

## **DINÂMICA DO USO E COBERTURA DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNIM – MA, 1984 – 2018**

Rennato Oliveira da **Silva**<sup>1</sup>, Thais de Carvalho **Araújo**<sup>1</sup>, Kamilla Andrade **Oliveira**<sup>2</sup>, Telmo José **Mendes**<sup>2</sup>

(1 – Universidade Federal do Maranhão, [oliveira.rennato@hotmail.com](mailto:oliveira.rennato@hotmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1252-4154>, [araujothays01@gmail.com](mailto:araujothays01@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1315-8515> 2 – Universidade Federal do Maranhão, Docente, [kamilla.andrade@ufma.br](mailto:kamilla.andrade@ufma.br), <https://orcid.org/0000-0002-6401-4132>, [telmo.mendes@ufma.br](mailto:telmo.mendes@ufma.br), <https://orcid.org/0000-0003-3063-1164>)

**Resumo:** O uso de geotecnologias na gestão territorial das bacias hidrográficas, é uma ferramenta que tem se intensificado a cada ano e tornou-se indispensável para o planejamento e manutenção da ocupação territorial na área de abrangência de uma bacia hidrográfica. Esse estudo teve por objetivo avaliar as mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Munim (BHRM) com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 e 8 no período entre 1984 a 2018, realizado o processo de classificação supervisionada e validação da classificação por meio de imagem de satélite de alta resolução. Percebeu-se a tendência a um crescimento progressivo na área total definida como solo exposto levando em consideração um aumento de 13,23% da área em relação ao ano de 1984. Ao longo dos anos a BHRM perdeu uma quantidade substancial de cobertura vegetal. No ano de 2018 predomina a classe de uso do solo “vegetação densa” com 40,76% da área.

**Palavras-chave:** Uso do solo; Vegetação; Geotecnologias.

## **DYNAMICS OF SOIL USE AND COVERAGE IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF RIO MUNIM - MA, 1984 – 2018**

**Abstract:** The use of geotechnologies in the territorial management of river basins is a tool that has been intensifying each year and has become indispensable for the planning and

maintenance of territorial occupation of these areas. This study had as objective to evaluate changes in the vegetation cover of the Munim River basin (BHRM) with the aid of remote sensing techniques. There were utilized images of the satellite Landsat 5 and 8 in the period from 1984 to 2018, realized the process of supervised classification and validation of the classification through satellite image of high resolution. It was noticeable the tendency to a progressive growth in the total defined area as exposed soil considering raise of 13,23% of area in relation to the year of 1984. Through the years the BHRM lost a substantial quantity of the vegetation cover. In the year of 2018 the class of land use “dense vegetation” predominates with 40.76% of area.

**Keywords:** Land use; Vegetation; Geotechnology

## **DINÁMICA DEL USO Y LA COBERTURA DEL SUELO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DE RÍO MUNIM - MA, 1984 – 2018**

**Resumen:** El uso de geotecnologías en la gestión territorial de las cuencas hidrográficas es una herramienta que se ha intensificado cada año y se ha vuelto indispensable para la planificación y el mantenimiento de la ocupación territorial en el área cubierta por una cuenca hidrográfica. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los cambios en la cubierta vegetal en la cuenca del río Munim (BHRM) con la ayuda de técnicas de teledetección. Las imágenes de satélite Landsat 5 y 8 se utilizaron en el período de 1984 a 2018, con el proceso de clasificación supervisado y la validación de clasificación utilizando imágenes de satélite de alta resolución. Se notó la tendencia a un crecimiento progresivo en el área total definida como suelo expuesto teniendo en cuenta un aumento del 13.23% del área en relación con el año de 1984. Con los años, BHRM ha perdido una cantidad sustancial de cubierta vegetal. En 2018, la clase de uso de la tierra “vegetación densa” predomina con el 40.76% del área.

**Palabras clave:** Uso del suelo; Vegetación; Geotecnologías.

### **Introdução**

A cobertura vegetal, especialmente as florestas, desempenham um papel fundamental no controle do escoamento superficial, nas taxas de evaporação, na capacidade de retenção de água, na diminuição do risco de erosão do solo além de exercerem papel essencial no comportamento do ciclo hidrológico local (GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

Devido ao crescente aumento das áreas de produção agropecuárias, da expansão de áreas urbanas associadas a atividades antrópicas, impulsionaram fortes modificações na cobertura vegetal do solo em regiões conhecidas como bacias hidrográficas. O uso impróprio do solo e o manejo inadequado de áreas florestais, resultam na degradação dos recursos naturais, que por sua vez geram consequências como o assoreamento dos rios e em casos mais graves a desertificação (VILELA, 2009).

O artigo 5º do Decreto Estadual nº 27.845/11 que regulamenta a Lei nº 8.149, de 15 de junho de 2004, que institui sobre a Política Estadual dos Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, subdivide o estado do Maranhão em 12 regiões hidrográficas, sendo que as bacias do Rio Parnaíba, Rio Gurupi e Rio Tocantins são de domínio da União e as bacias dos Rios Preguiças, Peria, Munim, Itapecuru, Mearim, Turiaçu, Maracaçumé, Sistema hidrográfico do litoral ocidental e sistema hidrográfico das ilhas maranhenses pertencem ao domínio do estado (MARANHÃO, 2011).

Júnior *et al.*, (2012), relatam que a bacia do Rio Munim tem vivenciado forte crescimento econômico atrelado à exploração dos recursos naturais, que por sua vez vem acarretando grandes alterações na cobertura vegetal dessa região causando impactos negativos em virtude da ocupação dessas áreas.

Segundo Machado *et al.*, (2004), a bacia hidrográfica do rio Munim encontra-se no bioma brasileiro denominado de Cerrado, que, por sua vez é um dos biomas que mais tem sofrido com altos índices de desmatamento correndo sério risco de extinção com estimativa de perda anual em torno de 1,50% ao ano, aproximadamente 3 milhões de hectares/ano, fato agravado pela falta de observância da legislação ambiental.

Com extensão de 2.036.94 km<sup>2</sup>, aproximadamente 203 milhões de hectares, o cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, englobando além da região centro-oeste, partes da região Sudeste, Nordeste e Norte do Brasil perfazendo uma área total de 24% do território nacional (IBGE, 2004).

Segundo Silva (2014), algumas técnicas têm sido utilizadas como ferramenta para acompanhar e avaliar as taxas de desmatamento em regiões de bacias hidrográficas, uma delas é o sensoriamento remoto orbital, tendo em vista que fornece inúmeras informações acerca dos recursos naturais permitindo a análise e dimensionamento das áreas de vegetação, registrando mudanças sazonais e alterações resultantes da ação humana além de que essa ferramenta propicia um acervo de informações relevantes que permitem acompanhar e avaliar

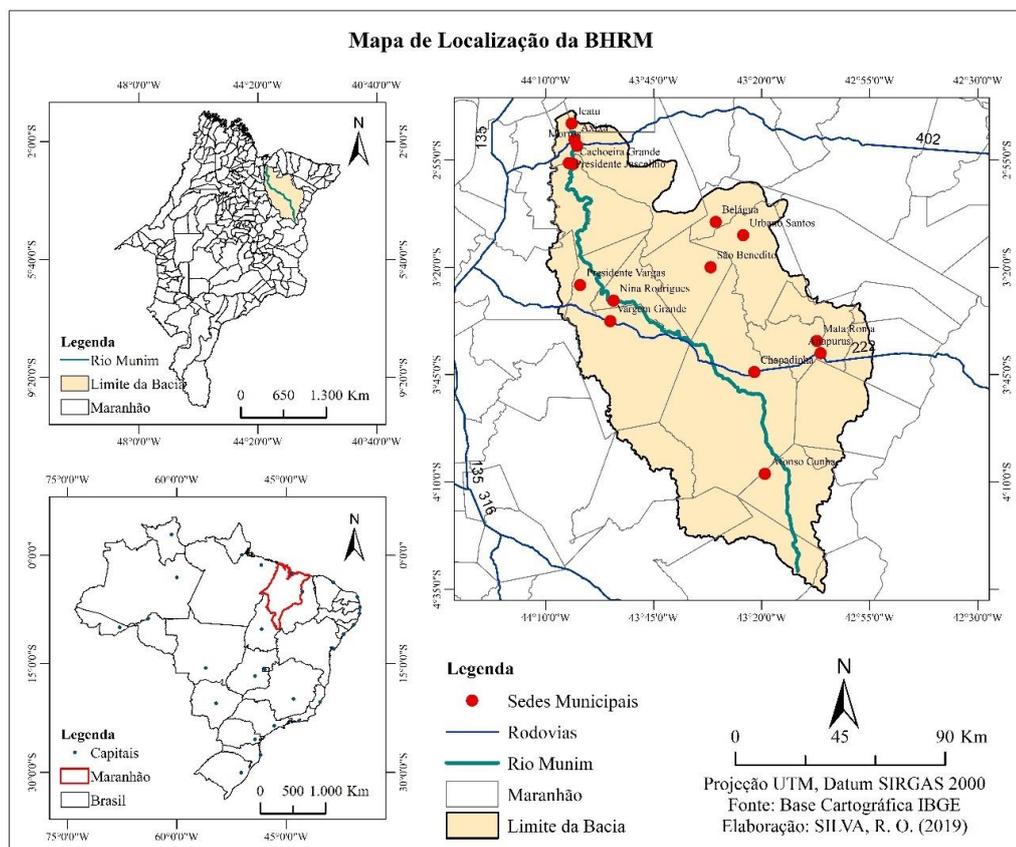
as mudanças ocorridas na cobertura vegetal ao longo dos anos facilitando a análise e a interpretação de dados relacionados aos índices de desmatamento, contribuindo para o planejamento e minimizando os impactos negativos gerados ao meio ambiente.

O uso de geotecnologias na gestão territorial das bacias hidrográficas, é uma ferramenta que tem se intensificado a cada ano e tornou-se indispensável para o planejamento e manutenção da ocupação territorial na área de abrangência de uma bacia hidrográfica. Nesse contexto, o objetivo no estudo foi avaliar as mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Munim com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto entre os anos de 1984 a 2018.

### Material e métodos

A bacia hidrográfica do rio Munim (Figura 1) está localizada na região extremo leste do estado do Maranhão, sendo delimitada pelas coordenadas geográficas: Norte: 3°43'S e 43°24'O; Leste: 4°04'S e 43°01'O; Sul: 4°34'S e 43°07'O; Oeste: 3°22'S e 43°28'O, possui uma área total equivalente a 15.918,28 km<sup>2</sup> correspondendo a 4,79% do território do estado.

Figura 1 Mapa de localização da área de estudo. Fonte: SILVA, R. O. (2019).



Com 371,74 km de extensão, seu curso principal deságua na baía de São José, entre os municípios de Axixá e Icatu. Suas nascentes estão localizadas nos Tabuleiros de Formação Barreiras, a Nordeste da cidade de Caxias, tendo como principais afluentes a margem esquerda os rios Iguará, Paulica, riacho Mocambo, Raiz, da Cruz e São Gonçalo pela margem direita, os rios Preto, riacho Pirangi, Una e da Mata (Maranhão, 2016).

A bacia é composta por 27 municípios, destes, 15 com sedes dentro da bacia, totalizando 320.001 habitantes, equivalente a (4,90%) da população do estado, sendo que 164.905 (51,50%), estão situados na zona urbana e 155.093 (48,50%) na zona rural, com uma densidade demográfica de 20,20 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

As imagens de satélite utilizadas para a classificação do uso e cobertura do solo foram do Landsat-5, sensor TM (Thematic Mapper) e Landsat-8, sensor OLI (Operational Land Imager) de sete bandas espectrais. cenas com órbita/ponto 220/63 e 220/62 ambos obtidas no banco de dados de imagens na plataforma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do United States Geological Survey - USGS (Earth explorer).

No quadro 1 apresenta-se as características dos sensores TM (Thematic Mapper) e OLI (Operational Land Imager).

Quadro 1 Características dos satélites landsat 5 e landsat 8.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução		
		Espectral	Espacial	Temporal
TM	(B1) Azul	0.45 – 0.52 µm	30 m	16 dias
	(B2) Verde	0.52 – 0.60 µm		
	(B3) Vermelho	0.63 – 0.69 µm		
	(B4) Infravermelho Próximo	0.76 – 0.90 µm		
	(B5) Infravermelho Médio	1.55 – 1.75 µm		
	(B6) Infravermelho Termal	10.4 – 12.5 µm	120 m	
	(B7) Infravermelho Médio	2.08 – 2.35 µm	30 m	
OLI	(B1) Azul costeiro	0.43 – 0.45 µm	30 m	16 dias
	(B2) Azul	0.45 – 0.51 µm		
	(B3) Verde	0.53 – 0.59 µm		
	(B4) Vermelho	0.64 – 0.67 µm		
	(B5) Infravermelho Próximo	0.64 – 0.67 µm		
	(B6) Infravermelho Médio	1.57 – 1.65 µm		
	(B7) Infravermelho Médio	2.11 – 2.29 µm		
	(B8) Pancromática	0.50 – 0.68 µm	15 m	
	(B9) Cirrus	1.36 – 1.38 µm	30 m	
	(B10) Infravermelho Termal	10.60 – 11.19 µm	100 m	
	(B11) Infravermelho Termal	11.50 – 12.51 µm	100 m	

Com as imagens selecionadas, o software ArcGIS versão 10.3.1, foi utilizado para realizar composições coloridas das imagens na conformação RGB (em falsa cor), mosaico de duas cenas, visto que apenas uma não cobria a bacia por inteiro, e extração, tendo como máscara o vetor limite da bacia adquirido no sítio eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Posteriormente todos os arquivos foram reprojeto para o Sistema de Coordenadas UTM SIRGAS 2000.

Após o preparo das bases, foram pré-estabelecidas 5 classes para uso e cobertura do solo que se deram pela interpretação visual da imagem além de visitas de campo na área de estudo entre os meses de janeiro a março de 2019, conforme a Tabela 01.

Tabela 1 Classes e características estabelecidas para estudo do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Munim. Fonte: Vale *et al.*, (2018)

<b>CLASSE</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
Corpos d'água	Nesta classe foi incluída toda e qualquer área que apresente exposição de corpos d'água possíveis de observação, tais como: rios, lagos e igarapés.
Nuvem	Nesta classe foi detectada nuvens de baixa altitude que ocupassem em até 10% da área da imagem analisada.
Solo exposto (antrópico)	Nesta classe foram incluídas as áreas entendidas como antropizadas (áreas residenciais, estradas pavimentadas e não-pavimentadas). Além de áreas desflorestadas devido à implantação de atividades agropecuárias ou exploração florestal.
Vegetação densa (primária)	Nessa classe foram incluídas formação de florestas com árvores que podem chegar a altura média de 8 a 15 metros.
Vegetação rala (secundária)	Nesta classe foram incluídas áreas que depois de ter sofrido uma supressão total de sua vegetação original, está em processo de regeneração do tipo arbóreo-arbustiva.

Utilizou-se para a classificação pixel a pixel o algoritmo Máxima Verossimilhança (MAXVER) que considera a ponderação das distâncias entre as medias dos valores dos pixels das classes utilizando parâmetros estatísticos. Esse classificador assume que todas as bandas possuem distribuição normal e calcula a probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe específica (MENESES & SANO, 2012; SILVA, 2014).

Para validação do trabalho foi utilizado uma imagem do satélite SENTINEL 2A, que possui 10 m de resolução espacial. Foram utilizados 275 pontos amostrais, distribuídas por

meio de amostragem aleatória simples, na área de estudo para avaliação da classificação supervisionada (QUEIROZ, *et al.*, 2017).

A partir de desses pontos gerou-se uma matriz de confusão entre os dados gerados e a referência, em sequência foi determinado o índice de exatidão global (Equação 1) e índice *Kappa* (Equação 2).

Equação 1:

$$EG = \frac{A}{n} \times 100$$

onde EG é a Exatidão Global, A o total de acertos e N o número total de pontos amostrais.

Equação 2:

$$K = \frac{[N * \sum_{i=1}^r x_{ij} - \sum_{i=1}^r (x_i * x_j)]}{[N^2 - \sum_{i=1}^r (x_i * x_j)]}$$

onde K é o Índice de exatidão Kappa, r é o número de linhas na matriz,  $x_{ij}$  é o número de observações na linha (i) e coluna(j), e N é o número total de observações (pontos amostrais).

Landis & Koch (1977) associam valores do Índice Kappa à qualidade da classificação onde os valores mais próximos de 1 indicam melhores resultados dos dados classificados.

## Resultados e discussão

Os resultados obtidos foram vinte e três mapas temáticos, entretanto foram selecionados apenas quatro mapas (Figura 2) considerados representativos sendo eles 1984, 1998, 2009 e 2018, uma tabela de transição, um gráfico com os percentuais dos tipos de uso de solo para cada ano, além de valores de índice Kappa e Exatidão global.

A partir desses mapas temáticos foram gerados os dados contidos na Tabela 2 que quantificam, em termos percentuais, cada classe de uso e cobertura do solo na BHRM no período proposto de 1984 a 2018, onde se observa que ocorreram mudanças significativas na paisagem com a vegetação se modificando a cada ano e a paisagem adquirindo novo formato.

Figura 2 Evolução temporal e dinâmica do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Munim, nos anos de 1984, 1998, 2009 e 2018.

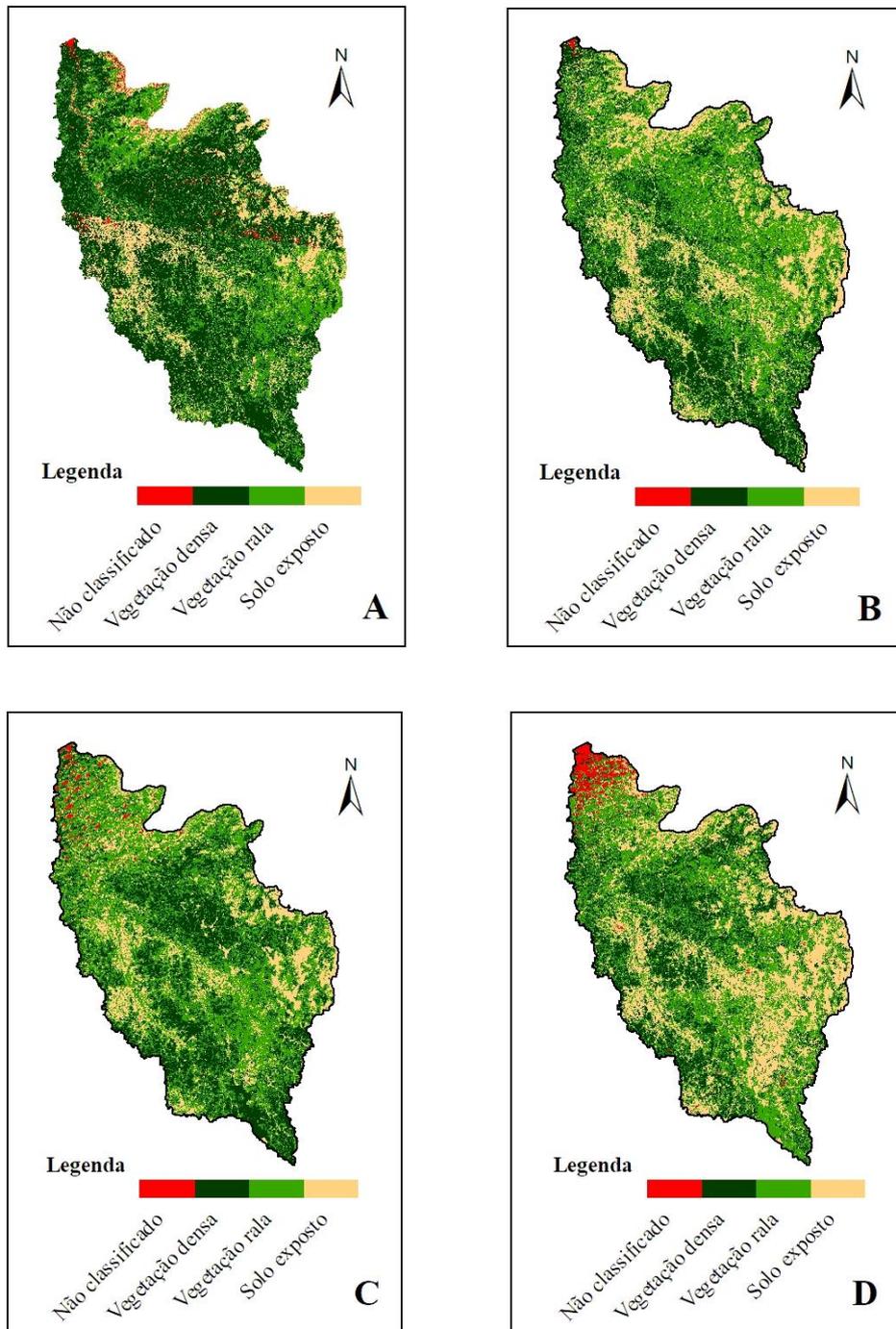


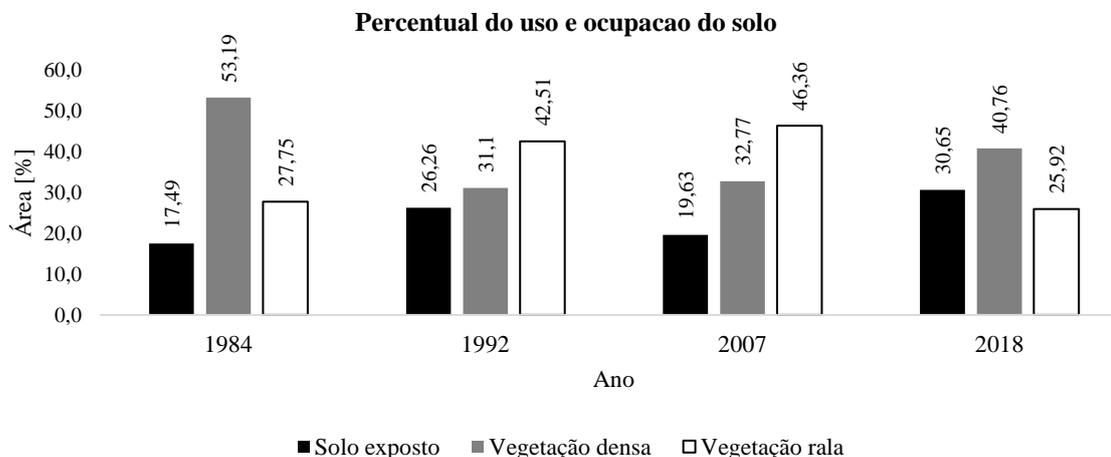
Tabela 2 Valores das classes de uso e cobertura do solo correspondentes aos anos de 1984 a 2018.

Ano	Solo exposto		Vegetação densa		Vegetação rala	
	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>
1984	17,49	2.784,31	53,19	8.466,81	27,75	4.417,24
1986	22,74	3.621,17	50,16	7.985,92	20,92	3.331,19
1987	22,47	3.576,29	41,44	6.597,23	31,87	5.073,85
1988	21,67	3.450,60	43,90	6.987,38	34,25	5.453,11
1989	18,34	2.919,71	47,60	7.576,90	28,58	4.550,32
1990	20,75	3.302,92	53,14	8.459,23	25,07	3.990,56
1991	22,95	3.654,38	44,49	7.082,16	32,42	5.161,31
1992	26,26	4.180,72	31,10	4.950,52	42,51	6.767,20
1998	21,62	3.442,67	36,72	5.845,33	34,51	5.494,57
1999	20,81	3.313,56	46,52	7.405,60	29,87	4.754,43
2000	19,97	3.179,56	40,32	6.418,84	37,56	5.979,65
2001	16,30	2.595,61	39,75	6.328,30	40,72	6.482,67
2004	14,74	2.346,38	33,63	5.354,21	50,04	7.964,42
2005	17,18	2.734,71	35,94	5.722,61	43,68	6.952,91
2006	20,52	3.267,61	33,82	5.384,54	45,37	7.223,26
2007	19,63	3.125,60	32,77	5.217,14	46,36	7.380,40
2008	17,85	2.840,75	43,62	6.943,90	38,25	6.089,64
2009	15,61	2.485,96	44,33	7.056,92	34,52	5.496,02
2011	20,68	3.292,53	35,48	5.648,24	42,10	6.700,89
2015	24,75	3.940,70	33,73	5.369,38	39,28	6.253,36
2016	26,40	4.202,12	35,02	5.529,02	34,73	5.445,48
2017	28,26	4.499,89	55,23	8.792,72	16,32	2.598,79
2018	30,65	4.879,23	40,76	6.479,72	25,92	4.127,40

No ano de 1984 quando se iniciou a avaliação do uso e cobertura do solo, a BHRM se encontrava pouco antropizada, o que pode ser afirmado com base no valor apresentado pela classe solo exposto (Figura 3) , quantificado em 17,49% da superfície da BHRM; para o mesmo ano as áreas de vegetação densa e vegetação rala apresentaram percentuais de 53,19% e 27,75% respectivamente.

Segundo Junior *et al.*, (2012) a antropização da região da Bacia hidrográfica do rio Munim intensificou-se após a década de 1990 devido a diminuição de áreas disponíveis no sul do estado atrelado à vantagem de estar localizada próximo à capital, onde está situado o complexo portuário do Itaquí, transformando-se em uma nova e importante fronteira do estado.

Figura 3 Evolução temporal na dinâmica do uso e cobertura solo da bacia hidrográfica do Rio Munim.



No ano de 1992 a classe vegetação densa apresentou um decréscimo de 22,09% de sua área, passando de 53,19 para 31,1%, enquanto que a classe vegetação rala para o mesmo ano, teve um crescimento expressivo em 14,76% da sua área; as áreas de solo exposto da BHRM experimentaram no ano 1992, um crescimento de 8,77% em relação ao ano anterior passando de 17,49 para 26,26% da área da BHRM.

Esses dados revelam que em pouco mais de uma década a área da BHRM sofreu um processo rápido de transição entre as classes vegetação densa e vegetação rala para a classe solo exposto, culminando no desflorestamento. Júnior *et al.*, (2012) relatam que grande parte da perda da cobertura vegetal se deu pela abertura de novas áreas para cultivo da monocultura de soja na região extremo leste do estado do maranhão que está inserida na área da BHRM, proporcionando impactos negativos decorrentes da ocupação dessas áreas.

Entre os anos de 1992 e 2007 (quinze anos) a classe solo exposto foi reduzida em 1.694,96 km<sup>2</sup> (6,63 %) da área da BHRM, durante esse período ocorreu basicamente uma redução nos índices de desflorestamento; no que diz respeito a classe vegetação densa nota-se basicamente uma estabilização durante esse período tendo em vista que foi acrescida em apenas 1,67% em relação ao ano anterior; a classe vegetação rala teve um leve crescimento de 3,85% da área da BHRM. Esses dados revelam que houve uma possível conversão das áreas de solo exposto para vegetação rala, visto que se verificaram mudanças significativas em ambas. Em termos de dados numéricos, a área de solo exposto passou de 4.180,72 km<sup>2</sup> para 3.125,60 km<sup>2</sup> e a área de vegetação rala de 6.767,20 km<sup>2</sup> para 7.380,4 km<sup>2</sup>.

As mais significativas mudanças nos índices de desflorestamento da BHRM ocorreram no período entre os anos de 2007 a 2018 onde, as áreas de solo exposto tiveram um crescimento substancial passando de 3.125,60 km<sup>2</sup> (19,63%) para 4.879,23 km<sup>2</sup> (30,65%), ou seja, um aumento de 1.753,63 km<sup>2</sup> (11,02%) em relação ao ano de 2007; no período de 11 anos as áreas de vegetação densa tiveram aumento de 7,99% onde boa parte da vegetação rala foi convertida a vegetação densa e solo exposto, tendo em vista a redução significativa em 20,44% dessa classe.

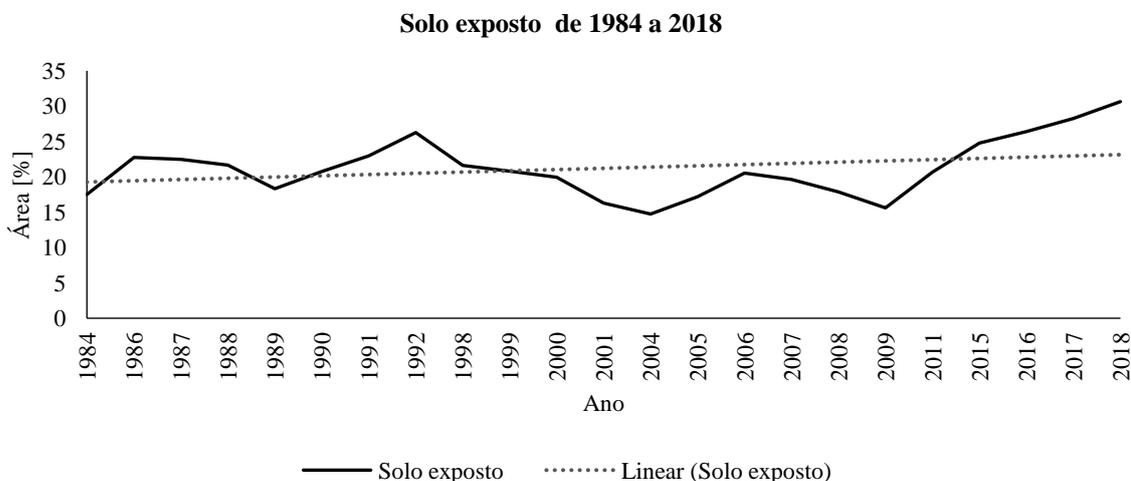
Em estudo realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), aponta que no período de agosto de 2017 a julho de 2018 onde foram analisadas cerca de 118 imagens de satélite Landsat 8/OLI, apontou que o bioma Cerrado sofreu um com desmatamento quantificado em 6.657 km<sup>2</sup> de sua área. O estado do Maranhão foi responsável por 22,10% ou 1.472,67 km<sup>2</sup> ficando atrás apenas do estado do Tocantins com 1.533,21 km<sup>2</sup> ou 23% da área (INPE, 2018).

O relatório técnico de monitoramento do bioma cerrado realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) no período de 2002 a 2008, apontou que os remanescentes de vegetação do cerrado passaram de 55,73% em 2002 para 51,54% em 2008, tendo como base a área total do bioma com aproximadamente 204 milhões de hectares. Em se tratando ao desmatamento, o Cerrado teve sua vegetação suprimida, entre 2002 e 2008, em 85.074,87 km<sup>2</sup> (7,5%), representando uma taxa anual em torno de 14,200 km<sup>2</sup>/ano. O relatório apontou ainda que o estado do Mato Grosso foi o mais desmatado no período, sendo responsável pela redução de 17.598,00 km<sup>2</sup> da área do bioma Cerrado, e, em segundo lugar estava o estado do Maranhão com 14.895,00 km<sup>2</sup>, ou 7% da área do bioma presente no estado (BRASIL, 2009).

Na figura 4 apresenta-se de forma isolada o comportamento da classe solo exposto no período de 1984 a 2018. Nota-se uma variação anual nos índices de áreas desmatadas na BHRM, entretanto, percebe-se a tendência a um crescimento progressivo na área total definida como solo exposto levando em consideração um aumento de 13,23% da área em relação ao ano de 1984.

No período estudado (1984-2018), ganha destaque na substituição da cobertura vegetal para áreas de agricultura/pastagem os municípios de Chapadinha, Anapurus, Mata-Roma, Brejo e Buriti, tendo em vista que esses foram os municípios que mais sofreram com o processo de desflorestamento.

Figura 4 Análise da classe solo exposto no período de 1984 a 2018.



Segundo dados obtidos pela Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais sobre desmatamento e queimadas no estado do Maranhão (Tabela 3), onde aponta os municípios que mais sofreram com os índices de desmatamento no período de 2009-2010 no bioma cerrado pertinente ao estado. Dente esses, destaca-se o município de Chapadinha, tendo em vista que faz parte da área da BHRM. Nota-se que em apenas um ano o município perdeu em torno de 58,35 km<sup>2</sup> de área de floresta.

Tabela 3 Municípios do Maranhão com maior área de desmatamento no bioma Cerrado, no período 2009-2010. Fonte: Brasil & Ibama (2011).

Município	Área do Município (km <sup>2</sup> )	Supressão entre 2009-2010 (km <sup>2</sup> )
Balsas	13.144,33	85,24
Santa Quitéria	1.918,14	73,88
Codó	4.363,32	69,91
Grajaú	7.551,93	68,80
<b>Chapadinha</b>	<b>3.249,58</b>	<b>58,35</b>
Coroatá	2.264,71	51,63
Caxias	5.224,02	45,85

Segundo Maranhão (2011) os vetores do desmatamento no estado do maranhão são classificados como ilícitos ou não sustentáveis, sendo realizados principalmente nos setores econômicos primários como a agricultura, pecuária extrativismos vegetal e a mineração e nos setores secundários, tendo como principais agentes a siderúrgica, madeireira e construção civil.

Pelo Código Florestal Brasileiro, deve ser mantida sob forma de reserva legal cobertura florestal original de no mínimo 20% da área das propriedades rurais localizadas fora da Amazônia legal. Partindo desse preceito, a área desmatada na BHRM até o ano de 2018 foi contabilizada em 30%, ou seja, ainda podem ser desflorestadas algo em torno de 50% da área sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Área de Preservação permanente (Brasil, 2012).

Por meio dos dados estatísticos calculados foi comprovada a eficiência dos sensores orbitais de baixa resolução espacial para detectar áreas desmatadas, onde índice de Exatidão Global foi superior a 98,54% e o índice Kappa indicou um coeficiente de concordância superior 97,81%, que, segundo a classificação de Landis & Koch (1977) foi excelente mostrando o bom desempenho da classificação.

## **Conclusões**

- Com a classificação supervisionada de imagens Landsat foi possível categorizar a cobertura do uso e cobertura do solo obtendo como resposta 5 tipos de classes: vegetação rala e vegetação densa, solo exposto, água e nuvem. Sendo possível verificar a precisão das classificações realizadas por meio dos índices Kappa e de exatidão global.
- As classes de uso e cobertura do solo (UCS) da bacia passaram por uma grande transição entre os anos de 1984 e 2018, com a progressiva substituição das áreas de vegetação densa pelas de vegetação rala e solo exposto.
- As áreas classificadas como solo exposto somaram, até o ano de 2018 um percentual de 30,65% da área da BHRM, um aumento de 13,16% em relação ao ano de 1984. Por outro lado, as áreas de vegetação densa sofreram redução de 12,43% com relação ao ano de 1984.
- Acredita-se que o estudo da evolução temporal do uso do solo, nesse período de 34 anos, apresentado nesse trabalho poderá servir de base para a tomada de decisões na gestão de recursos hídricos dessa importante bacia.

## Referências

- ARRAES, R. A.; Mariano, F. Z. & Simonassi, A. G.. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. *Revista Economia e Sociologia Rural*, 50 (1): 119-140. 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032012000100007>
- ASSAD, E.; CASTRO, R. *Chuvas no cerrado: análise e espacialização*. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1994, p. 443.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas: Cerrado*. Brasília-DF, 2011, p. 74 - 98.
- BRASIL. *Lei. 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 28 de maio de 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm). Acesso em: 10 nov. de 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no bioma cerrado, 2002 a 2008: dados revisados*. Brasília, DF. Ministério do Meio Ambiente, 2009. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/\\_arquivos/relatorio\\_tecnico\\_monitoramento\\_desmate\\_bioma\\_cerrado\\_csr\\_rev\\_72\\_72.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatorio_tecnico_monitoramento_desmate_bioma_cerrado_csr_rev_72_72.pdf). Acesso em: 04 de jan. e 2019.
- GARCEZ, L. M.; ALVAREZ, G. A. *Hidrologia*. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1988, p. 291.
- IBAMA – Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Principais resultados quantitativos do IBAMA no Maranhão anos 2009 e 2010. *In: Superintendência do IBAMA no Maranhão, São Luís, 2011, p. 50 - 62*. Disponível em: [http://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/prevencao-e-controle-do-desmatamento/Plano\\_Estadual\\_Maranhao.pdf](http://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/prevencao-e-controle-do-desmatamento/Plano_Estadual_Maranhao.pdf). Acesso em: 23 de jan. de 2019.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm> Acesso em: 10 nov. 2018.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 nov. 2018.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto de monitoramento do cerrado. Terra Brasilis. Rio de Janeiro, 11 de dez. de 2018. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/dashboard/deforestation/biomes/cerrado/increments>. Acesso: 04 de jan. de 2019.

JÚNIOR, M. G. S.; LUZ, A. C.; BEZERRA, D. S. Formação de educadores ambientais na gestão de comitê de bacia hidrográfica. *RENEFARA*. Goiânia, v. 3, n. 3, p. 81-107, 2012. Disponível em: <http://www.fara.edu.br/sipe/index.php/renefara/article/view/118>. Acesso em: 03 de jan. de 2019.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2529310>. Acesso em: 03 de jan. de 2019. DOI: [10.2307/2529310](https://doi.org/10.2307/2529310)

MACHADO, R. B.; NETO, M. B. R.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GOLÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M.; *Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro*. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF, 2004. Disponível em: <http://cmbbc.cpac.embrapa.br/RelatDesmatamCerrado%20CIBrasil%20JUL2004.pdf>. Acesso em: 22 de nov. de 2018.

MARANHÃO. *Decreto n. 27.845 de 18 de novembro de 2011*. Regulamenta a Lei nº 8.149, de 15 de junho de 2004, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, com relação às águas superficiais, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado. São Luís, MA, 18 de novembro de 2011. Disponível em: <http://www.stc.ma.gov.br/legisla-documento/?id=4690>. Acesso em: 26 de nov. de 2018.

MARANHÃO. *Lei. 8.149 de 15 de junho de 2004*. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado. São Luís, MA, 23 de junho de 2004. Disponível em: <http://www.stc.ma.gov.br/legisla-documento/?id=2016>. Acesso em: 20 nov. de 2018.

MARANHÃO. *Bacias hidrográficas e climatologia do Maranhão*. São Luis, MA. Núcleo Geoambiental, 2016. Disponível em: <https://www.nugeo.uema.br/upnugeo/publicacoes/Bacias%20Hidrogr%C3%A1ficas%20e%20Climatologia%20-%20MA>. Acesso em: 03 de nov. de 2018.

MARANHÃO. *Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no estado do Maranhão*. São Luis, MA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos

Naturais, 2011. Disponível em:

[http://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/prevencao-e-controle-do-desmatamento/Plano\\_Estadual\\_Maranhao.pdf](http://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/prevencao-e-controle-do-desmatamento/Plano_Estadual_Maranhao.pdf). Acesso em: 04 de jan. e 2019.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. *Classificação pixel a pixel de imagens*. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília, DF: Editora da Universidade de Brasília, 2012, p. 198. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em: 23 de dez. de 2018.

QUEIROZ, T. B.; SOUSA, R. S.; BALDIN, T.; BATISTA, F. J.; PEDRALI, L. D.; PEREIRA, R. S.; Avaliação do desempenho da classificação do uso e cobertura da terra a partir de imagens Landsat 8 e rypideye na região central do Rio Grande do Sul. *Revista Geociências*. São Paulo, v. 36, n. 3, p. 569-578, 2017. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/12522>. Acesso em: 03 de dez. de 2018.

SILVA, V. M. *Classificação de imagens por sensoriamento remoto: Análise comparativa das metodologias Pixel a Pixel e Segmentação por Região*. 2014. Monografia (Especialização em Geoprocessamento). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

VALE, J. R. B.; COSTA, J. A.; SANTOS, J. F.; SILVA, E. L. S.; FAVACHO, A. T.; Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. *Inter Espaço*, Grajaú, v. 4, n. 13, p. 26-44, 2018. Disponível em:

<http://www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/7884>. Acesso em: 01 de dez. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.v4n13p26-44>

VILELA, T. A. *Avaliação do desmatamento e seus possíveis impactos nas mudanças climáticas da bacia do rio Turvo Sujo – MG*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.