
IMPACTOS DAS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DAS TERRAS SOBRE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS DO ALTO E MÉDIO CURSO DO RIO ITAPECURU, NORDESTE DO BRASIL

Patricia Barbosa **PEREIRA**

Aluna do curso de especialização em Geoprocessamento e Mestrado em Análise e Planejamento Espacial (MAPEPROF) do Instituto Federal do Piauí, campus Teresina Central.

E-mail: patriiciabarbosaap@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7298-9469>

Reurysson Chagas de Sousa **MORAIS**

Docente dos cursos de graduação e pós-graduação em Geoprocessamento do Instituto Federal do Piauí, campus Teresina Central. E-mail: reurysson@ifpi.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1334-4182>

Histórico do Artigo:

Recebido

Fevereiro de 2022

Aceito

Abril de 2022

Publicado

Junho de 2022

Resumo: O avanço da agropecuária no Cerrado nordestino, resultaram em impactos ambientais associados à alteração do regime hidrológico dos rios. Inserida nesse contexto está a bacia hidrográfica do rio Itapecuru, localizado no estado no Maranhão, nordeste do Brasil. Este artigo busca investigar as consequências ambientais que as mudanças na cobertura e uso da terra têm acarretado sobre os parâmetros de qualidade da água do rio Itapecuru, em seu alto e médio curso. Para tanto, a abordagem metodológica pautou-se no uso de dados do projeto Mapbiomas (1985 a 2019) e os dados hidrológicos da ANA, onde foram analisados em conjunto com as informações de vazão, qualidade da água e precipitação. A partir da análise de uso e cobertura da terra, constatou-se que a BHRI ainda apresenta grande parte da cobertura original preservada, mas já se observa o avanço das pastagens e campos agrícolas. Os resultados apontam uma correlação significativa entre as mudanças na cobertura e uso da terra e vazão e qualidade da água do rio Itapecuru.

Palavras-chave: Análise hidrológica. Geoprocessamento. Rio Itapecuru. Qualidade de Água.

IMPACTS OF CHANGES IN USE AND COVERAGE OF LAND ON HYDROLOGICAL PARAMETERS OF THE MEDIUM AND HIGH COURSE FROM THE ITAPECURU RIVER, NORTHEAST OF BRAZIL

Abstract: The advance of agriculture in the Northeastern Cerrado, resulted in environmental impacts associated with the change in the hydrological regime of rivers. The Itapecuru river basin, located in the state in Maranhão, northeast of Brazil it's inserted in this context. This article seeks to investigate the environmental consequences that changes in land cover and use have entailed on the water quality parameters of the Itapecuru river, in its high and medium course. For this, the methodological approach was based on the use of data from the Mapbiomas project (1985 to 2019), and the hydrolic data of ANA, where it was analyzed together with the information of flow rate, quality of the water and precipitation. From the analysis of the use and cover of earth, it was found that BHRI still present a huge part of the original cover preserved, but it's already possible to see the advance of pastures and agricultural fields. The results point to a significant correlation between the changes of cover and use of the earth and flow rate and the quality of the water from Itapecuru river.

Keywords: Hydrologic Analysis. Geoprocessing. Itapecuru River. Water Quality.

IMPACTOS DE LOS CAMBIOS DE USO Y COBERTURA DEL SUELO EN LOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS DEL CURSO MEDIO Y ALTO DEL RÍO ITAPECURU, NORESTE DE BRASIL

Resumen: El avance de la agricultura en el nororiente del Cerrado, resultaron impactos ambientales asociados a la alteración del régimen hidrológico de los ríos. Inserta en este contexto la cuenca hidrográfica del río Itapecuru, ubicada en el estado de Maranhão, noreste de Brasil. Este artículo busca investigar las consecuencias ambientales que los cambios en la cobertura y uso del suelo han tenido sobre los parámetros de calidad del agua del río Itapecuru, en su curso alto y medio. Para ello, el enfoque metodológico se basó en el uso de datos del proyecto Mapbiomas (1985 a 2019) y datos hidrológicos de la ANA, donde se analizaron junto con información de caudal, calidad del agua y precipitación. Del análisis de uso y cobertura de la tierra, se encontró que la BHRI aún conserva gran parte de la cobertura original, pero los pastos y campos agrícolas ya están avanzando. Los resultados apuntan a una correlación significativa entre los cambios en la cobertura y uso del suelo y el caudal y la calidad del agua en el río Itapecuru.

Palabras clave: Análisis hidrológico. Geoprosesamiento. Río Itapecuru. Calidad del agua.

INTRODUÇÃO

O avanço da agropecuária sobre os biomas brasileiros, sobretudo o Cerrado nordestino, tem promovido uma descaracterização ambiental resultante de processos associados à supressão da cobertura vegetal, como o aumento das taxas de erosão dos solos, assoreamento dos corpos hídricos e alteração do regime hidrológico dos rios. Esse cenário pode ser observado na região de expansão da fronteira agrícola brasileira conhecida como Matopiba, uma referência aos quatro estados que compõem essa região: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Inserida nesse contexto está a bacia hidrográfica do rio Itapecuru, localizado no estado no Maranhão, nordeste do Brasil, que vem, ao longo dos últimos anos,

passando por um processo de ampliação das áreas destinadas as práticas de agricultura e pecuária.

Nesse contexto, faz-se necessário discutir as diversas alterações decorrentes das atividades antrópicas e suas consequências para as bacias hidrográficas, visto que, são reconhecidamente, os espaços de análises e planejamento ambiental, dada suas características sistêmicas marcadas por trocas de energia e matéria, típicas de sistemas abertos.

As Bacias Hidrográficas (BHs) estão, portanto, expostas as constantes transformações, sejam elas decorrentes de fenômenos naturais, ou mesmo derivadas de ações antrópicas. Assim sendo, as pesquisas envolvendo as bacias hidrográficas precisam de atualizações constantes para a verificação de suas condicionantes ambientais.

Um indicativo dessas modificações em bacias hidrográficas pode ser verificado através do transporte das partículas resultantes da erosão, que podem causar o assoreamento e elevação da turbidez dos cursos d'água, resultando na diminuição da profundidade dos rios, entre outras consequências (FARIA, 2014; CODEVASF, 2019).

A exploração dos recursos em bacias hidrográficas do Cerrado visa atender, especialmente, a ampliação das áreas destinadas a agricultura e pecuária. Diante disso, surge a necessidade de avaliar e identificar os possíveis cenários de degradação ambiental. Existem várias metodologias para a avaliação dos estudos ambientais e a gestão dos recursos naturais, sobretudo envolvendo a perspectiva sistêmica em bacias hidrográficas (SANTOS; MARIANO, 2017; VEIGA; GUANDIQUE; NARDOCCI, 2019; FERREIRA; SILVA, 2020).

Os estudos relacionados aos problemas ambientais possuem diversas formas de serem abordados, mas, em particular, o Sensoriamento Remoto e as técnicas de Geoprocessamento com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) são utilizados em grande quantidade para os trabalhos envolvendo a temática ambiental em variadas localizações urbana/rural.

Dentro dessa aplicação, podem ser citados os estudos de Melo, Araújo Filho e Carvalho (2020) no Baixo São Francisco-AL, onde obtiveram as curva-chaves dos sedimentos, assim contribuindo para o entendimento do processo de transformação da BH, sendo que a redução do transporte de sedimentos contribuíram para as mudanças físicos/ambientais. Oliveira e Aquino (2020) analisaram as mudanças de uso e cobertura da terra no alto-médio Gurguéia e observaram que o processo de retirada da vegetação está ligado à expansão da produção de soja, localizando-se principalmente nas margens do rio.

Neste sentido, o objetivo do estudo é investigar as consequências ambientais que as mudanças na cobertura e uso da terra têm acarretado sobre os parâmetros de quantidade e

qualidade da água do rio Itapecuru no estado do Maranhão, em seu alto e médio curso. Portanto, a hipótese de que as mudanças no uso e cobertura das terras, decorrente da conversão de vegetação nativa em campos agrícolas e pastagens, têm provocado impactos diretos nos parâmetros hidrológicos do rio Itapecuru no Maranhão.

A supressão da vegetação nativa na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (BHRI) já vem sendo observado por estudos desenvolvidos por CODEVASF (2019) e Masullo *et al.*, (2019). Espera-se, neste trabalho, apontar as consequências dessas mudanças para o sistema hidrográficos, ao avaliar sua influência sobre parâmetros de quantidade e qualidade das águas. A seguir é apresentada uma breve caracterização da BHRI, acompanhada da indicação das bases de dados utilizadas e os procedimentos metodológicos de análises.

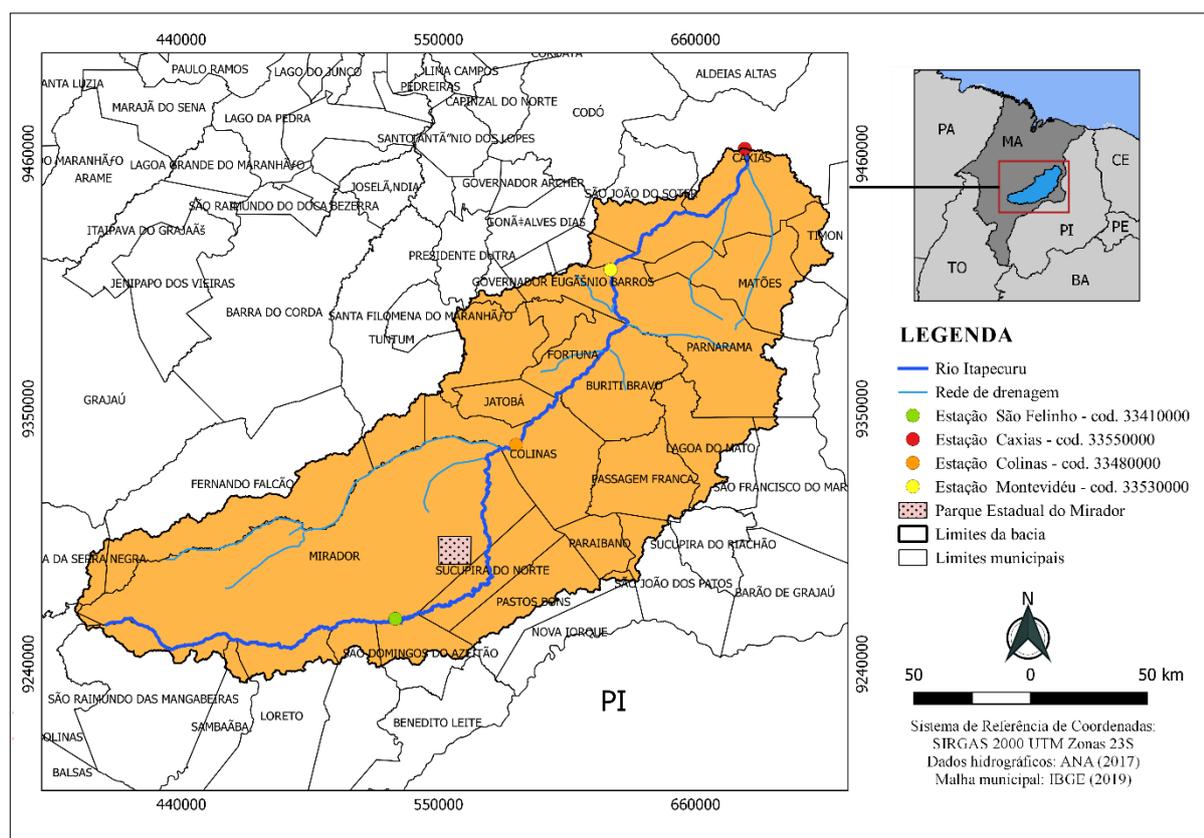
MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru localiza-se no estado do Maranhão (Figura 1) e abrange uma área de 52.972,1 km² (correspondente a 16% do estado) (ALCÂNTARA, 2004). O rio Itapecuru tem suas principais nascentes nas Serras da Cruieira, Itapecuru e Alpercatas, de onde percorre aproximadamente 1.050 km até desembocar na Baía do Arraial, na Ilha de São Luís. A bacia limita-se a sul e leste com a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (tendo a Serra do Itapecuru, Chapada do Azeitão como principais divisores topográficos) a oeste e sudoeste com a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim e a nordeste com a Bacia Hidrográfica do Rio Munim.

Neste estudo foram consideradas as compartimentações fisiográficas do alto e médio curso do rio Itapecuru, doravante referida como BHRI. Sua localização, bem como a indicação dos municípios integrantes da bacia é apresentada na Figura 1. A bacia abrange uma diversidade de ecossistemas, tendo em vista que está inserida em uma zona de transição entre os biomas Caatinga, Cerrado e pré-amazônico.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do médio e alto curso do rio Itapecuru, Maranhão



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Quanto as características climáticas da área de estudo, ocorre o predomínio de clima subúmido em transição para o semiárido (ALCÂNTARA, 2004). De acordo o estudo de Lemos (2002), as características do clima é representado por um período chuvoso (outubro a maio), e outro inserido no período de estiagem (junho a setembro).

Em relação aos aspectos de geologia e pedologia, o alto curso apresenta solos do tipo latossolos amarelos e latossolos vermelho-amarelo, sendo originados de formações geológicas do Grupo Barreiras, Itapecuru e Pedra de Fogo. No médio curso, predominam os Argissolo Vermelho-Amarelo, resultante da Formação Pedra de Fogo (ALCÂNTARA, 2004).

Base de dados e procedimentos metodológicos

Neste trabalho adotou-se uma abordagem analítica-descritiva, partindo da delimitação automática da bacia hidrográfica, com uso de dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), conforme metodologia apresentada por Moraes e Sales (2016) sobre extração automática de drenagem. Todos os mapas temáticos foram gerados com o auxílio do *software* QGIS na versão 3.12.0, e inseridos projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), adotando-se o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Os dados hidrológicos e de qualidade de água foram obtidos no banco de dados mantidos e disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) através da plataforma *Hidroweb* (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>). Foram levantados dados referentes a quatro estações fluviométricas localizadas à montante da cidade de Caxias, estado do Maranhão.

Foram utilizados os dados de vazão e qualidade da água das estações fluviométricas, são elas: São Felinho, Colinas, Montevideú e Caxias. Dentre os parâmetros de qualidade disponíveis na base de dados, considerou-se somente aqueles que tinham associação com erosão e atividades agropecuárias, sendo: turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD).

O Quadro 1 apresenta as informações sobre as estações fluviométricas, bem como a série temporal adotada. Ressalta-se que, algumas estações dispunham de dados de vazão de qualidade da água anteriores ao período considerado, que foram descartados por apresentarem falhas de registro ao longo de vários anos consecutivos. Também foram desconsiderados os dados registrados antes de 1985, data do início dos dados de cobertura de uso da terra.

Quadro 1 - Estações fluviométricas

Nome	Código	Latitude	Longitude	Período de dados
São Felinho	33410000	6,992	44,715	2002-2020
Colinas	33480000	6,0208	44,2486	1999-2020
Montevideú	33530000	5,3372	43,8844	2002-2020
Caxias	33550000	4,865	43,3675	1998-2020

Fonte: Elaborado pelos autores (2021). Base de dados: ANA (2021).

De posse dos dados históricos de vazão e qualidade de água, procedeu-se à análise estatísticas, visando identificar padrões, variações, tendências e associações com as métricas obtidas das classes de cobertura e uso da terra. A seguir são apresentados os detalhes dos procedimentos adotados para as análises estatísticas.

Os dados de cobertura e uso da terra da BHRI, para os anos de 1985 a 2019 (34 anos), foram extraídos do Projeto Mapbiomas com uso de um *script* (`projects/mapbiomas-workspace/public/collection6/mapbiomas_collection60_integration_v1`) para o Google Earth Engine (GEE) elaborado por Siqueira (2020). Após o *download* dos mapas anuais e tabela contendo as respectivas áreas das classes, procedeu-se a tabulação e análise gráfica com uso de planilha eletrônica e programa de Sistema de Informação Geográfica. Devido ao contexto pandêmico referente ao COVID-19, não houveram trabalhos em campo.

Análise estatística

Após a tabulação dos dados foi aplicado o teste *D'Agostine-Pearson* para avaliação da normalidade dos dados, a partir do qual se observou que os dados não apresentavam uma distribuição normal. Diante disso, optou-se por utilizar o teste não-paramétrico *Kruskal-Wallis* para identificação das possíveis diferenças dos parâmetros de qualidade da água entre as estações fluviométricas. Nos casos em que o referido teste apontou a existência de diferenças entre os grupos, aplicou-se o teste de *Dunn* para identificação desses grupos.

Na análise correlação entre as vazões médias anuais e as áreas das classes de cobertura e uso da terra da BHRI foi aplicado o Coeficiente de correlação de Spearman (r), com nível de significância de 0,05. Ressalta que não foi possível aplicar o teste de correlação entre os dados de cobertura e uso da terra e qualidade de água, vista que estes apresentam falhas e irregularidade de registros dentro do período considerado.

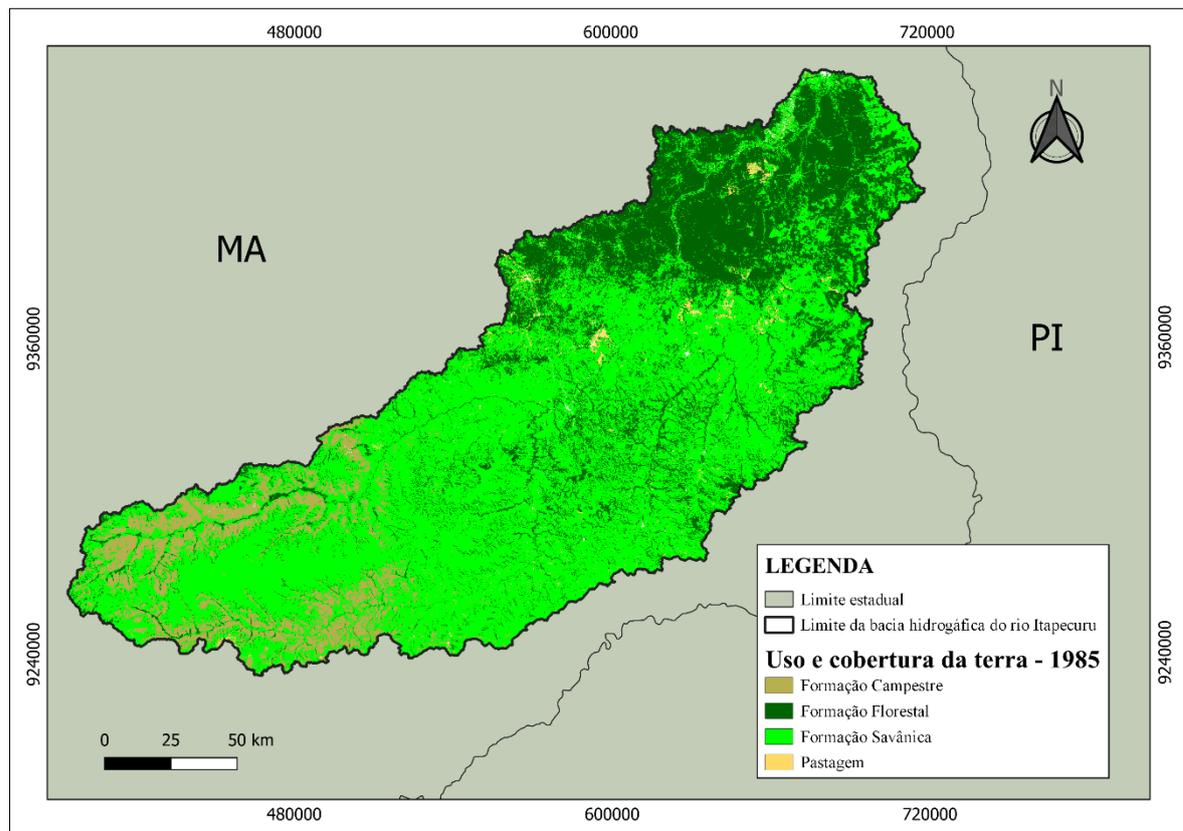
RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapa da cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, apresentado na Figura 2, mostra que em 1985 a bacia apresentava baixíssimo nível de ocupação, com apenas 1% da área ocupada por pastagem. Observa-se, ainda a predominância da Formação Savânica (cerrado), seguida das formações Florestal, Campestre e Pastagem.

Essa condição da bacia se mantém praticamente inalterada até o ano de 2000, quando se observa uma ligeira ampliação das áreas de pastagem, sobretudo na porção centro-norte da bacia. Diante das transformações observadas e na necessidade de proteção de bioma Cerrado, foi criado o Parque Estadual do Mirador, por força da Lei nº 8.958 de 08 de maio de 2009, localizado no alto curso do rio Itapecuru, especificamente no município de Mirador/MA.

Segundo a CODEVASF (2019), as áreas de pastagem, podem ser destinadas as rotações de culturas e/ou pastagem do tipo natural, já que o bioma de características do cerradão proporcionam esse tipo de atividade. Com base em Silva et al. (2017) os diferentes tipos de cobertura da terra existentes na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, com variações entre o mangue e vegetação secundária, contribuem como cenário propício para o desenvolvimento de atividades agropecuárias que interferem diretamente na distribuição da vegetação ribeirinha.

Figura 2 - Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru no Maranhão em 1985

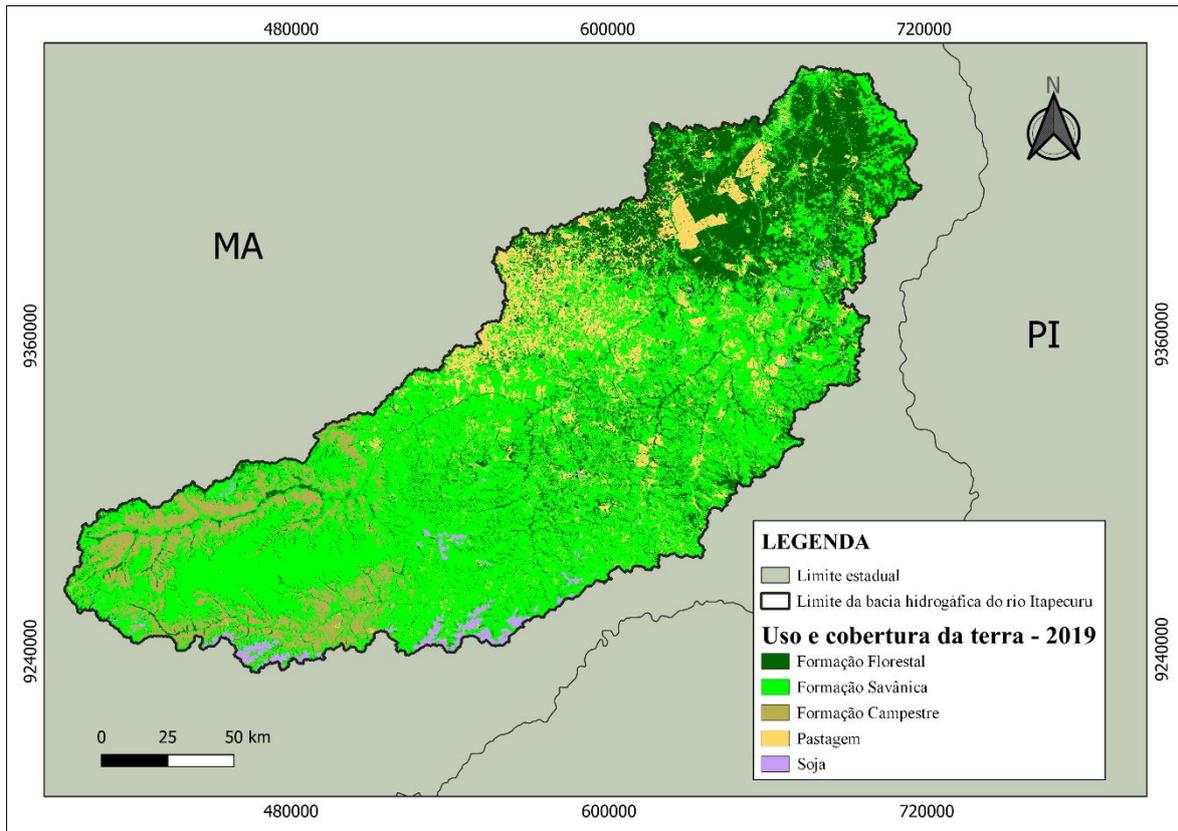


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Após os anos 2000 passaram a ser observadas mudanças significativas na bacia. O mapa da Figura 3 demonstra o padrão da distribuição das classes de uso e cobertura da terra da bacia no ano de 2019. Observa-se uma redução das áreas com formações Florestais e Savânica, em virtude da ampliação das áreas de pastagem, na região centro-norte, e introdução de atividades agrícolas como a plantação de soja no extremo sul da bacia.

Conforme o estudo de Ibanez (1997) envolvendo o rio Itapecuru, constatou-se que há diferentes danos ambientais ao longo do curso da bacia, sendo associados principalmente ao médio curso, dentre eles: o assoreamento advindo da retirada de vegetação primária, a expansão da agropecuária e o extrativismo vegetal. No estudo de Rocha Paula (2021) verificou que as atividades antrópicas desenvolvidas principalmente envolvendo a retirada da vegetação das áreas ribeirinhas, interferem na qualidade físico-química das águas, fazendo-se necessário o monitoramento frequente para auxiliar na tomada de decisão.

Figura 3 - Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru no Maranhão em 2019



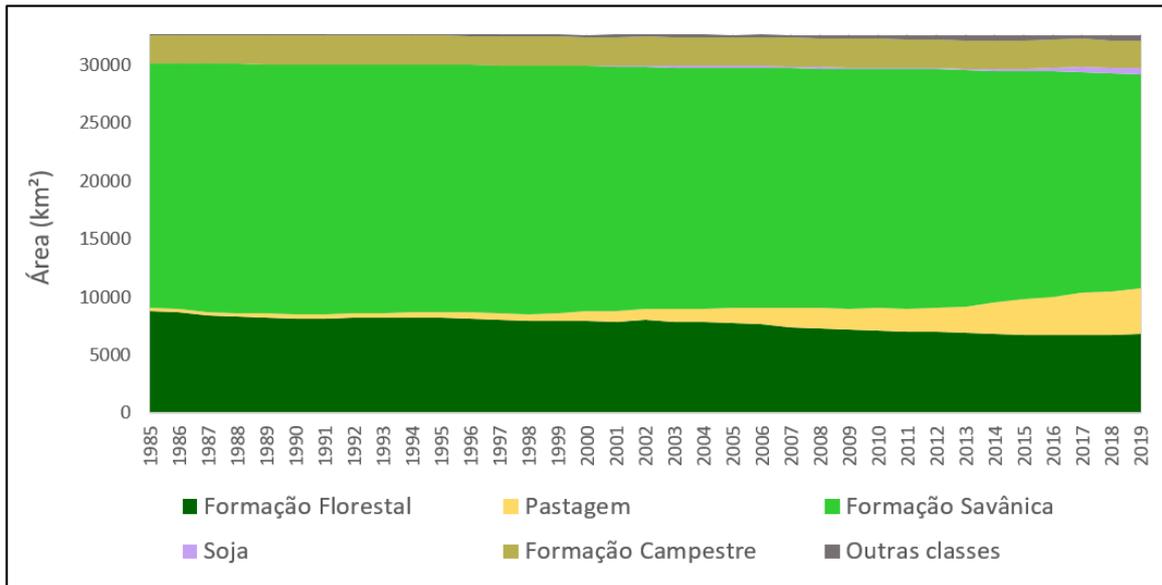
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Masullo *et al.* (2019), ao estudar a dinâmica da paisagem da bacia do rio Itapecuru, verificaram que a destruição de áreas de florestas está relacionada principalmente com o aumento de áreas agrícolas e da expansão urbana.

Em outros estudos realizados em bacia hidrográfica no estado do Pará, foi constatado que os impactos negativos sobre vários tipos de coberturas vegetais, estão relacionadas ao desmatamento e as atividades agropecuárias (ANDRADE *et al.*, 2020).

Apesar das recentes modificações nos padrões de uso da terra, a BHRI ainda se encontra bastante preservada. A Figura 4 mostra a variação interanual das classes de uso e cobertura da terra ao longo de 34 anos (1984 a 2019). Verifica-se, ainda em 2019, uma predominância das classes Formação Savânica e Florestal, abrangendo 56,7% e 21% da área total da bacia, respectivamente. A Formação Campestre estende-se por 7,4% da área, enquanto que as pastagens ocorrem em 11,8% da área a bacia. Soja e demais classes (rios, infraestrutura urbana, cana de açúcar) somam 3,3% da área.

Figura 4 - Variação interanual das classes de uso e cobertura da terra em (km²) do rio Itapecuru no Maranhão



Fonte: Elaborado pelos autores (2021). Base de dados: Mapbiomas (2021).

A partir de 1980 ocorreram várias mudanças no cenário socioeconômico em distintos municípios do Maranhão, sobretudo com a instalação de empresas como a VALE, ALUMAR e SUZANO Papel e Celulose, além da expansão das plantações de sojas e outras monoculturas. Após esses acontecimentos, já em meados do ano de 2000, verificou-se a migração populacional em destino à capital e de municípios que fazem limites com o rio Itapecuru em busca de melhores condições financeiras (MASULLO *et al.*, 2019).

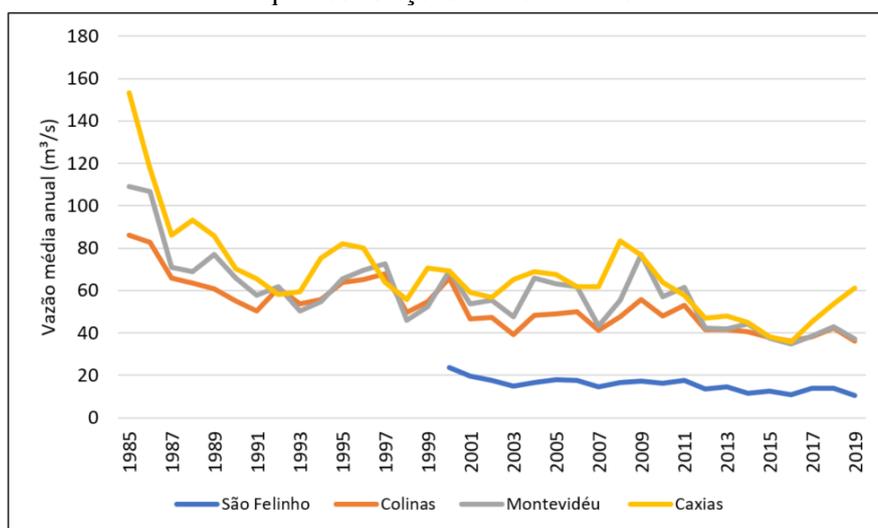
Em conformidade com os dados apresentados (Figura 4), Masullo *et al.* (2019) observaram que a classe de pastagem e o surgimento das plantações de soja, começou a ascender no ano de 2000 em razão do aumento do agronegócio. Neste sentido, interfere diretamente no declínio das formações Campestre e Savânica.

Recentemente tem sido observado a expansão da fronteira agrícola brasileira MATOPIBA, em destaque para a região de estudo, grandes áreas passaram a ser destinadas à agropecuária e agronegócio, apesar dessas atividades econômicas apresentarem pontos positivos para a região, por outro lado, resultam em distintos processos de desmatamento e assoreamento do leito principal do rio Itapecuru e seus afluentes (CODEVASF, 2019).

Uma das possíveis consequências dessas mudanças nos padrões de cobertura e uso da terra é a alteração do regime hidrológico, com reduções da vazão e profundidade dos canais em função do assoreamento (CABRAL; REIS, 2015). Reis, Fontes e Medeiros (2020) argumentam que alteração nas vazões têm impactos negativos no balanço hídrico das bacias hidrográficas.

A Figura 5 mostra a variação interanual da vazão o rio Itapecuru medida em quatro estações fluviométricas, onde é possível observar uma sutil tendência de redução ao longo da série histórica. Observa-se, ainda, que as vazões menores foram registradas na estação São Felinho (33410000), ao passo que na estação Caxias (33550000) registrou, em médias, vazões superiores às demais. Quanto a localização das estações fluviométricas utilizados no estudo podem ser consultadas na Figura 1.

Figura 5 – Variação interanual das vazões médias anuais do rio Itapecuru no Maranhão, medidas em quatro estações fluviométricas



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A análise de correlação entre vazões médias anuais do rio Itapecuru e as áreas ocupadas pelas classes de cobertura e uso da terra são apresentadas na Tabela 1. Em geral, observa-se a existência de correlação positiva significativa entre as áreas das classes Formação Florestal, Savânica, Campestre e as vazões registradas nas estações, ou seja, quanto maior essas áreas, maior a vazão do rio. Por outro lado, observou uma correlação negativa significativa entre o aumento das áreas de pastagem e soja com as vazões registradas em todas as estações.

Tabela 1 – Coeficiente de Correlação de Spearman (r) entre as vazões médias anuais do rio Itapecuru, medida em quatro estações fluviométricas, e as áreas da bacia hidrográfica ocupadas pelas classes de cobertura de uso da terra entre os anos 1985 e 2019¹ ($n = 35$).

	Estações	Formação Florestal	Formação Campestre	Pastagem	Formação Savânica	Soja	Precipitação
Vazão ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot ano^{-1}$)	São Felinho	0,801	0,721	-0,848	0,845	-0,543	0,555
	Colinas	0,827	0,749	-0,818	0,731	-0,537	0,705
	Montevidéu	0,716	0,544	-0,723	0,604	-0,468	0,705
	Caxias	0,751	0,528	-0,718	0,539	-0,290*	0,555

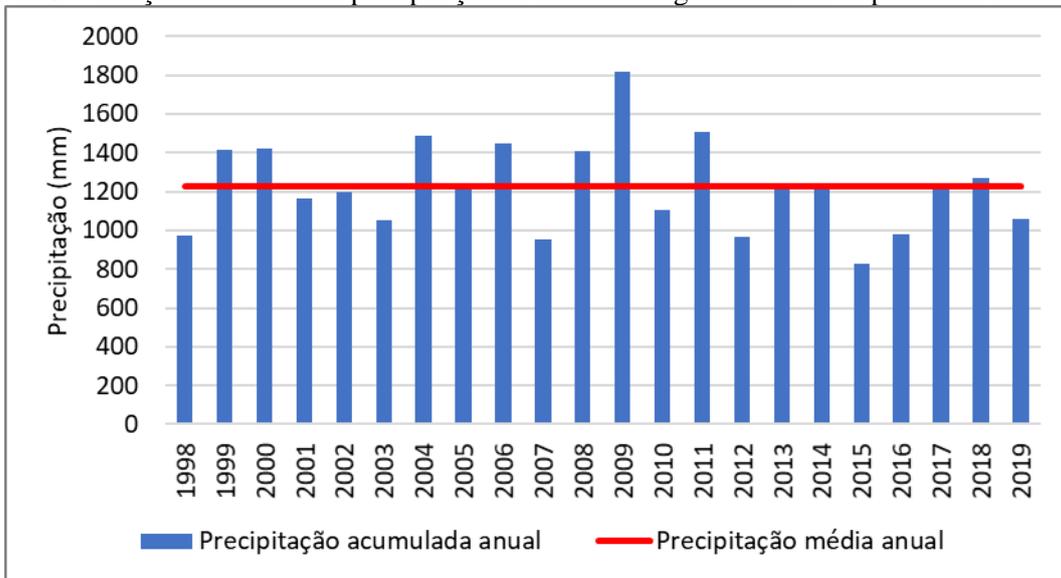
¹ Exceto para a estação São Felinho e para a classe Soja, que dispõem de dados apenas no período de 2000 a 2019 ($n = 20$).

*Não significativo ($p > 0,05$)

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Conforme o exposto, verifica-se que a ampliação das áreas de pastagem e agricultura na BHRI pode já ter provocado impactos nas condições hidrológicas do rio, conforme já alertado por Peixoto *et al.* (2021). No entanto, a vazão dos rios é diretamente afetada pelo regime pluviométrico, na Figura 6 representa a variação interanual dos dados pluviométricos.

Figura 6: Variação interanual da precipitação na Bacia hidrográfica do rio Itapecuru no Maranhão



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Afirma Macêdo *et al.* (2013) que a sazonalidade do regime pluviométrico, altera a variação da vazão. De fato, a análise estatística apontou correlação linear positiva ($p < 0,05$) entre vazão e precipitação na bacia (Tabela 1). Essas alterações podem ser interligadas às modificações ocorridas ao longo da BH, bem como nas características pedológicas e atividades de desmatamento, aspecto esse, já identificado nesse presente estudo.

Ao analisar a Figura 6, observou-se que no ano de 2009 foi obtido o maior índice pluviométrico, atingindo 1818,59 mm, sendo evidenciado no relatório da Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil do Estado do Maranhão (CEDEC-MA, 2014) pelo ocorrido de enchentes que atingiu alguns municípios no estado, entre eles o de Caxias/MA, localizada no médio curso da BHRI. Outro fator a ser considerado na análise, diz respeito a alteração da vazão, uma vez que sem a vegetação necessária, haverá acúmulos de sedimentos nas áreas de relevo baixo (CABRAL; REIS, 2015).

Os dados de precipitações apresentaram variabilidade, assim identificado no estudo de Silva *et al.* (2021) sobre um município paraense, onde foi verificado que as diferenças partem da diferenciação entre o período chuvoso e de estiagem, sendo estes caracterizado por maiores e menores índices pluviométricos.

Devido as falhas nos registros dos parâmetros de qualidade de água não foi possível realizar a correlação com os dados de vazão. Em função disso, buscou-se avaliar as possíveis diferenças entre os valores dos parâmetros registrados nas estações fluviométricas.

A Tabela 2 sumariza as estatísticas de cada parâmetro de qualidade da água em cada uma das estações fluviométricas. Observa-se quem em 75% do período analisado os valores de turbidez, pH e OD, estiveram abaixo dos limites estabelecidos pela legislação ambiental para rios de Classe 2.

Tabela 2 - Sumário estatístico dos parâmetros de qualidade da água mensurados em quatro estação fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Itapecuru no Maranhão.

Parâmetros Estações ¹	Turbidez (UNT)				PH				CE				OD			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
n	34	36	33	34	41	64	41	62	41	63	40	62	36	58	37	59
Min	0,68	8,57	9,18	10,40	4,2	4,6	3,5	5,2	0,00	0,01	0,10	0,09	4,1	2,4	0,5	0,4
Max	65,9	82,7	88,6	406,0	8,4	8,4	9,9	8,5	490,0	315,0	103,1	539,1	8,4	9,8	9,2	8,5
	0	0	0	0	0	3	4	5	0	0	0	0	7	0	6	7
Q1	6,19	17,3	21,3	24,25	5,4	5,5	6,2	6,1	7,30	12,74	21,31	30,35	6,7	5,9	6,2	6,0
		0	0		9	5	4	2					9	7	9	8
Med	9,03	24,2	25,8	33,90	6,2	6,0	6,6	6,7	10,00	19,20	29,00	47,70	7,2	6,9	7,1	7,0
		0	0		0	6	1	8					7	1	0	0
Q3	12,6	28,9	32,6	48,25	6,6	6,5	6,9	7,0	15,20	27,24	46,80	98,23	7,6	7,6	7,4	7,2
	5	5	0		8	9	9	5					4	3	3	4

¹A = São Felinho, B = Colinas, C = Montevideú, D = 3Caxias.

²n = total da amostra, Min = valor mínimo, Max = valor máximo, Med = mediana, Q1 = primeiro quartil, Q3 = terceiro quartil.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A avaliação das diferenças entre os valores dos parâmetros de qualidade de água entre as quatro estações de monitoramento foi realizada utilizando o teste Kruskal-Wallis. O teste revelou que não haver diferença significativas entre as estações para os parâmetros PH ($H(3)= 5,49, p > 0,05$) e OD ($H(3)= 5,86, p > 0,05$). No entanto, o teste apontou diferenças entre as estações para os parâmetros Turbidez ($H(3)= 82,5, p < 0,05$) e CE ($H(3) = 96,4, p < 0,05$).

Para os casos em que o teste de *Kruskal-Wallis* detectou diferenças entre as estações e o teste *Dunn* foi aplicado. Identificou-se, portanto, que a turbidez apresentou valores medianos estatisticamente diferentes entre a estação São Felinho e as demais, o mesmo pode

ser observado em relação à CE. Os valores dos testes que comprovam as diferenças observadas entre as estações podem ser consultados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do teste *Kruskal-Wallis* e teste *post hoc* de comparação múltipla de *Dunn*, mostrando a diferenças entre os parâmetros de qualidade de água entre as estações fluviométricas¹ na bacia hidrográfica do rio Itapecuru no Maranhão

Parâmetros	Teste <i>Kruskal-Wills</i>			Teste de comparação múltipla de <i>Dunn</i>					
	<i>H</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>	A-B	A-C	A-D	B-C	B-D	C-D
pH	21,6227	3	<0,0001	a	a	b	b	b	a
Turbidez	64,6937	3	< 0,0001	b	b	b	a	a	a
Condutividade	67,7198	3	< 0,0001	b	b	b	a	b	b
OD	4,8797	3	1,1808	a	a	a	a	a	a

¹A = São Felinho, B = Colinas, C = Montevidéu, D = Caxias.

a= diferença não significativa ($p > 0,05$), b = diferença significativa ($p < 0,05$), H = valor do teste *H*, *gl* = graus de liberdade do Teste *H*, *p* = valor p do teste *H*.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Sobre os altos valores para o parâmetro de turbidez, fazendo uma interligação com os dados obtidos através da análise de uso e cobertura da terra da BHRI, é possível constatar que em decorrência da retirada da vegetação, esses valores tendem a aumentar. Afirma Fiorese *et al.* (2019) que elevados valores de turbidez influenciam diretamente na qualidade da água.

Com base em Santos e Mohr (2013), a condutividade elétrica, apesar de não apresentar problemas para o corpo humano, tem o papel importante de contribuir na mensuração de outros parâmetros, por exemplo, a presença de sólidos dissolvidos nos corpos hídricos.

Na pesquisa de Araújo *et al.* (2018) envolvendo qualidade da água e uso do solo, destacou a importância e precisão na utilização dos parâmetros para detecção das mudanças no uso da terra, além de proporcionarem uma correlação estatística entre outras variáveis.

Dessa forma, as análises realizadas com a interação dos dados de uso e cobertura da terra, e as informações secundárias sobre precipitação, vazão e qualidade da água, permitiram uma avaliação bastante precisa sobre a realidade da área de estudo.

CONCLUSÃO

A partir da análise de uso e cobertura da terra de 1985, constatou-se que a BHRI mantinha as suas áreas de vegetação nativa, em sua grande maioria constituída por cerrado. Em 2019, com o avanço das atividades do agronegócio e agropecuária, ocorreram diferentes

interferências nas classes de uso e cobertura da terra, interferindo de forma direta na vegetação primária, afetando principalmente a qualidade da água.

Na análise da correlação entre os dados de cobertura da terra e vazão média, constatou-se que ao longo dos anos a vazão tende a ser menor, isso é evidenciado através da inserção dos diferentes impactos sobre a área, a exemplo da retirada da vegetação primária, que acarreta em acúmulo de sedimentos e ocasionará no bloqueio do fluxo de água.

Foi evidenciado a importância e a correlação entre as classes de uso e cobertura da terra e os parâmetros de qualidade da água, desse modo, foi constatado que os altos valores de turbidez e condutividade elétrica, impactam na qualidade da água. Dessa maneira, com a diminuição da cobertura vegetal e aumento do assoreamento, gera o aumento dos sedimentos em suspensão, assim afetando os cursos d'água e o leito fluvial.

Os dados de precipitação forneceram subsídios para o entendimento da variação da vazão e a relação com o uso e cobertura da terra na BHRI. Concluindo que, os baixos níveis de precipitação, atingem os corpos hídricos, fazendo com que a vazão sofra diminuição. Assim, com o desmatamento das classes de cobertura da terra, a área tende a ocorrer modificações.

Dessa maneira, com as transformações identificadas nas classes de cobertura da terra, efetuando-se com os riscos decorrentes de uma ocupação desordenada do meio ambiente, faz-se necessário mencionar que, o presente estudo teve o intuito de contribuir para o manejo da área. Considerando que, necessita de ações e medidas para conter a retirada da vegetação primária e outros impactos negativos, bem como o planejamento ambiental e a inserção de medidas educativas com o cunho da educação ambiental.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E.H. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 11, p. 97-113, 2004.

ANDRADE, A.S.; RIBEIRO, S.C.A.; PEREIRA, B.W.F.; BRANDÃO, V.V.P. Fragmentação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, nordeste do Pará. **Revista Ciência Florestal**, v. 30, n. 2, p. 406-420, 2020.

ARAUJO, P.L.; HAMBURGER, D.S.; DE JESUS, T.A.; BENASSI, R.F.; CICCIO, V. Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo – SP. **REGA**, v.15, p. 1-19, 2018.

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

CODEVASF. **Plano Nascente Itapecuru**: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Brasília: Codevasf, 2019.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias. Série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil: Versão 5.**

FARIA, A.P. Transporte de sedimentos em canais fluviais de primeira ordem: respostas geomorfológicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, n.2, p.191-202, 2014.

FERREIRA, P.S.; SILVA, C.A. O método AHP e a Álgebra de Mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul / Brasil), proposições para a gestão do território. **Confins: revue franco-brésilienne de géographie**, v. 46, 2020.

FIGUEIREDO, C.H.U.; ANDRADE, D.; AGRIZZI, E.M.; TORRES, H. Análise preliminar dos parâmetros físico-químicos e Microbiológicos das águas do córrego paraíso – trecho Urbano do distrito de Vieira Machado, em Muniz Freire-ES. **AGRARIAN ACADEMY, Centro Científico Conhecer**, v.6, n.11, p. 22-34, 2019.

IBANEZ, M. S. R. **Limnologia do Rio Itapecuru, Maranhão, Brasil.** São Luís, 1997.

LEMOES, D. C. **Levantamento da problemática ambiental nas nascentes do rio Itapecuru. Parque Estadual do Mirador - MA.** Degeo, UFMA. 2002.

MACÊDO, M.N.C.; DIAS, H.C.T.; COELHO, F.M.G.; ARAÚJO, E.A.; SOUZA, M.L.H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Ambi-Água**, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013.

MARANHÃO. **Lei nº 8.958 de 08 de maio de 2009.** Altera o Decreto nº 7.641/80 de junho de 1980, que cria o Parque Estadual de Mirador e dá outras providências. São Luís: D.O.E, de 08.05.2009, Ano CIII, n. 087.

MASULLO, Y.A.G.; SOARES, L.S.; CASTRO, C.E.; PINHEIRO, E.A.L. Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.03, p. 1054-1073, 2019.

MELO, S.C.; ARAÚJO FILHO, J.C.O.; CARVALHO, R.M.C.M. Curvas-chave de descargas de sedimentos em suspensão no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13 n. 03, p. 1248-1262, 2020.

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. Extração automática de drenagem: uma análise comparativa a partir de diferentes ferramentas e bases de dados. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p.1849-1860, 2016.

OLIVEIRA, L. N., AQUINO, C. M. S. Dinâmica temporal do uso e cobertura da terra na fronteira agrícola do matopiba: análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia-Piauí. **Revista Equador (UFPI)**, v. 9, p. 317 – 333, 2020.

PEIXOTO, F.S.; DIAS, H. G.; FILGUEIRA, R.F.; DANTAS, J. Caracterização hidrológica e do uso e cobertura da terra no alto curso da bacia hidrográfica do rio do Carmo –RN/Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 43, v. 2, p. 138-158, 2021.

REIS, P.A.G.; FONTES, A.S.; MEDEIROS, Y.D.P. Definição da vazão de contribuição como estratégia de gestão na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. **Rev. Gest. Água Am. Lat.**, v. 17, p. 1-23, 2020.

SANTOS, I.O.; MARIANO, G. Sistema de informação geográfica e caracterização fisiográfica automática da bacia hidrográfica do rio Tatuoca. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.3, p.866-879, 2017.

SANTOS, R.S.; MOHR, T. Saúde e qualidade da água: análises microbiológicas e físico-químicas em águas subterrâneas. **Revista Contexto & Saúde**, v. 13 n. 24/25, p. 46-53, 2013.

SILVA, G.R.A.; SILVA, F.S.; DUARTE, J.M.; TAVARES, A.R.F.T. Análise de tendências nas séries históricas de precipitação e curva de permanência de vazão no município Cachoeira do Piriá, Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. 14, 2021.

SILVA, R. N. M., SILVA, D. L. L., FERREIRA, G. B., COSTA, Z. J. S., SILVA, D. L.S., SOUSA, R.N.S., PEREIRA, L.P.L.A., REGO, P.F.F., MARTINS, B.N., ALMEIDA, N.M. &

NASCIMENTO SÍRIO, D. L. Caracterização Preliminar da Bacia Hidrográfica do rio Itapecuru. **Anais...** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

SIQUEIRA, J. **Mapbiomas User Toolkit Download**. Versão 1.1.3, 2020.

VEIGA, D.P.B.; GUANDIQUE, M.E.G.; NARDOCCI, A.C. Land use and water quality in watersheds in the State of São Paulo, based on GIS and SWAT data. **Revista Ambiente e Água**, v. 14, n. 5, p. 2325, 2019.