princesa-isabel>> Acesso em: 20 set. 2020.

_____. **Regiões Geográficas da Paraíba**, 2017. Disponível em: < https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_div_int.shtm> Acesso em: 10 fev. 2020.

_____. **Censo Brasileiro de 1991**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

_____. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010

_____. **Produção Agrícola Municipal**. In: IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>> Acesso em 20 out. 2021

FERREIRA, Aline Batista; FILHO, Waterloo Pereira. ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA DE TRÊS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS - RIO GRANDE DO SUL/BRASIL. **RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, vol.2, n.03, set-dez, 2009, 20-36.

GIONGO, Pedro R.; VETTORAZZI, Carlos A. Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 18, n. 8, p. 833-838, ago. 2014.

LIMA, F. S; ALMEIDA, N. V. Dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal na Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, Paraíba-PB, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 03, p. 699-721, 2017.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **Journal of Remote Sensing**, v.8, p.517-523, 1987.

MENDES, Danilo Ferreira et al. Acurácia temática do classificador por Máxima Verossimilhança em imagem de alta resolução espacial do satélite GEOEYE-1. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 107-118, 2015.

NASCIMENTO, S. S.; LIMA, E. R. V.; LIMA, P. P. S. USO DO NDVI NA ANÁLISE TEMPORAL DA DEGRADAÇÃO DA CAATINGA NA SUB-BACIA DO ALTO PARAÍBA. **OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa – PB, v.8, n.1, p. 72-93, 2014.

NEARY, G.D.; et. al. **Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis**. **Forest Ecology and Management**, 122:51-71, 1999.

PEREIRA, A. K. C.; SANTOS, L. O. L. Mapeamento dos tipos uso e ocupação do solo da região do centro da cidade, Santa Inês –MA. In: VII CONNEPI, 7. 2012. Palmas – TO. Resumos... Palmas –TO. 2012. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/1118/2114> > Acesso em: 10 fev. 2020.

PEREIRA, J. A. V. et. al. Uso e cobertura do solo e comparação entre os índices de vegetação SAVI e NDWI na Área de Proteção Ambiental das Onças, Paraíba, Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 37, n° 2, p. 278 – 298, 2020. Disponível em < <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/245694> > Acesso em 20 out. 2020.

PEREIRA, João Antônio dos Santos. **Impacto da chuva no comportamento dos índices físicos para classificação do uso da terra no submédio do São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal do Pernambuco, Recife - PE, 2017.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para Planejamento Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, J. de O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Revista Mercator**. Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, mai./ago. 2015.

SANTOS, A. R. S.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. **Spring 5.1.2 Passo a passo: Aplicações práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 153p.

SILVA, P. L. F.; SILVA, A. J. Avaliação do uso e ocupação do solo no município de Pilõezinhos-PB, de 1984-2016 utilizando o geoprocessamento. **Revista de Geociências do Nordeste – REGNE**, v. 3, n. 1, p. 48-63, 2017. Disponível em <<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10982>> Acesso em: 24 ago. 2019.

SILVA, D. D. E. **DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E USO DAS TERRAS DO MUNICÍPIO DE PRINCESA ISABEL – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2017.

SILVA, E.; MELO, J.; GALVÍNIO, J.D.; Identificação das Áreas Susceptíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca - PE através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, p. 629-649, 2011.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Evolução da desertificação no Cariri paraibano a partir da análise das modificações na vegetação. Rio Claro: **Revista Geografia**, v. 36, n. 1, p. 193-207, 2011.

USGS - United States Geological Survey. Earth Explorer. 2021. Disponível em <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em 05 out. 2020.

Contato com o autor: viniciusnovo.enge@gmail.com

Recebido em: 27/08/2023

Aprovado em: 13/11/2023