



ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARAÍM – PIAUÍ

Oberis dos Santos **Nascimento**¹; Reurysson Chagas de Sousa **Morais**²; Italo Rômulo Mendes de **Souza**¹; Temístocles Pacheco **Lima**¹

(1 – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, *Campus* Corrente, Especialista em Estudos Geoambientais e Licenciamento, oberis2010@gmail.com; italo_romulo@hotmail.com; temistoclespacheco@hotmail.com, 2 – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, *Campus* Teresina Central, Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Docente, reurysson@ifpi.edu.br).

Resumo: O estudo buscou analisar as mudanças espaço-temporais da cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do alto Paraim (BHAP) por meio da classificação digital para o período de 1985 a 2015. O método utilizado foi o de classificação supervisionada com uso do software QGIS. Os resultados mostram que em 1985 era possível observar pequenas áreas associadas a atividades antrópicas próximas às margens dos rios, tais como agricultura e pastagem. A partir de 1995 percebe-se redução da vegetação natural em 3,1% e aumento da agricultura e pastagem em 25,48% que se manteve em expansão até 2015, percebendo grande área da bacia ocupada por atividades agrícolas e pecuárias, principalmente na região da Chapada das Mangabeiras, onde a maior parte da vegetação natural foi substituída por agricultura. Por meio das formas de uso e ocupação da terra identificada na BHAP percebeu-se que a agricultura e pastagem configuram como sendo a principal forma de alteração da vegetação natural, mostrando que essas ao longo dos anos tendem a contribuir com o escoamento superficial das águas e redução da capacidade de infiltração do solo, sendo necessário elaboração de medidas mitigadoras para o planejamento correto da bacia.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, semiárido, Classificação Supervisionada.

SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE AND OCCUPATION OF THE WATERSHED OF THE ALTO PARAÍM – PIAUÍ



Abstract: The study aimed to analyze the spatial and temporal changes of land use and coverage of the watershed of the alto Paraim (BHAP) by means of digital classification for the period 1985 to 2015. The method used was the supervised classification with the use of QGIS software. The results show that in 1985 it was possible to observe small areas associated with the anthropic activities near the banks of the rivers, such as agriculture and pasture. From 1995 it is perceived reduction of natural vegetation in 3.1% and increased agriculture and pasture in 25.48% that kept expanding until 2015, noticing a large area of the Basin occupied by agricultural and livestock activities, mainly in the region of Chapada das Mangabeiras, where the largest part of the natural vegetation has been replaced by agriculture. By means of the forms of use and occupation of land identified on BHAP realized that agriculture and pasture set as being the main form of alteration of natural vegetation, showing that these over the years tend to contribute with the runoff of water and reduction of the infiltration capacity of the soil, being necessary preparation of mitigation measures for the proper planning of the basin.

Keywords: Remote Sensing, semiarid, supervised classification.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL USO Y OCUPACIÓN DE LA TIERRA DE LA BACIA HIDROGRÁFICA DEL ALTO PARAIM – PIAUÍ

Resumen: El estudio buscó analizar los cambios espacio-temporales de la cobertura y uso de la tierra de la cuenca hidrográfica del Alto Paraim (BHAP) a través de la clasificación digital para el período de 1985 a 2015. El método utilizado fue el de clasificación supervisada con uso del suelo software QGIS. Los resultados muestran que en 1985 era posible observar pequeñas áreas asociadas a actividades antrópicas cercanas a los márgenes de los ríos, tales como agricultura y pastoreo. A partir de 1995 se percibe reducción de la vegetación natural en el 3,1% y aumento de la agricultura y pastoreo en el 25,48% que se mantuvo en expansión hasta 2015, percibiendo gran área de la cuenca ocupada por actividades agrícolas y pecuaria, principalmente en la región de la Chapada de las Mangabeiras, donde la mayor parte de la vegetación natural fue sustituida por agricultura. Por medio de las formas de uso y ocupación de la tierra identificada en la BHAP se percibió que la agricultura y pastoreo configuran como la principal forma de alteración de la vegetación natural, mostrando que éstas a lo largo de los años tienden a contribuir con el flujo superficial de las aguas y, reducción de la capacidad de



infiltración del suelo, siendo necesaria la elaboración de medidas mitigadoras para la planificación correcta de la cuenca.

Palabras clave: Sensación remota, semiárido, Clasificación Supervisada.

Introdução

As atividades antrópicas contribuem direta e indiretamente para a impermeabilização do solo, possibilitando o escoamento superficial das águas e provocando acúmulo de sedimentos e resíduos em fundo de vales, reduzindo a recarga de aquíferos, causando o assoreamento dos rios e lagos (VANZELA et al., 2010; LEITE; FERREIRA, 2013). As bacias hidrográficas estão sujeitas a diversas alterações antrópicas, principalmente no tocante a supressão das vegetações naturais, e obstrução dos leitos dos rios (ZANETTI et al., 2009), as modificações naturais e artificiais na cobertura vegetal influencia na disponibilidade dos recursos hídricos (PORTO, et al., 2008).

O território brasileiro é subdividido em regiões hidrográficas, sendo as principais bacias dos rios, Amazonas, Paraná, Tocantins Araguaia, São Francisco, Parnaíba e Paraguai (ANA, 2016). Na região Nordeste brasileiro, a bacia hidrográfica do rio Parnaíba é considerada uma das mais importantes, tendo como principal curso o rio Parnaíba com extensão de 1.400 quilômetros, possui muitos afluentes, entre eles o rio Gurguéia, que nasce no município de Barreiras do Piauí e tem grande importância hídrica para o sul piauiense, tendo o rio Paraim como um dos seus principais tributários (MMA, 2006).

Os registros mostram que historicamente a ocupação da bacia hidrográfica do rio Paraim (BHRP) foi marcada pela operativa da pecuária e agricultura de subsistência (IBGE, 2017). A região da BHRP possui fitofisionomia de cerrado e caatinga, onde as áreas de cerrado foram consideradas nos últimos anos a última fronteira agrícola brasileira, conhecida como MATOPIBA, que corresponde aos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (EMBRAPA, 2015).

Ainda de acordo com a Embrapa (2015) a região do MATOPIBA responde por grande parte da produção brasileira de grãos e fibras e as suas áreas tem atraído a atenção dos agricultores devido às produtividades crescentes, sendo a soja a principal cultura, seguida do milho, arroz e algodão, porém os avanços na produtividade vêm acompanhados de grandes desafios em relação ao manejo e conservação do solo.



Com o crescente avanço da agricultura e pecuária faz-se necessária a utilização de técnicas que possam auxiliar no monitoramento destas, assim os dados do sensoriamento remoto e as técnicas do geoprocessamento vêm mostrando-se indispensáveis para a análise multitemporal do uso e ocupação da terra, podendo ser realizadas para mapeamentos através da classificação digital de imagens de maneira supervisionada e não supervisionada, permitindo quantificar o quanto a vegetação natural foi alterada além da expansão das atividades antrópicas (ALMEIDA, 2010).

O geoprocessamento consiste em uma tecnologia transdisciplinar, que integra várias disciplinas, equipamentos, programas e utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratamento de informações geográficas, de modo que as técnicas do geoprocessamento associados ao avanço da informática tem possibilitado coletas, armazenamentos, manipulação e visualização de dados sobre o mundo real (CÂMARA et al., 2001). Assim, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) configuram-se ferramentas indispensáveis para o geoprocessamento, facilitando a criação de bancos de dados georreferenciados automatizando a produção de registros cartográficos, servindo de instrumento para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas trazendo agilidade na produção de diagnósticos possibilitando análises mais complexas (COSTA, 2013).

O sensoriamento remoto possibilita obtenção de imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre através da captação do registro da energia refletida ou emitida sem que haja contato físico entre o sensor e o objeto (MENESES; ALMEIDA, 2012), dessa forma, Sommer (2012) considera que o acompanhamento e monitoramento ambiental das alterações da cobertura de uso da terra pode ser realizada com o auxílio do sensoriamento remoto juntamente com as técnicas de geoprocessamento.

A quantificação da cobertura da terra realizada por meio da classificação não supervisionada utiliza algoritmos automáticos e as classes sobre o tipo de uso não são previamente definidas pelo usuário, cabendo ao classificador realizar uma rotulagem pós-processamento para agrupar as classes semelhantes; por outro lado a classificação supervisionada requer conhecimento prévio das classes que pretende definir e o usuário determina as áreas que serão utilizadas como amostras para treinamento do algoritmo classificador, possibilitando o reconhecimento dos padrões espectrais e assim agrupar os pixels considerados semelhantes (ARAÚJO, 2010).



Com a utilização dos SIGs e por meio da classificação supervisionada de imagens torna viável a execução de trabalhos em escalas multitemporal, contribuindo com a obtenção de dados que possam servir como subsídios nas tomadas de decisões, além de quantificar os avanços das ocupações antrópicas. Com a expansão da produção agrícola no sul piauiense surge cada vez mais a necessidade da exploração de novas áreas, resultando na supressão da vegetação natural. Diante do exposto, o presente trabalho objetivou realizar uma análise espaço-temporal das mudanças na cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do alto Paraim (BHAP) por meio da classificação digital para o período de 1985 a 2015.

Procedimentos Metodológicos

Área de Estudo

O rio Paraim é um importante afluente do rio Guruguéia e com grande importância hídrica para o sul do Piauí, nasce na base das escarpas das Chapadas das Mangabeiras no município de Corrente, estado do Piauí (localização aproximada: 10° 31' de latitude sul e 45° 20' de longitude oeste. Tem como seus principais afluentes no alto da bacia os rios Prata, Palmeira e Corrente (XAVIER, 2017).

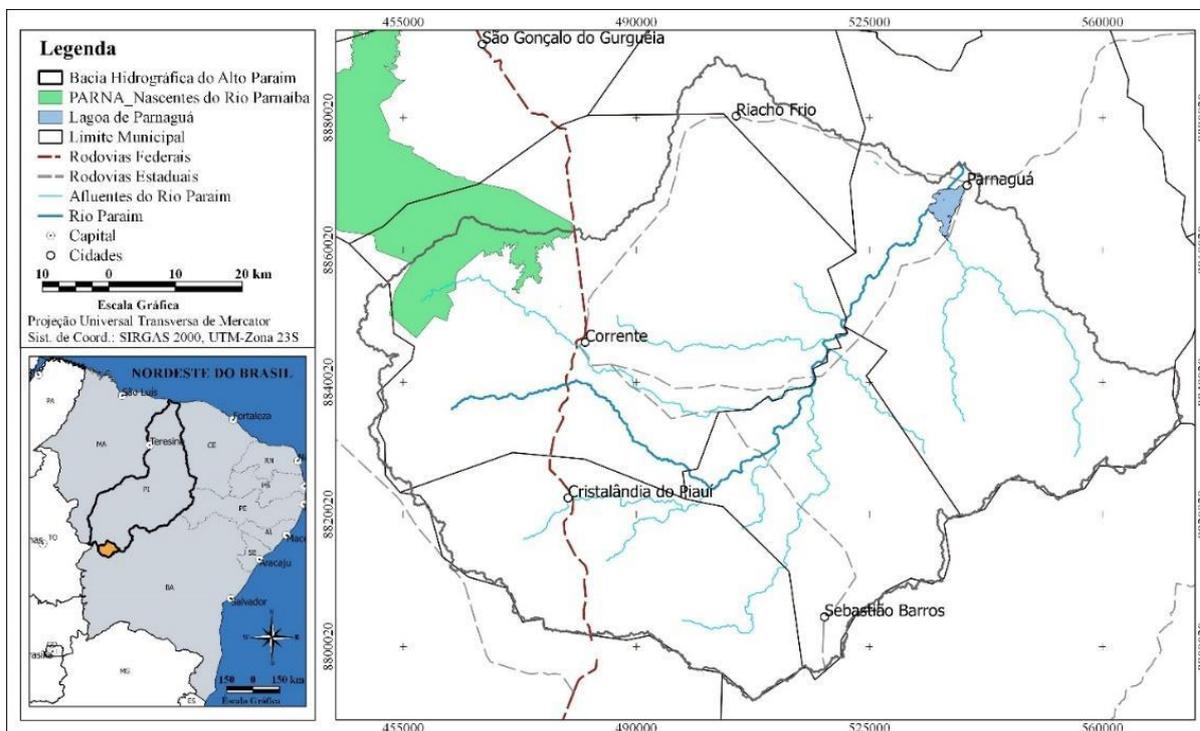
O presente estudo foi realizado na bacia hidrográfica do alto Paraim (BHAP), na qual foi considerada como sendo a área correspondente ao curso do rio que vai desde a sua nascente até a confluência com o rio Fundo, importante afluente do rio Paraim, situado a jusante da lagoa de Parnaguá, coordenadas geográficas: 10° 11' 32'' de latitude sul e 44° 38' 54'' de longitude oeste (Figura 1).

A BHAP possui 6.667 km² de área e perímetro de 627,24 km, sendo que o curso do rio principal tem 138,28 km de extensão. Drena parte dos municípios de Corrente, Cristalândia do Piauí, Sebastião Barros, Parnaguá e Riacho Frio, no estado do Piauí, e uma pequena parte do município de Formosa do Rio Preto, no estado da Bahia.

O clima da região de acordo a classificação Köppen é do tipo Aw (tropical semi-úmido) com a existência de dois períodos sazonais bem definidos, um verão chuvoso que vai de novembro a abril e inverno seco, de maio a outubro, com precipitação média anual de 1000 mm e temperatura média anual variando entre 26 e 28° C (ANDRADE JÚNIOR, et al., 2004).

A região possui vegetação típica de Cerrado tendo algumas fitofisionomias dominantes das quais destacam o Cerrado Sensu Stricto e o Cerradão, além de fragmentos do bioma Caatinga.

Figura 1- Localização da bacia hidrográfica do alto Paraim, Sul do Piauí.



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Aquisições das imagens de satélite e dados de precipitação

Os dados do modelo digital de elevação (MDE) utilizados para delimitar a BHAP foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), correspondente a missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM – TOPODATA). Os dados TOPODATA apresentam resolução espacial de 30 metros resultante do refinamento dos dados SRTM originais (resolução espacial de 90 metros) com base no método de *krigagem* (INPE, 2011).

Com o intuito de padronizar o mapeamento da cobertura de uso da terra entre 1985 e 2015, em relação a resolução espacial e espectral, foram utilizadas imagens do mesmo satélite, no entanto devido tratar de estudo multitemporal utilizou-se imagens de mais de um sensor presente nos satélites da série Landsat, o *Thematic Mapper* (TM) e o *Operacional Land Imager* (OLI).

Para identificar a ocupação da terra da BHAP, foram selecionadas imagens do satélite Landsat, sensor TM, órbita/ponto 220/067, referente aos anos de 1985, 1995, 2005 e do sensor OLI, órbita/ponto 220/067, correspondente ao ano de 2015, obtidas gratuitamente no site do *United State Geological Survey* (USGS). As imagens adquiridas referem-se às datas de



23 junho 1985, 03 junho 1995, 14 junho 2005 e 12 julho 2015 e foram escolhidas considerando o critério da baixa cobertura de nuvens.

Devido à ausência de estações pluviométricas física para a região de estudo optou-se por utilizar dados de precipitação estimados por satélite disponibilizados pelo *Goddard Earth Sciences Data And Information Services Center* (GES DISC) da Agência Espacial Americana (NASA) por meio da plataforma GIOVANNI, acrônimo para *GES DISC Interactive Online Visualization And Analysis Infrastructure* (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). Essa aplicação *web* permite a visualização e análise de dados ligados às ciências da Terra, dentre eles diversos parâmetros atmosféricos com a precipitação, temperaturas e aerossóis.

Os dados de precipitação utilizados foram estimados por meio de múltiplos sensores a bordo de diferentes plataformas orbitais, tais como a *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), que se manteve operacional no período de 1997 a 2015, e sua sucessora, a missão *Global Precipitation Measurement* (GPM), operacional de 2014 até o presente, ambas uma parceria da NASA com a Agência de Exploração Espacial Japonesa (JAXA).

Foram utilizados os dados TRMM_3B43, versão 7, que disponibiliza os valores acumulados mensais de precipitação em milímetros (mm) para o período de 01/01/1998 a 31/12/2015, no formato *Network Common Data Form* (NetCDF). Posterior os arquivos foram importados para o programa ArcGIS, versão 10.3, no qual foram convertidos em imagens. A escolha desse intervalo temporal deu-se em função da disponibilidade de dados na plataforma GIOVANNI.

A preparação do banco de dados em ambiente SIG demandou a criação de uma malha de pontos, no formato *shapefile* (.shp), com espaçamento compatível com a resolução espacial da base de dados que é de 0,25° x 0,25° (27,7 x 27,7 km), que resultou num total de 16 pontos que passaram a constituir as estações virtuais de análise climática da BHAP.

Pré-processamento

O pré-processamento das imagens consiste em técnicas de geoprocessamento que tem como objetivo prepará-las para serem utilizadas, visando corrigir imperfeições geométricas, radiométricas e interferência da atmosfera (BATISTA; SANTOS, 2011).

As imagens do satélite Landsat sensor TM e OLI passaram por pré-processamentos que consistiu na correção atmosférica de cada imagem a partir do método *Dark Object Subtraction* (DOS), além do recorte com base na feição da BHAP, e projeção de todas as



imagens para o hemisfério sul, zona 23, sistema de referência SIRGAS 2000. O método DOS consiste na correção do espalhamento atmosférico, na qual os números digitais (ND) da imagem de satélite são utilizados para estimar as interferências atmosféricas, sendo ignorada a absorção atmosférica (ALMEIDA et al., 2015). A correção atmosférica foi realizada no software QGIS versão 2.18.7, complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), com o intuito de minimizar os efeitos atmosféricos na radiância das cenas. Para Almeida et al. (2015) a correção atmosférica é necessária sempre que pretende trabalhar com dados multitemporais, possibilitando que os dados tenham a mesma escala radiométrica.

Processamento dos dados

A delimitação do BHAP foi realizada no software QGIS, extensão *Terrain Analysis Using Digital Elevation Model* (TauDEM), composta por conjunto de ferramentas a qual possibilita que seja realizada a delimitação de bacias hidrográficas de maneira automática (TARBOTON, 2011).

A classificação digital de imagens a partir do treinamento supervisionado consiste em extrair informações contidas em uma imagem para reconhecer padrões e objetos homogêneos, sendo o método Máxima Verossimilhança (MAXVER) o mais comumente utilizado (ARAÚJO, 2010).

No processo de classificação supervisionada foram utilizadas as imagens falsa-cor com base nas seguintes composições RGB: 543 para as imagens do sensor TM do satélite Landsat 5; e 654 para imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8.

Na etapa de obtenção das amostras, ou seja, treinamento supervisionado, foram definidas cinco classes, a saber:

- i. Água: Englobam corpos d'água superficiais, podendo ser naturais como rios, lagos e lagoas quanto corpos d'água artificiais.
- ii. Solo exposto e área construída: Identificadas como sendo áreas sem a presença de cobertura vegetal, podendo ser estradas, edificação, solo nu, afloramento rochoso.
- iii. Agricultura/pastagem: Definida como espaço utilizada para a produção de alimentos, ou pastagem, como também as que foram modificadas e colocadas em pousio, porém a vegetação ainda encontra em baixo estado de regeneração. Nas áreas de pastagem o solo está coberto por vegetação, o que em sua maioria são gramíneas ou leguminosas.



- iv. Vegetação natural: Compreende estruturas florestais e campestres, podendo ser florestas e campos naturais ou primários e área em pousio com alto estado de regeneração, ou até mesmo formações florestais arbustivas, herbáceas distribuídas por regiões geográficas diversas.
- v. Outras: Para essa classe considerou-se áreas com declive acentuado presentes em bordas de planalto com elevação superior a 49° de inclinação, e nesse trabalho corresponde também as áreas que no momento da aquisição da imagem não foi possível refletir a radiação solar, sendo identificado como pontos escuros ou com sombra de nuvens.

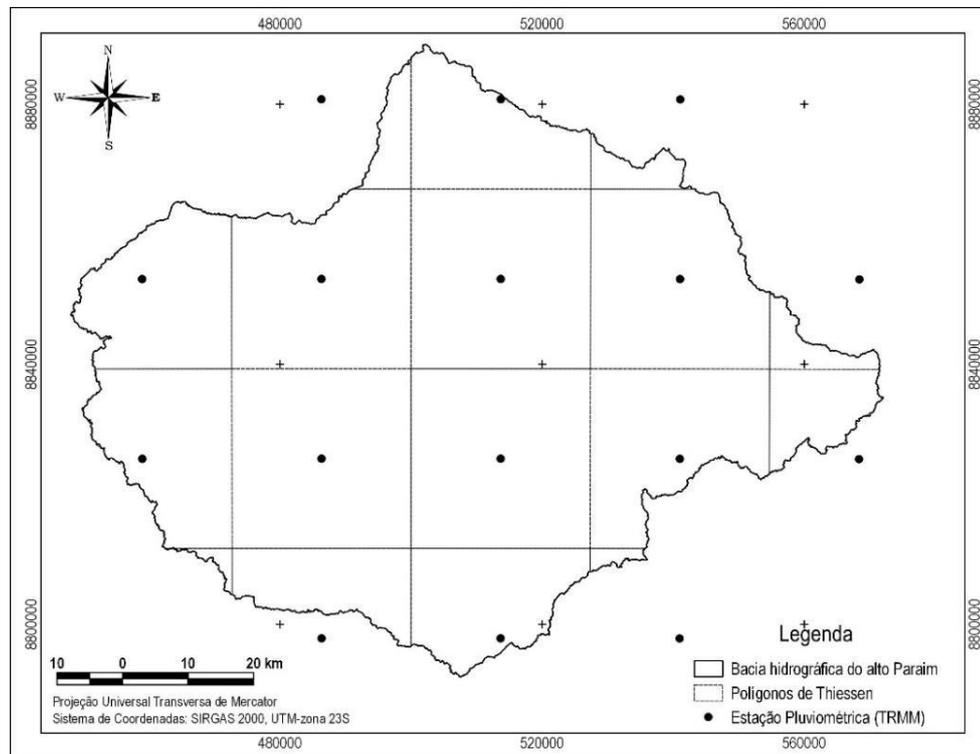
As amostras utilizadas para o treinamento do classificador foram coletadas em diferentes locais da bacia de maneira aleatória e visual, sempre considerando as áreas que melhor representava determinada classe, ao qual para cada ano foram escolhidas 179 amostras, distribuídas entre as cinco classes, sendo 25 para água, 31 para solo exposto/área construída, 41 para agricultura/pastagem, 50 para vegetação natural e 32 para outras. Com uso do software QGIS foi realizada a classificação a partir do treinamento supervisionado das imagens, no qual consistiu na obtenção das amostras para utilização pelo classificador MAXVER.

Para realizar o cálculo de precipitação média vários métodos podem ser utilizados, entre esses o da média Aritmética, *Thiessen* e das Isoietas, sendo o da média Aritmética o mais simples, porém não necessariamente o mais adequado, e entre esses, o método *Thiessen* e das Isoietas são os mais adequados e usualmente utilizados (BERTONI; TUCCI, 2002).

A utilização dos dados de precipitação média anual teve como principal objetivo explicar algumas mudanças apresentados na classificação de uso da terra e a mesma foi obtida através do método dos polígonos de *Thiessen* (figura 2).

Segundo Camurça (2011) esse método consiste na ponderação dos postos considerados mais relativos, assim assume que qualquer ponto dentro da bacia o valor da precipitação é igual à medida do posto pluviométrico mais próximo, assim é calculado a média ponderada da precipitação com base na área de influência.

Figura 2: Representação da bacia hidrográfica do alto Paraim por polígonos de Thiessen.



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Pós Processamento das imagens

Ao final da classificação pelo método supervisionado, foi realizada análise visual na imagem classificada com intuito de detectar inconsistências na classificação e realizar as possíveis correções. Essa análise consistiu em comparar a imagem classificada com a imagem original na composição falsa cor, ajustando sempre que houvesse inconsistência. Em seguida foi gerado uma matriz de confusão ou matriz de erro, para só então obter a precisão geral da classificação e índice de *kappa*.

A geração da matriz de confusão juntamente com o índice *kappa* e a *acurácia* (precisão geral) foram realizadas no software QGIS, utilizando o complemento SPC, e tabulado no Microsoft Excel. O valor da acurácia mínimo aceitável para uma boa classificação é de 85% e do índice *kappa* a comparação segue como base na tabela 1 (FERREIRA, et al., 2007).



Tabela 1 – Qualidade dos mapas temáticos associados ao índice *Kappa*

Valor de Kappa	Desempenho
< 0,00	Péssimo
0,00 < k <= 0,20	Mau
0,20 < k <= 0,40	Razoável
0,40 < k <= 0,60	Bom
0,60 < k <= 0,80	Muito Bom
0,80 < k <= 1,00	Excelente

Fonte: FERREIRA, et al. (2007).

Resultados e Discussão

Os valores absolutos e relativos para cada classe de uso e ocupação da terra nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 estão apresentados na tabela 2. Percebe-se que houve redução na classe de vegetação natural e água e aumento na agricultura/pastagem, não sendo observado variações significativas para solo exposto e área construída.

Os resultados da classificação supervisionada das imagens para os anos de 1985 e 1995 pode ser observado na figura 3. Em 1985 percebeu-se que a vegetação natural ocupava 87,5% da BHAP identificando supressão vegetal mais acentuada próximo às margens dos rios, sendo estas para uso da agricultura e pastagem. A área mais ao norte encontra-se sem presença de vegetação, porém foi caracterizado como sendo solo exposto, permanecendo para os demais anos. Em 1995 as áreas de agricultura e pastagem havia aumentado em 25,48% tendo destaque na região oeste, corresponde às áreas de planalto, como também na parte mais central próximo às margens dos rios.

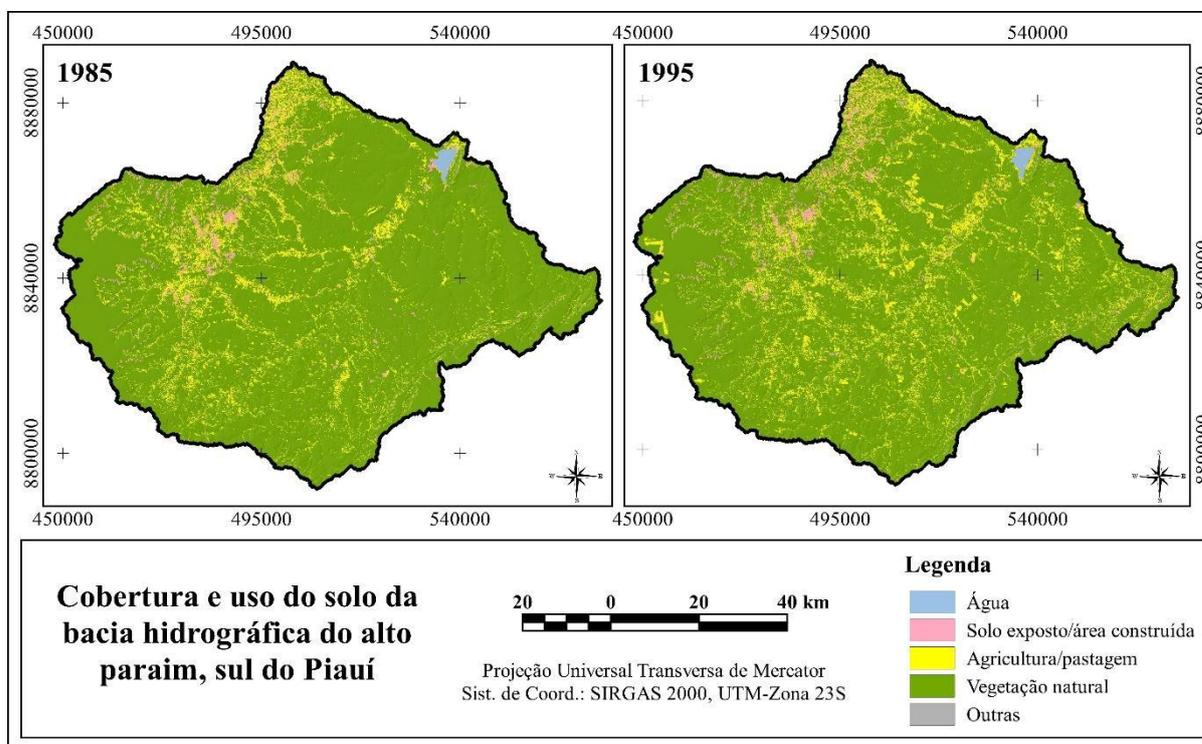
A agricultura e a pecuária são consideradas atividades de grande expressão entre os municípios inseridos na BHAP e em meados dos anos de 1995 a pecuária tinha significativa importância para a região, como o observado na tabela 3 (IBGE, 2017). O aumento dos efetivos no rebanho contribuiu com a redução da vegetação natural, uma vez que, quanto mais cabeças no rebanho mais áreas serão desmatadas para a introdução de pastagem, assim existe relação direta entre aumento do rebanho e aumento das áreas ocupadas por pastagem e consequentemente redução da vegetação natural.

Tabela 2: Evolução do uso e cobertura da terra do alto da bacia do rio Paraim (km²).

Ano	Água	Solo exposto/área construída	Agricultura/Pastagem	Vegetação Natural	Outras					
1985	21,6	0,3%	162	2,4%	644,7	9,7%	5.835,1	87,5%	4,6	0%
1995	20,0	0,3%	182,1	2,7%	809	12,1%	5.652,6	84,8%	3,4	0%
2005	21,1	0,3%	150,4	2,3%	1.282	19,2%	5.202,6	78,0%	10,8	0,1%
2015	2,3	0%	165,1	2,5%	1.752	26,3%	4.620,5	69,3%	127,1	1,9%

Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 3: Cobertura e uso da terra no alto da bacia do rio Paraim em 1985 e 1995.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 3: Efetivo dos rebanhos (bovinos, caprinos e ovinos)

Município/Ano	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Corrente	63721	61669	74423	94339	47342	49466	55990	59607
Cristalândia do Piauí	17162	24390	29288	37112	25195	26125	27330	29610
Parnaíba	38774	42653	50713	64720	36992	38393	43498	47216
Riacho Frio	*	*	*	*	21745	22707	20829	20644
Sebastião Barros	*	*	*	*	22973	24041	29562	30052

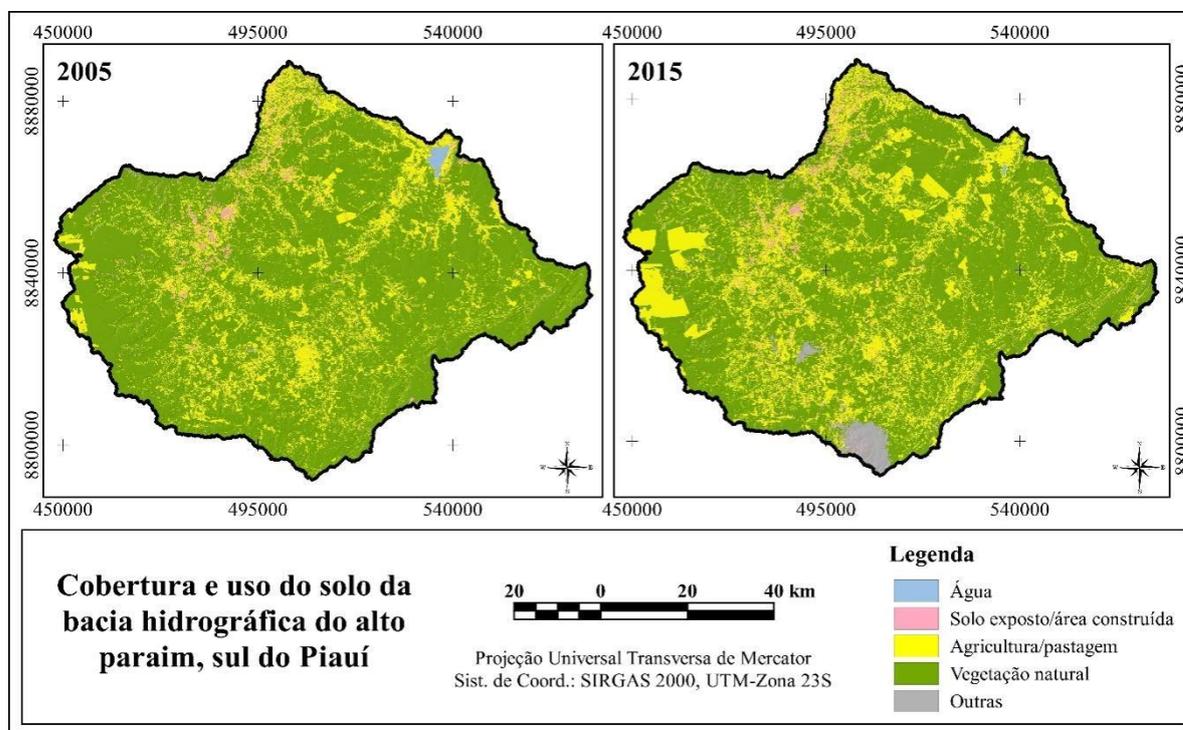
Fonte: IBGE, 2017.

* Sem registros

A figura 4 mostra o mapa de ocupação da terra no ano de 2005, nesta é possível verificar que a vegetação natural ocupava a maior parte da BHAP, cerca de 78%, a agricultura

e pastagem aparecem na sequência ocupando 19,2%, seguida de solo exposto e área construída, com 2,3%. Naquele ano a vegetação natural foi reduzida em 8% se comparado com o ano de 1995, e a agricultura e pastagem aumentou 58,5%. A tabela 4 mostra que a principal responsável por essas alterações foi o aumento das áreas de culturas temporárias, tais como arroz e milho, além do crescimento da produção de cabeças de bovinos nos municípios que integram a BHAP (tabela 3).

Figura 4: Uso e cobertura da terra no alto da bacia do rio Paraim em 2005 e 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A expansão da produção agrícola segundo Aguiar e Monteiro (2005) pode ser observada como ponto positivo quando visto pelo sentido econômico, porém os impactos negativos que tal atividade desenvolvida sem o manejo sustentável provoca ao meio ambiente em sua maioria são quase irreversíveis. A supressão da vegetação natural para a inserção de culturas temporárias faz com que o solo fique na maior parte do tempo sem proteção, intensificando o intemperismo físico, além de facilitar a desagregação de partículas, sendo essas carregadas pelo escoamento superficial das águas para as regiões mais baixas,



provocando assoreamento nos leitos dos rios, além de reduzir as infiltrações das águas (SANTOS et al., 2010).

A vegetação natural em 2015 ocupava 69,3% de toda a BHAP, porém ao comparar com o ano de 2005 houve redução de aproximadamente 11,18%, ocasionada pelo aumento das áreas de produção agrícola, que no mesmo período teve incremento de 36,66%. A análise da evolução de uso e cobertura da terra na BHAP em 2015 demonstrou avanço da agricultura e pastagem em toda a bacia, sobretudo na parte oeste, áreas do planalto. As regiões de cerrado, por possuírem solos profundos facilitam a mecanização contribuindo com o crescimento das áreas plantadas, cenário observado no sul piauiense que nos últimos anos tem vivenciado exploração acelerada, sobretudo para a produção de milho, arroz, feijão e soja (tabela 3) (AGUIAR; MONTEIRO 2005).

Tabela 4: Áreas plantadas com lavouras temporárias (hectares)

Município/Ano	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Corrente	5929	4525	5750	4756	6715	18192
Cristalândia do Piauí	1492	3549	2759	1709	2521	1760
Parnaguá	2418	3858	3381	3565	3696	2836
Riacho Frio	*	*	2609	1011	846	812
Sebastião Barros	*	*	1619	1297	1174	1198

Fonte: IBGE, 2017.

* Sem registros

O aumento da supressão vegetal natural entre os anos de 2005 e 2015 tem relação com a expansão da fronteira agrícola no Cerrado piauiense, o que contribuiu com a expansão das áreas plantadas por agricultura temporária e homogêneas, contribuindo com os processos responsáveis pela erosão do solo, o que pode comprometer a qualidade dos corpos hídricos.

A precisão das classificações das imagens pode ser verificada na tabela 5, na qual é possível perceber que todas obtiveram precisão geral superior a 93% e índice *kappa* em torno de 0,90 em relação às amostras consideradas para o treinamento, o que qualificou o resultado como excelente, de acordo Ferreira et al. (2007).

Tabela 5: Verificação da exatidão do mapeamento.

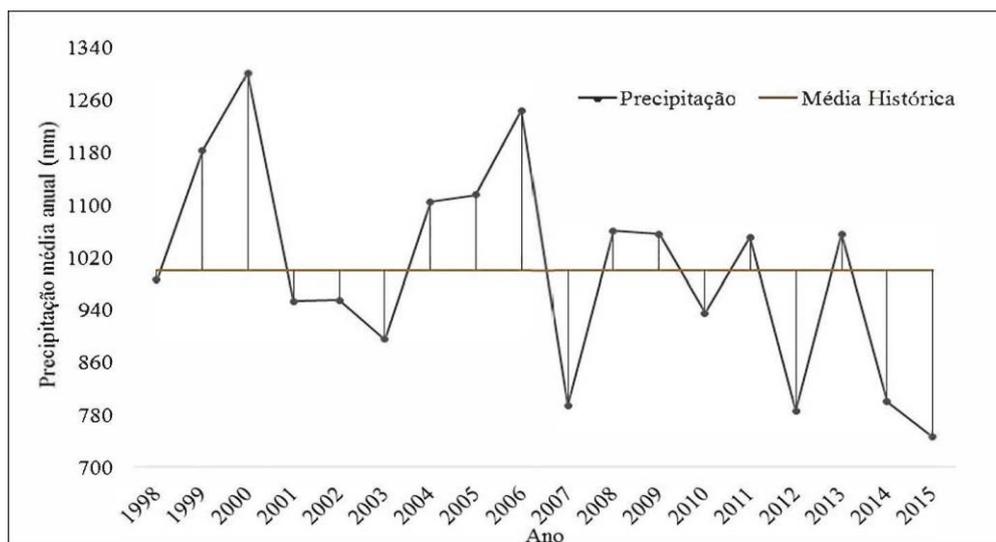
Ano	Acurácia (%)	Índice kappa	Desempenho
1985	96	0,94	Excelente
1995	98	0,98	Excelente
2005	98	0,97	Excelente
2015	94	0,91	Excelente

Fonte: Dados da pesquisa.

O mapeamento das mudanças na cobertura e uso da terra da BHAP permitiu identificar uma redução expressiva nas massas líquidas, sobretudo da Lagoa de Parnaguá que passou de 2.057 ha em 2005 para 183 ha em 2015, uma redução de 91,1%. Essa por sua vez é de grande relevância para o município de Parnaguá, sobretudo no abastecimento público da cidade e prática de lazer, além de ser utilizada como meio de obtenção de renda pelos moradores do município e das regiões vizinhas.

Os registros pluviométricos dos últimos 18 anos mostram que a precipitação média da BHAP para os anos de 1999, 2000 e 2006 estiveram acima da média histórica (1998 a 2015), já após o ano de 2007 os registros apontam uma redução significativa das chuvas na região com valores mais próximos da média histórica, por vezes bastante inferiores, como ocorridos nos anos de 2007, 2012, 2014 e 2015 (figura 5).

Figura 5: Precipitação média anual para a bacia hidrográfica do alto Paraim.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Percebe-se, portanto, uma tendência de diminuição da precipitação média anual da BHAP o que pode ter contribuído para a redução do espelho d'água da lagoa de Parnaguá, em



associação aos fatores decorrentes do avanço do desmatamento para implantação da agricultura e pastagens ao longo dos anos. De acordo com Sousa (2017) as Áreas de Preservação Permanente (APP) da lagoa de Parnaguá na sua maior parte são inexistentes, além das diversas atividades agrícolas desenvolvidas nas suas margens, contribuindo com o assoreamento.

Assim sendo, as baixas precipitações atreladas à supressão da vegetação natural são considerados como fatores responsáveis por obstrução de leitos de rios, já que sem a proteção da vegetação a quantidade de sedimentos carregados aumenta, e as baixas precipitações reduz a vazão dos rios contribuindo para que os sedimentos sejam depositados nas áreas mais baixas da bacia (CABRAL; REIS 2015).

Considerações Finais

O uso do sensoriamento remoto e do geoprocessamento mostrou ser uma importante ferramenta para estudos de ocupação e uso da terra. A análise multitemporal realizada na BHAP revelou que desde o ano de 1985 a bacia já estava sendo explorada para a pecuária, sobretudo por pequenos produtores, porém o avanço da agricultura iniciou-se depois dos anos de 1995, com impacto direto sobre a vegetação natural. Em 2015 a ocupação antrópica tinha expandido em toda a bacia, porém nas regiões do planalto foi observado maior supressão da vegetação natural e aumento da agricultura.

Por meio das classes de uso e ocupação da terra identificada na BHAP percebeu-se que a agricultura e pastagem configura como sendo o principal meio de alteração da vegetação natural, mostrando que essas ao longo dos anos tendem a contribuir com o escoamento superficial das águas e redução da capacidade de infiltração do solo, reduzindo a recarga de aquífero. Assim o trabalho mostrou que deve ser elaboradas medidas de gestão ambiental para o planejamento correto da bacia, sendo considerado a grande expansão das áreas antrópicas

Referências bibliográficas

AGUIAR, T. de J. A. de; MONTEIRO, M. do S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente & Sociedade**, [s.l.], v. 8, n. 2, p.161-178, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2005000200009>. Disponível em:



<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2005000200009&lng=pt&tlng=pt)

753X2005000200009&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 05 fev. 2017.

ALMEIDA, R. de S. **Mudanças no Uso e Cobertura do Solo na Bacia do Rio de Ondas no Período de 1984 a 2009**. 2010. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal da Bahia, Barreiras, 2010.

ALMEIDA, R. V. J.; ARAÚJO, M. D. O. G.; SILVA, A. C.; SENNA, J. A. Comparação dos métodos de correção atmosférica: “6S” e “DOS” processadas em dados do sensor TM/Landsat 5 e correspondentes a região de ocorrência da turfeira P-d-F. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** . João Pessoa: Inpe, 2015. p. 6861 - 6866.

ALVES, V. E. L. Barreiras/Luiz Eduardo Magalhães (BA), Balsas (MA), URUÇUI/Bom Jesus (PI): as novas cidades para o agronegócio nos cerrados nordestinos. In: III SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 3., 2005, Presidente Prudente. **Anais...** . Presidente Prudente: Fflch, 2005.

ANA - Agência Nacional das águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília, 2016**. Brasília: Ana, 2016. 432 p. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2017.

ANDRADE JÚNIOR. A. S.; BASTOS, E. A.; SILVIA, C. O.; GOMES, A. A. N.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. **Atlas climatológico do estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2004.

ARAUJO, C. A. S. de. **Aplicações de técnicas de Sensoriamento Remoto na análise multitemporal do ecossistema manguezal na Baixada Santista, SP**. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21133/tde-02082011-110739/pt-br.php>>.

Acesso em: 13 fev. 2017

BARBOSA, A. M. F. (RE) **Organização Territorial no Cerrado Piauiense**. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Prodepa/ufpi/tropen, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009. Disponível em:



<<http://repositorio.ufpi.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/46/Dissertação.pdf?sequence=1>

>. Acesso em: 13 fev. 2017.

BATISTA, J. L. Ol.; SANTOS, R. L. Análise da dinâmica do uso e ocupação da terra em pequenos municípios baianos do semi-árido brasileiro: o caso de Teofilândia. **Revista de Geografia Norte Grande**, [s.l.], n. 49, p.139-155, set. 2011. SciELOComision Nacional de Investigacion Cientifica Y Tecnologica (CONICYT). <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-34022011000200009>.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. (Org.). **Precipitação: Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ufrgs, 2002. 4 v.

CABRAL, S. L.; REIS, R. S. Influência do uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica. **Geografia (ufpe)**, Recife, v. 32, n. 2, p.147-157, jul. 2015. Disponível em:

<<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/659/646>>. Acesso em: 10 maio 2017.

CAMURÇA, P. J. **Cálculo da precipitação média de forma automática pelo método de Thiessen e avaliação da precipitação na bacia do Jaguaribe**. 2011. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Física, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: <http://www.uece.br/fisica/index.php/arquivos/doc_download/133->. Acesso em: 10 maio 2017.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: Inpe, 2001. 345 p. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2017.

COSTA, C. F. **Análise geoespacial dos problemas socioambientais urbanos da zona de manguezal do município de Bayeux - PB e dos casos de hanseníase de 2001 A 2011**. 2013. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Parnaíba, João Pessoa, 2013. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/5522#preview-link0>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **MATOPIBA: Delimitação, Caracterização, Desafios e Oportunidades para o Desenvolvimento**. Piauí: Embrapa, 2015. Disponível em:



<https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/150514_MATOPIBA_PI.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2017.

_____. **LANDSAT:** Land Remote SensingSatellite. 2013. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html>. Acesso em: 21 mar. 2017.

FERREIRA, E.; DANTAS, A. A. A.; MORAIS, A. R. de. Exatidão na classificação de fragmentos de matas em imagem do satélite Cbers-CCD, no município de Lavras, MG. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: Inpe, 2007. p. 887 - 894. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.10.14.40/doc/887-894.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA:** Pesquisa Pecuária Municipal e Produção Agrícola Municipal. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pmc/brasil>>. Acesso em: 10 maio 2017.

INPE (Org). **TOPODATA:** Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

LEITE, M. E.; FERREIRA, M. F.F. Análise Espaço-Temporal do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Tabuas, norte de Minas Gerais, com aplicação das geotecnologias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 6, n. 2, p.184-194, 13 maio 2013. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/432/404>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

MENESES, P. R; ALMEIDA, T (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Inpe, 2012.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba**. Brasília: MMA, 2006. 184 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011023605.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2017.

NASA – NationalAeronauticsand Space Administration. **PrecipitationMeasurementMissions**. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov/TRMM/mission-overview>>. Acesso em: 28 jul. 2017.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, Ê. P. de; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. **Revista de Geografia**



(recife), Recife, v. 25, n. 1, p.6-20, abr. 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/228747/23160>>. Acesso em: 08 maio 2017.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. e; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 22, n. 63, p.43-60, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200004>.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. GMC: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS®. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17. 2015, João Pessoa. **Anais...** . João Pessoa: Inpe, 2015. v. 17, p. 131 - 139. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0031.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2017.

SANTOS, Eduardo H. M. dos; GRIEBELER, Nori P.; OLIVEIRA, Luiz F. C. de. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 14, n. 8, p.826-834, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000800006>

SAWAKUCHI, H. O. **Alteração no uso e cobertura do solo na bacia do médio Rio Araguaia, Brasil central**. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia Aplicada, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-20092010-104233/publico/Henrique_Sawakuchi.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

SOARES, F. S.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A.. Distribuição espaço-temporal da precipitação na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande-RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.125-138, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862014000100012>.

SOMMER, J. A. P; SALDANHA, D. L. Análise Temporal do Uso e Cobertura dos Solos no Município de São Jose dos Ausentes, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.18-32, jan. 2012. Disponível em:



<<http://www.revista.ufg.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/247>>. Acesso em: 05 maio 2017.

SOUSA, E. P. **Análise das atividades antrópicas associadas ao problema de escassez hídrica da lagoa de Parnaíba-PI**. 2017. 17 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Corrente, 2017.

SOUZA, R. M.; BARBOSA, A. M. F. Reflexões sobre paisagem e território na organização espacial do cerrado piauiense. **Revista de Geografia (recife)**, [s.l.], v. 28, n. 2, p.6-17, jun. 2011. Disponível em:

<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228808/23220>>. Acesso em: 18 maio 2017.

TARBOTON, D. G. **Taudem 5.0. Watersheddelineationusingtaudem::** A tutorial for usingTauDEMtodelineate a single watershed. Utah StateUniversity. 2011. Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/taudem5delineatingasinglewatershed.pdf>>.

Acesso em: 15 jan. 2017.

VANZELA, Luiz. S.; HERNANDEZ, Fernando B. T.; FRANCO, Renato A. M.. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.55-64, jan. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000100008>.

XAVIER, E. C. **Análise descritiva da hidrogeografia do alto da bacia do rio Paraim, PI**. 2017. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Corrente, 2017.

ZANETTI, S. S.; SILVA, J. M. A. da; SOUSA, E. F.; OLIVEIRA, V. de P. S. de; LMEIDA, F. T. Modelagem hidrológica em micro bacia hidrográfica Parte I: Aprimoramento do modelo Hidro Bacia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 13, p.429-434, jun. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n4/v13n4a09.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.