



Variabilidade espaço-temporal de áreas alagadas em uma sub-bacia do Rio Madeira, Sul do Amazonas

Spatio-temporal variability of flooded areas in a sub-basin of the Madeira River, southern Amazonas

Francisca Xavier Quintino Neta¹
José Maurício da Cunha¹
Milton César Costa Campos^{2*}
Elilson Gomes de Brito Filho²
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva¹
Joalison de Brito Silva²
Flavio Pereira de Oliveira²

¹ Universidade Federal do Amazonas,
68.800-000, Humaitá, Brasil

² Universidade Federal da Paraíba,
58.397-000, Areia, Brasil.

* Autor Correspondente:
mcesarsolos@gmail.com.

Palavras-chave:

Cheias dos rios
Ciclo das águas
Amazonia

Keywords:

River floods
Water cycle
Amazon.

Histórico do artigo:

Recebido: 27/02/2022
Aceito: 27/03/2022

RESUMO: As alterações da cobertura vegetal vêm promovendo mudanças significativas nas características climáticas de diversos ambientes, e isso tendo influência direta e indiretamente na dinâmica das bacias hidrográficas, e particularmente em planícies de áreas alagadas. Assim, o objetivo desta pesquisa será de avaliar a variabilidade espaço-temporal de áreas alagadas em uma sub-bacia do Rio Purus, em uma área de abrangência no Município de Lábrea/AM, no sul do Amazonas. Para isso, delimitaremos uma área de estudo localizada no município, da sub-bacia hidrográfica do rio Purus, situa na porção sul - ocidental amazônica. Os dados serão obtidos a partir do tratamento das imagens TM-Landsat 5 e OLI/TIRS-Landsat 8, adquiridos junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, entre os anos de 2007 a 2017. Para o entendimento da dinâmica das margens, serão utilizadas além dos dados multiespaciais e multitemporais, os dados referentes à morfometria do rio Purus, como exemplo, largura média da planície de inundação, caracterização do relevo, extensão do canal e o índice de sinuosidade. A partir desta investigação, será possível compreender melhor a dinâmica da sub-bacia do rio Purus quanto às mudanças climáticas no período em estudo.

ABSTRACT: The Madeira River is one of the main rivers in Brazil and is among the largest in the world, it is so extensive that it bathes two countries, in addition to Brazil. Its waters are distinguished by the amount of sediment they carry; its bed is still in formation; it houses one of the greatest biodiversity in the world; and it is vital for the economy of many regions, as it provides fishing, waterway transport and, on its banks, agriculture. This study presents a multitemporal analysis of the fluvial dynamics of the Madeira River from images obtained in Landsat5-TM. The images were classified and compared to obtain the results. These results are important due to the fact that, currently, the river banks are used in an anthropic way for many purposes and this degrades and modifies nature, so a multitemporal comparison was carried out to assess how these areas have undergone changes in recent years. The choice of the remote sensing classification technique helps in the knowledge of forest areas, rivers, lakes, streams, among others. There was a sharp increase in the area of exposed soils from the assessment in the period from 2007 to 2011, as well as an increase in the flow of the Madeira River, demonstrating a widening and greater flow of water.

1. INTRODUÇÃO

O Rio Madeira é o principal afluente da bacia do Rio Amazonas, e constitui aqui o foco deste estudo, cujo aspecto dinâmico caracteriza-se por intensos gradientes, que podem ser de natureza hidrológica, tectônica/geomorfológica, hidráulica e de transporte de sedimentos (SIOLI, 1967). Além disso, é um dos principais da América do Sul, com 125 milhões de hectares. O rio Madeira banha três países: Brasil, Bolívia e Peru (ANEEL, 2000). Além da importância ambiental, ele é essencial para a economia de muitas regiões, pois tradicionalmente proporciona a pesca, o transporte hidroviário e, em suas margens, o plantio de diversos produtos agrícolas (JABUR, 2016).

O rio Madeira apresenta grande volume de sedimentos transportados: argila, areia e silte (fragmentos de mineral e rochas). Estes sedimentos tornam as águas do Madeira mais densas do que na maioria dos rios. A origem principal desta característica é a localização da nascente – a região andina, formada por rochas de fácil desagregação (DREW, 2005).

Além disso, o grande volume de chuvas na região facilita a erosão do solo que é favorecida por fatores externos, como a ocupação humana crescente e os desmatamentos nas proximidades do curso do rio. É importante notar que são esses sedimentos que, ricos em nutrientes, fertilizam as terras às margens do Madeira, permitindo o desenvolvimento da agricultura familiar (FROZZI et al., 2020). Neste contexto, o termo Alto Madeira refere-se ao trecho da nascente (encontro dos rios Beni e Mamoré, nos Andes) até a cachoeira de Santo Antônio, nas proximidades da cidade de Porto Velho. O termo Baixo Madeira refere-se ao trecho entre este ponto e a foz, no rio Amazonas.

Como o rio Madeira é um rio andino, suas águas sobem muito em períodos de degelo nos Andes ou de chuvas intensas. Segundo Souza e Cunha (2007), os canais fluviais são dinâmicos, pois envolvem mecanismos de remoção de materiais, alterando suas margens, devido, principalmente, aos processos erosivos. O fenômeno de alargamento dos canais fluviais é provocado pelos processos de erosão das margens que estão entre os elementos mais dinâmicos dos canais fluviais. O entendimento

sobre seu mecanismo de atuação e a quantificação da magnitude é importante para compreender a evolução dos diversos elementos da dinâmica fluvial.

Por ser um rio extenso e apresentar peculiaridades no ecossistema, é indispensável à utilização de uma ferramenta de sensoriamento remoto na região, por ser uma tecnologia que não tem custo elevado, com ampla aplicação e os dados dos seus mapeamentos e monitoramentos são bem aceitos, por conta da sua precisão, levando em consideração que é importante também estudar a região amazônica em geral com base nos dados desses sensores remotos.

O Sensoriamento Remoto é uma técnica utilizada para a coleta de informações ou obtenção de dados à distância, com uso de sensores, podendo ser eles, aéreos ou espaciais. A observação da informação é realizada de modo passivo ou ativo, através da recepção ou emissão de fótons a respeito de objetos a distância dos sensores, onde os dados observados, em geral, radiação eletromagnética são organizados em forma de imagens (WAGNER, 2013).

O sensoriamento remoto aparece como uma ferramenta imprescindível no mapeamento do uso e cobertura da terra da região amazônica, permitindo obter informações históricas e atuais para um ambiente amplo e de difícil acesso (ALMEIDA, 2008). Vários estudos tem sido desenvolvidos com intuito de mapear o uso e cobertura da terra na região, para evidenciar as transformações ambientais, em que as principais classes estabelecidas se referem às florestas tropicais primárias, as sucessões florestais secundárias, o cerrado, a agricultura, a pastagem e os corpos de água naturais e artificiais. Assim, objetivou-se com esse trabalho analisar a variabilidade espaço-temporal de áreas alagadas em uma sub-bacia do Rio Madeira, Sul do Amazonas.

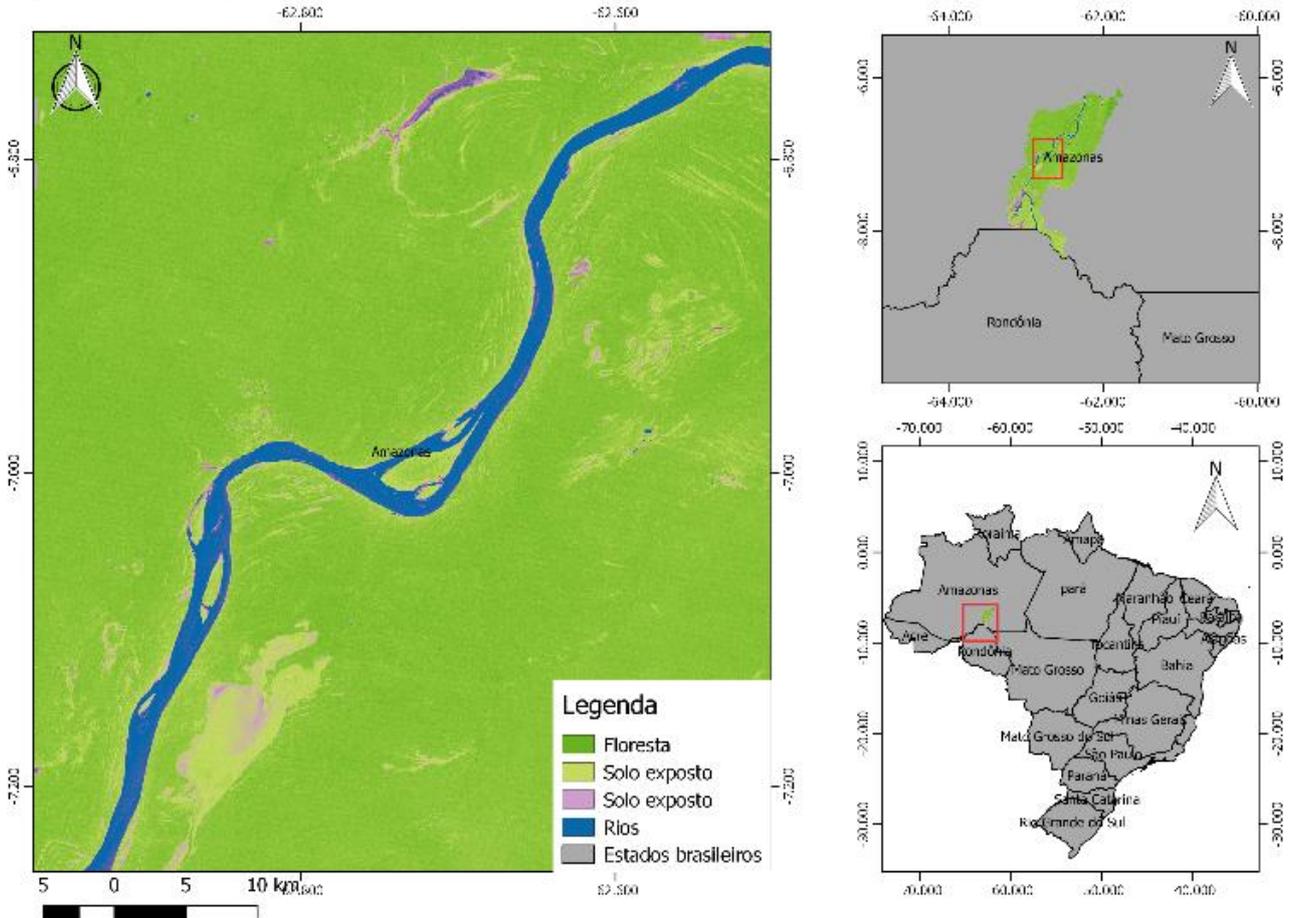
2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região Sul do Amazonas no município de Humaitá, situado no médio Madeira. O rio Madeira é um dos maiores rios do mundo e o maior afluente amazônico, com área de drenagem total correspondente a aproximadamente 1/5 da totalidade da bacia amazônica (BATISTA et al., 2004).

Entre a estação chuvosa e a seca o rio varia bastante de profundidade. Na estação seca as águas do rio, que fluem em direção ao Amazonas, formam praias ao longo de suas margens. Na estação chuvosa, o rio enche com as águas das chuvas, e invade florestas e cobre as praias (ISAAC et al 1995). É um rio de água branca, pobre em sais minerais, porém a sua capacidade

produtiva é muito superior quando comparada com os sistemas de águas pretas e claras (JUNK, 1979). O nível hidrológico máximo é alcançado entre março e abril, com média de 9,5 m em relação ao nível do mar e o mínimo ocorre entre setembro e novembro em torno de 3,0 m em relação ao nível do mar (ARAÚJO-LIMA; RUFFINO, 2003), conforme Figura 1.

Figura 1 - Localização da área de estudo da Bacia do Rio Madeira em Humaitá.



Fonte: Os autores (2021).

No que se refere à caracterização climática, o clima da região é Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média parcial varia entre 2.250 e 2.750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro e junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25 e 27 °C e umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

As imagens utilizadas para a delimitação da Bacia foram obtidas pelo projeto Topodata (www.dsr.inpe.br/topodata), os limites da bacia foram determinados pelos padrões de drenagem e divisores de águas topográficos, utilizando o software Qgis versão 2.14. Foram utilizadas

cinco cenas para preencher toda a área da bacia desejada, assim foi necessário fazer um mosaico com as cinco cenas, fazendo as mesmas se tornarem apenas uma, as cenas utilizadas foram 08S63, 07S83, 06S83, 06S645, 07S645. Após esse procedimento, o mosaico foi processado pela extensão TauDEM – Terrain Analysis Using Digital Elevation Model (hydrology.esu.edu/taudem), que consiste em um conjunto de ferramentas que permitem a delimitação de bacias hidrográficas de maneira automática, rápida e objetiva. No Taudem, a bacia foi delimitada utilizando primeiramente a ferramenta do Algoritmo Pit Remove, que

remove todos os poços, depressões ou buracos presentes no MDE.

Depois, o Algoritmo D8 Flow Directions foi utilizado, esta função gera o raster que mapeia o escoamento de água através do método D8, que estima para cada pixel presente na imagem oito direções para o fluxo hídrico. E depois a Primeira versão do Algoritmo D8 Contributing Area, que indica a área de Contribuição corresponde aos limites de uma bacia hidrográfica determinados pelo ponto de escoamento. Após, foi utilizado a primeira versão de Algoritmo Stream Definition by Threshhold, este processo gera um raster contendo a rede de drenagem. Então, foi criado um Shapefile de Ponto para a marcação da drenagem na saída do exutório. Após, foi gerada o limite da bacia a partir do ponto exutório, com a ferramenta do Algoritmo D8 Contributing Area. Depois, foi utilizado a segunda versão do Algoritmo Stream Definition by Threshhold, para a criação da rede de drenagem para o limite

da sub-bacia. Então, foi prosseguido para o último passo para os processos de delimitação de bacias hidrográficas com o TauDEM, que foi a Delimitação das Microbacias e Rede de Drenagem.

Para a análise da variabilidade espaço-temporal de áreas alagadas em uma sub-bacia do Rio Madeira, a intenção era utilizar imagens Landsat 8 TM correspondes aos anos de 2012 a 2017, para assim refletir na dinâmica de circulação de água. Contudo, devido a indisponibilidade de imagens e/ou grande cobertura de nuvens, só estava, disponíveis imagens plausíveis para uso no estudo a dos anos de 2007 a 2011. Foram então, analisadas imagens desses anos, selecionadas de acordo com a mínima cobertura de nuvens e datas de aquisição, como a área em estudo é recoberta por seis cenas Landsat 5-TM fez-se necessário realizar um mosaico de cada ano no Programa Qgis 2.8 (Quadro 1).

Quadro 1 - Imagens, sensores, órbita e data de aquisição do material utilizado no estudo sobre áreas alagadas em uma sub-bacia do Rio Madeira, Sul do Amazonas.

Plataforma	Sensor	Órbita/Ponto	Data de Aquisição (2007)	Data de Aquisição (2011)
LANDSAT - 5	TM	231/064	04 agosto	15 agosto
LANDSAT - 5	TM	231/065	04 agosto	12 junho
LANDSAT - 5	TM	231/066	04 agosto	12 junho
LANDSAT - 5	TM	232/064	27 agosto	05 julho
LANDSAT - 5	TM	232/065	27 agosto	05 julho
LANDSAT - 5	TM	232/066	27 agosto	05 julho

Características importantes de imagens de satélite são: o número de bandas do espectro eletromagnético imageadas (resolução espectral) e a área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (resolução espacial), no caso da bacia do Rio Madeira em Humaitá foram necessárias seis cenas. Após a aquisição das imagens pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), toda uma infraestrutura para recepção, processamento e distribuição das imagens enviadas por estes sistemas (<http://www.inpe.br>). As imagens de 2007 e 2011 foram classificadas e quantificadas as áreas correspondentes de cada classe, para analisar a dinâmica temporal dos índices do curso d'água bacia do Rio Madeira.

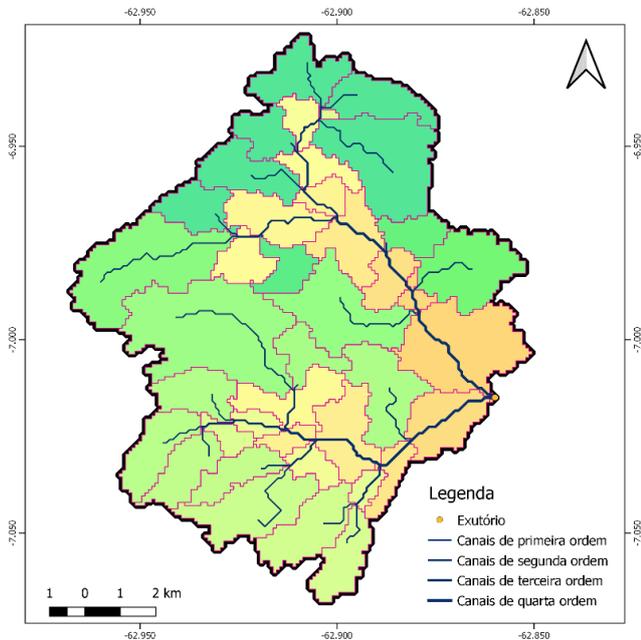
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da metodologia descrita e do MDE Topodata, obtivemos o polígono que representa o divisor topográfico da sub-bacia (Figura 2). A etapa inicial de processamento do MDE, que implicou na remoção de pixels correspondentes às depressões que impediam a continuidade do fluxo da água foi fundamental para as etapas posteriores, de acordo com o que foi concluído por Redivo et al., (2002), o qual verificou que o traçado de uma bacia hidrográfica foi errôneo sem essa correção.

Na obtenção da área da sub-bacia é necessário cautela e atenção, pois a escolha dessa área é um processo complexo, pois a densidade de drenagem varia de acordo com as características

do relevo e geologia. Relevos mais declivosos, por exemplo, tendem a exigir uma menor área de contribuição para o início de um segmento de rio (FAN et al., 2013).

Figura 2 - Delimitação da sub-bacia hidrográfica do Rio Madeira, Sul do Amazonas.



Fonte: Os autores (2021).

A rede fluvial de drenagem de uma bacia hidrográfica pode ser classificada segundo uma hierarquia, sendo a mais utilizada a de Horton modificada por Strahler (TUCCI, 2004). A hierarquização de Horton apresenta uma lógica bem definida, o que possibilita o ordenamento automatizado a partir de programas computacionais de GIS. Este sistema de ordenamento tem o seguinte princípio: canais de primeira ordem são os menores identificáveis caracterizados por drenagens intermitentes; canais de segunda ordem são formados pela confluência de dois canais de primeira ordem, esta lógica é aplicada para as demais, onde a confluência de dois canais de ordem resulta em um canal de ordem mais a jusante; onde um canal de ordem menor encontrar um de ordem maior, o canal a jusante mantém a maior das duas ordens; a ordem da bacia hidrográfica é designada como a ordem do rio que passa pelo exutório. No caso, da sub-bacia aqui delimitada, ela possui canais de até quarta ordem.

Segundo Mota (2011), em uma bacia hidrográfica, o comportamento hidrológico ocorre em função de suas características morfológicas: área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal, entre outras. Para entender as inter-relações entre os fatores de forma e os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, as características da bacia devem ser expressas quantitativamente.

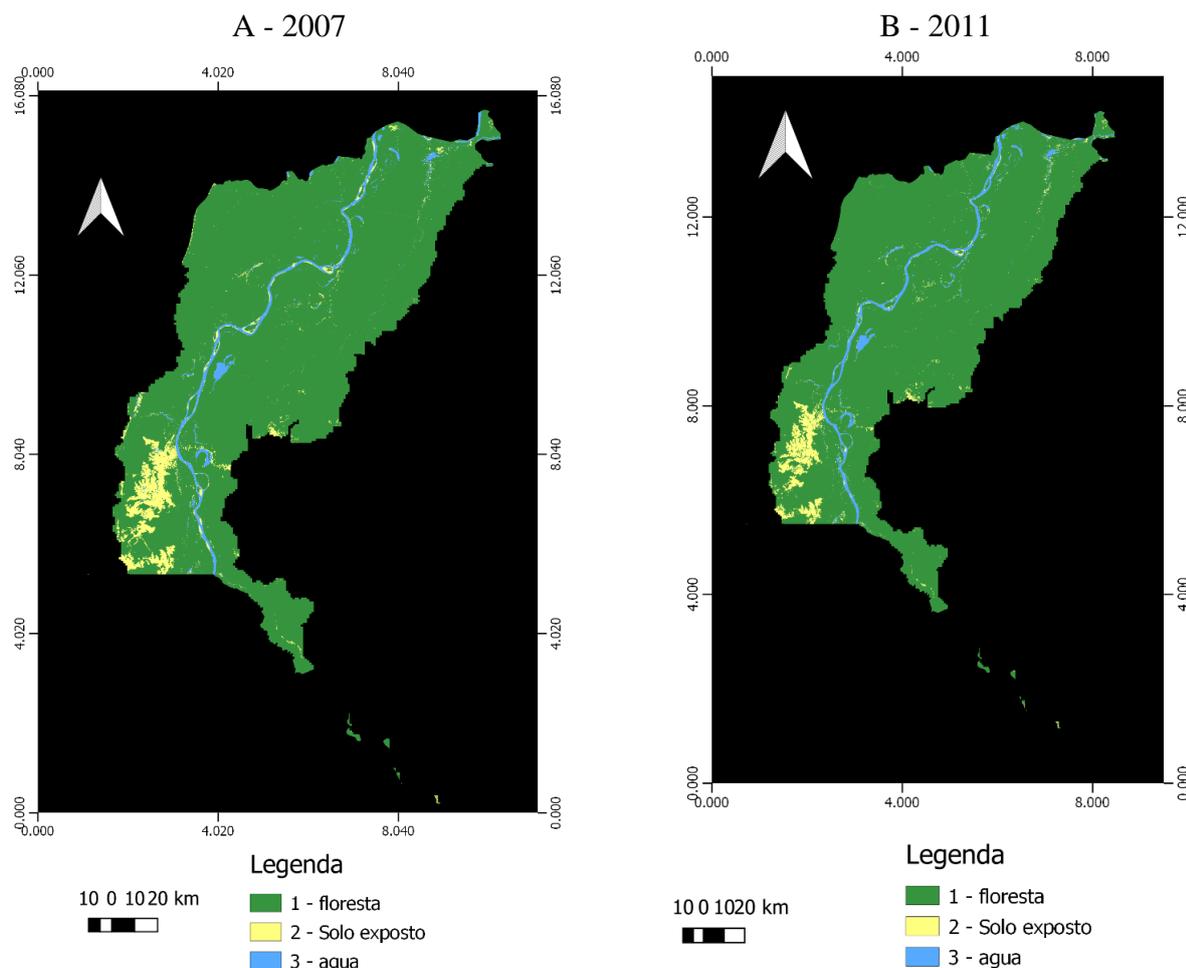
Classificar uma imagem espectral consiste em atribuir a cada pixel que compõe a imagem, um grupo ou uma classe. Cada superfície possui características específicas e apresenta um comportamento específico ao longo do espectro eletromagnético, o que permite sua identificação. No caso da bacia do Rio Madeira em Humaitá, a classificação foi realizada por três classes: floresta, solo exposto e água.

A análise digital de dados, mais especificamente, imagens digitais de sensoriamento remoto orbital, possibilitou, nos últimos anos, um grande desenvolvimento das técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores. Drew (2005) descreve o objetivo do processamento digital de imagem como sendo um conjunto de procedimentos que melhoram a informação, representada em forma de pixels, para a interpretação do olho humano, bem como para o reconhecimento dos dados de uma cena pelo computador.

O objetivo da classificação é descobrir agrupamentos naturais, ou tipos, de maneira que se possa estabelecer hipóteses sobre o objeto ou fenômeno que está sendo estudado, no caso do atual estudo seria a diferença das margens do Rio Madeira. A intenção do processo de classificação foi classificar todos os pixels de uma imagem digital dentre várias classes de coberturas ou temas. De acordo com essa classificação, o ano de 2007 possui 1.150,50 km² floresta, 4.144,35 km² de solo exposto, solo antrópico, areia e 613,66 km² de água, representados por rios, lagos e igarapés (Figura 3A).

Já no ano de 2011 (Figura 3B) os dados obtidos pela classificação das imagens mostraram que aproximadamente 14.879,05 km² de floresta, 545,70 km² de solo exposto, areia e solo antrópico, e 486,38 km² de rios, lagos e igarapés.

Figura 3 - Classificação e área de cobertura vegetal na região no ano de 2007 e 2011.

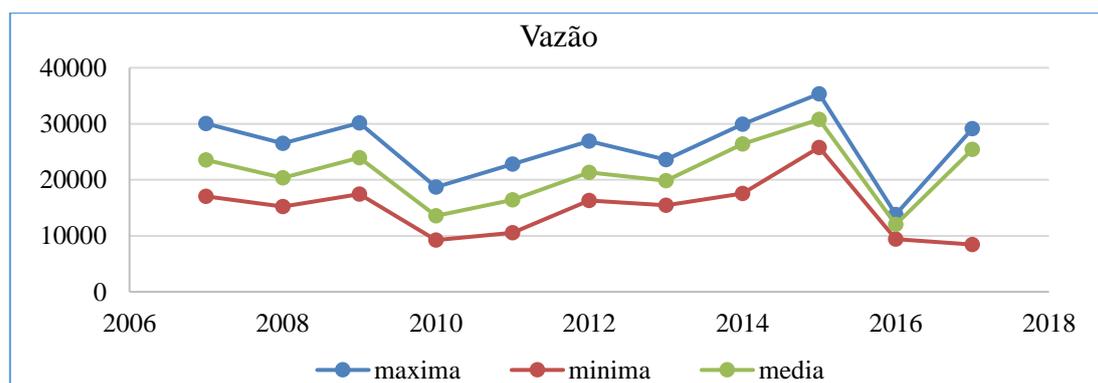


Fonte: Os autores (2021).

Por vazão entende-se o volume de água que passa numa determinada seção do rio por unidade de tempo, a qual é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, e é expressa comumente no sistema internacional (SI) de medidas em m^3/s . A descarga (vazão) (Figura 4) aumenta do montante (região mais alta do rio) para a jusante (áreas rio abaixo) até sua foz. No entanto, pode ser observado por meio de

medições de vazão, áreas em que o ponto medido a jusante apresenta valores inferiores de vazão que a montante. Este fato pode ser explicado devido à dinâmica de transferência de energia canal – planície, explicado pela transferência de água para dentro da planície fluvial, formando áreas alagadas e lagos próximos ao canal, porém, mais a jusante o rio estabelece seu equilíbrio usual (CARVALHO, 2006; CARVALHO, 2007).

Figura 4 - Vazão da sub-bacia do Rio Madeira na Região Sul do Amazonas.



Fonte: Os autores (2021).

4. CONCLUSÕES

A escolha da técnica de classificação mais adequada ao estudo pretendido influencia diretamente na qualidade do produto final, assim como na precisão das análises a serem realizadas, comprovando a eficácia da utilização de instrumentos de sensoriamento remoto para conhecimentos áreas de floresta, rios, lagos, igarapés, entre outros.

Houve um acentuado aumento na área de solos exposto da avaliação no período de 2007 a 2011, bem como houve um aumento da vazão do Rio Madeira demonstrando um alargamento e maior fluxo de água.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Amazonas (FAPEAM) e a Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A. **Estimativa da área e do tempo de permanência da vegetação secundária na Amazônia legal por meio de imagens LANDSAT/TM**. 2008. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.04.18.45/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2021.

ANEEL. **Bacias Hidrográficas do Brasil**. Distribuição gratuita de Compacto Disco (CD). 2000. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 07 maio 2021.

ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M.; RUFFINO, M.L. **Migratory Fishes of the Brazilian Amazon**. In: CAROSFELD, J., HARVEY, B.; BAER, A.; ROSS, C. *Migratory Fishes of the South America: Biology, Social Importance and Conservation Status*. World Bank, Victoria, p. 233–302, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265594701_Migratory_fishes_of_the_Brazilian_Amazon. Acesso em: 10 jul. 2021.

BARRETT, E. C.; CURTIS, L. **Introduction to environmental remote sensing**. Londres: Chapman & Hall, 1992.

BATISTA, V. S.; ISAAC, V. J.; VIANA, J. P. **Exploração e manejo dos recursos pesqueiros da Amazônia**. In: RUFFINO, M. L. (Coord). *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira*. IBAMA/PROVÁRZEA, Manaus. p. 63-151, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313630863_Capitulo_2_-_Exploracao_e_manejo_dos_recursos_pesqueiros_da_Amazonia; Acesso em: 05 abr. 2021.

BRASIL. **Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil, folha SB. 20, Purus**. Rio de Janeiro, 1978. 561 p.

CARVALHO, T. M. **Transporte de Carga Sedimentar no médio rio Araguaia entre os rios Crixás-Açú e Javaés**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Estudos SócioAmbientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2006.

CARVALHO, T. M. Quantificação de sedimentos em suspensão e de fundo no médio rio Araguaia. **Revista Geografia Acadêmica**, Boa Vista, v. 1, n. 1, p. 55-64, 2007. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA178534727&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&iissn=16787226&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7E73e8e5ea>. Acesso em: 05 mar. 2022.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; SORRIBAS, M. V.; PONTES, P. R. M. Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio de Janeiro, v.18, n. 3, p. 241- 257, 2013. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=109&SUMARIO=1630>. Acesso em: 05 mar. 2022.

- FROZZI, J. C.; CUNHA, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; BERGAMIN, A. C.; BRITO, W. B. M.; FRACISCON, U.; SILVA, D. M.P.; LIMA, A. F. L.; BRITO FILHO, E. G. Physical attributes and organic carbon in soils under natural and anthropogenic environments in the South Amazon region. **Environmental Earth Sciences**. Dresden. v. 79, n.63, p. 251-266, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-020-08948-x>. Acesso em: 05 mar. 2022.
- JUNK, W. J. Recursos hídricos da região amazônica: utilização e preservação. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 9, n 2, p. 37-51, 1979. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/yPvJ4GfXbmMYqTQncwqzFnc/?lang=pt>. Acesso em: 05 mar. 2022.
- MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Fortaleza: ABES, 2011. 380 p.
- ISAAC, V. J.; BARTHEM, R. B. Os Recursos Pesqueiros da Amazônia Brasileira. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Antropologia**, Belém, v. 11, n.2, p. 295-339, 1995. Disponível em: <http://repositorio.museu-goeldi.br:8080/bitstream/mgoeldi/550/1/B%20MPEG%20Ant%2011%282%29%201995%20I%20saac.pdf>. Acesso em: 05 mar.2022.
- REDIVO, A. L.; GUIMARÃES, R.; RAMOS, V.M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E.S. **Comparação entre diferentes interpoladores na delimitação de bacias hidrográficas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 20p. (Documentos/ Embrapa Cerrados, 71).
- SIOLI, H. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana: Limnologia et Oecologia Regionalis Systematis Fluminis Amazonas**, Belem, v. 1, n.3, p. 267-277, 1967. Disponível em: https://pure.mpg.de/pubman/faces/ViewItemOverviewPage.jsp?itemId=item_3148443. Acesso em: 05 mar. 2022
- SOUZA, C. A; CUNHA, S. B. Pantanal de Cáceres - MT: Dinâmica das Margens do Rio Paraguai entre a Cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã –MT. **REAGB – Seção Três Lagos**, Três Lagoas, v. 1, n.5, p.18-43.2007. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/RevAGB/article/view/1363>. Acesso em: 05 mar. 2022.
- WAGNER, A. P. L. **Dinâmica Temporal de Índices de Vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas Relações com os Elementos Meteorológicos Regionais**. 2013. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/86640>. Acesso em: 03 mar.2022.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004.