UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ANÁLISE ESPAÇOTEMPORAL DA VARIAÇÃO DOS PULSOS DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO DO INTERFLÚVIO PURUS-MADEIRA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA

ADALCIR ARAÚJO FEITOSA JÚNIOR

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO RODRIGUES DOS ANJOS

Humaitá/AM
Maio/2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ANÁLISE ESPAÇOTEMPORAL DA VARIAÇÃO DOS PULSOS DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO DO INTERFLÚVIO PURUS-MADEIRA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA

ADALCIR ARAÚJO FEITOSA JÚNIOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO RODRIGUES DOS ANJOS

Humaitá, AM
Maio/2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

F311a

Feitosa Júnior, Adalcir Araújo
Análise espaço-temporal da variação dos pulsos de inundação na região do interflúvio Purus-Madeira no sudoeste da Amazônia / Adalcir Araújo Feitosa Júnior . 2023
35 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Marcelo Rodrigues dos Anjos
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Planície de inundação. 2. Ordenamento territorial. 3. Modelagem hidrológica. 4. Geoprocessamento. I. Anjos, Marcelo Rodrigues dos. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha filha Lia Silva Feitosa e aos meus pais Adalcir Araújo Feitosa (*in memoriam*) e Maria de Fátima Ribeiro Soares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me manter inabalável.

Sou imensamente grato ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Rodrigues dos Anjos, pela orientação exemplar, conhecimento especializado e paciência demonstrada ao longo deste processo. Suas valiosas sugestões e *insights* foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço também aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Deyvid Diego Carvalho Maranhão e Rodrigo Tartari, por dedicarem seu tempo e expertise na avaliação deste trabalho e por fornecerem sugestões construtivas que contribuíram para o seu aprimoramento.

Aos meus amigos, Péricles Vale Alves, Dalton Dias da Silva Júnior, Altemar Lopes Pedreira Júnior e Luis Octávio Fabrício dos Santos pelas ideias, contribuições e apoio.

Agradeço ao LIOP do IEAA por todo suporte, em especial ao pesquisador Hildeberto Ferreira de Macêdo Filho.

Agradeço a Câmara de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade Federal do Amazonas pela decisão fundamentada na legalidade.

Agradeço a todos que estiveram comigo nesta caminhada.

EPÍGRAFE

Vim, vi e venci (imperador romano Júlio César).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS ..... **viii**
LISTA DE TABELAS ..... **ix**
RESUMO GERAL ..... **x**
ABSTRACT ..... **xi**
1. INTRODUÇÃO **1**
1.2. Justificativa 2
1.3. Objetivos 2
1.3.1. Objetivo geral 2
1.3.2. Objetivos específicos 3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **4**
2.1. A bacia Amazônica 4
2.2. O interflúvio Purus-Madeira 4
2.3.1. A bacia do rio Purus 5
2.3.2. A bacia do rio Madeira 6
RESUMO **7**
ABSTRACT **8**
1. INTRODUÇÃO **9**
2. MATERIAL E MÉTODOS **11**
2.1. ÁREA DE ESTUDO 11
2.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 11
2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA 12
2.4. MODELAGEM DA EXTENSÃO DOS PULSOS DE INUNDAÇÃO 14
3. RESULTADOS **16**
4. DISCUSSÕES **28**
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS **31**
REFERÊNCIAS **32**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do interflúvio Purus-Madeira, das bacias dos rios Madeira e Purus, dos municípios de Humaitá/AM e Lábrea/AM. 5

Figura 2 – Localização das bacias dos rios Madeira (A) e Purus (B), nos municípios de Humaitá/AM e Lábrea/AM no sudoeste da Amazônia. 11

Figura 3 – Média mensal da precipitação acumulada, cotas máximas e mínimas mensais do rio Madeira (A) e Purus (B) durante 1992 a 2021. 18

Figura 4 – (A) Distribuição espaço temporal da precipitação média mensal para as bacias do rio Madeira e Purus durante os anos de 1992 a 2021; (B) Precipitação média mensal sobre a Bacia do Madeira; (C) Precipitação média mensal sobre a Bacia do Purus. 20

Figura 5 – Regressão linear entre a cota média mensal do rio Madeira em Humaitá – AM com a média da precipitação sobre a bacia do Madeira. As correlações com *** indicam nível de significância de p < 0,001. 22

Figura 6 – Regressão linear entre a Cota média mensal do rio Purus em Lábrea – AM com a média da precipitação sobre a bacia do Purus. As correlações com *** indicam nível de significância de p < 0,001. 24

Figura 7 – Mapeamento mensal das manchas de inundação da sub-bacia do rio Madeira em Humaitá/AM. 26

Figura 8 – Mapeamento mensal das manchas de inundação da sub-bacia do rio Purus em Lábrea/AM. 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatística descritiva dos dados de cotas fluviométricas das sub-bacias dos médios rio Purus e Madeira (cm) e precipitação (mm) médios mensais das bacias hidrográficas do rio Madeira e Purus entre 1992 e 2021. X_m: Média Mensal; MD: Mediana; DP: Desvio Padrão; Mín.: Mínimo; Máx.: Máximo. 17

Tabela 2 – Relação dos modelos de regressão linear entre a cota média mensal da sub-bacia do médio rio Madeira em Humaitá – AM com a média da precipitação sobre a bacia do Madeira. As correlações com *** indicam nível de significância de p < 0,001. 21

Tabela 3 – Relação dos modelos de regressão linear entre a cota média mensal da sub-bacia do médio rio Madeira em Humaitá – AM com a média da precipitação sobre a bacia do Madeira. As correlações com *** indicam nível de significância de p < 0,001. 23

RESUMO GERAL

Na região Amazônica, os pulsos de inundação ocorrem em decorrência dos altos volumes de precipitações observadas e distribuídas entre períodos seco e chuvoso. A região das sub-bacias do médio Purus e médio rio Madeira se encontram em um cenário de desenvolvimento e modificação no uso e cobertura da terra em decorrência da implantação das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, da reestruturação de estradas, da exploração mineral e vegetal, da agropecuária e da urbanização. Com isso, o objetivo desse estudo é detectar a variação dos pulsos de inundação utilizando o modelo digital de elevação e as cotas máximas e mínimas a fim de fornecer informações para colaborar com o ordenamento territorial utilizando ferramentas que possam subsidiar e fomentar políticas públicas que orientem o uso e ocupação do solo. A análise estatística incluiu médias mensais, desvio padrão, mediana, valores máximos e mínimos, análise de correlação entre precipitação e nível de água, regressão linear e a modelagem do pulso de inundação utilizando geotecnologias. O médio rio Madeira variou de 1061,3 cm em setembro a 2235,1 cm em março. Já o médio rio Purus apresentou variações significativas ao longo do período analisado, com maiores valores no período chuvoso (dezembro a março) e menores no período de estiagem (maio a setembro). A maior cota no médio rio Madeira foi registrada em 2014, atingindo 2556,50 cm em Humaitá/AM, enquanto o menor nível foi observado em setembro de 2005 com 909,5 cm. A maior cota do médio rio Purus foi registrada em abril de 1997 com 2141,00 cm, enquanto o menor foi observado no período mais seco em setembro de 2016 com 409,50 cm. Deste modo, a sub-bacia do rio Purus é mais sensível às mudanças na precipitação do que a sub-bacia do rio Madeira, com correlações mais fortes e tempos de resposta mais rápidos. Assim, essas informações são importantes para entender os impactos dos pulsos de inundação nas comunidades ribeirinhas e na economia da região sudoeste da Amazônia.

Palavras chave: Planície de inundação, Ordenamento territorial, Modelagem hidrológica.

ABSTRACT

In the Amazon region, flood pulses occur as a result of the high volumes of precipitation observed and distributed between dry and rainy periods. The region of the middle Purus and middle Madeira river sub-basins are in a scenario of development and modification in land use and coverage as a result of the implementation of the hydroelectric plants of Santo Antônio and Jirau, the restructuring of roads, mineral exploration and plant, agriculture and urbanization. With this, the objective of this study is to detect the variation of the flood pulses using the digital elevation model and the maximum and minimum levels in order to provide information to collaborate with the territorial order using tools that can subsidize and promote public policies that guide the land use and occupation. Statistical analysis included monthly means, standard deviation, median, maximum and minimum values, correlation analysis between precipitation and water level, linear regression and flood pulse modeling using geotechnologies. The average Madeira River ranged from 1061.3 cm in September to 2235.1 cm in March. The middle Purus River, on the other hand, showed significant variations over the analyzed period, with higher values in the rainy season (December to March) and lower values in the dry season (May to September). The highest elevation in the middle Madeira River was recorded in 2014, reaching 2556.50 cm in Humaitá/AM, while the lowest level was observed in September 2005 with 909.5 cm. The highest elevation of the middle Purus River was recorded in April 1997 with 2141.00 cm, while the lowest was observed in the driest period in September 2016 with 409.50 cm. Thus, the Purus river sub-basin is more sensitive to changes in precipitation than the Madeira sub-basin, with stronger correlations and faster response times. Thus, this information is important to understand the impacts of flood pulses on riverside communities and on the economy of the southwest region of the Amazon.

Keywords: Floodplain, Land use planning, Hydrological modelling.

1. INTRODUÇÃO

Os pulsos de inundação são caracterizados pela variação sazonal do nível de água dos corpos hídricos, estes pulsos atuam como reguladores da dinâmica ecossistêmica nas planícies de inundação. Em função do seu comportamento, os sistemas alagáveis estimulam a biodiversidade associada as trocas biogeoquímicas de materiais e a dispersão de seres entre o rio principal e os ambientes limítrofes (CORREA et al., 2022; JUNK et al., 1989). Na região Amazônica, os pulsos de inundação ocorrem por influência do alto volume de precipitações observadas e distribuídas ao longo dos períodos seco e chuvoso.

Com isso, observa-se a manutenção das altas taxas de biodiversidade e o fornecimento de recursos naturais que possibilitam o desenvolvimento de atividades socioeconômicas da população, como a logística, a silvicultura e a pesca na Amazônia (JUNK et al., 2000; FERREIRA et al., 2013; LANGILL; ABIZAID, 2020). De acordo com Brasil (1978) a região Amazônica é subdividida em 23 ecorregiões que são classificadas em relação às suas características de relevo e solo. Uma dessas ecorregiões, é a região do interflúvio Purus-Madeira, de forma mais específica, a região do médio Purus e Madeira que se encontra em um cenário de desenvolvimento e modificação no uso e cobertura da terra em decorrência da implantação das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, da reestruturação de estradas, da exploração mineral e vegetal, da agropecuária, bem como dos processos de urbanização (TARTARI et al., 2015).

1.1. Problemática

Na região do interflúvio Purus-Madeira, especificamente no médio rio Madeira e médio rio Purus faz-se necessário compreender a variação espaço-temporal dos pulsos de inundação a fim de subsidiar as tomadas de decisão acerca das políticas públicas e do gerenciamento dos recursos ambientais e econômicos. A localidade apesar de ter a sua importância reconhecida, ainda é pouco conhecida do ponto de vista ecofisiológico, consequentemente é importante conhecer os fenômenos naturais e as flutuações para que seja possível propor um ordenamento territorial para identificar áreas prioritárias para o desenvolvimento socioambiental, através de um zoneamento socioeconômico ecológico e caracterizar a extensão e variabilidade das inundações ao longo do tempo (MICHALSKI; BORGES, 2022). Vale ressaltar, que as atividades socioprodutivas dependem do ciclo de inundação, as quais carecem de

instrumentos de planejamento que apoiem o desenvolvimento regional (MENDES et al., 2015). Em termos de desenvolvimento e influencia sobre os aspectos naturais, estão as atividades como a reconstrução da rodovia BR-319 que liga as cidades de Manaus/AM e Porto Velho/RO, a construção das hidrelétricas entre as cidades de Porto Velho/RO e Abunã/RO no rio Madeira e as atividades socioeconômicas de várzea das populações instanciadas ao longo dos rios Madeira e Purus (XIMENES et al., 2021).

1.2. Justificativa

Visando criar uma ferramenta para identificar áreas superficiais que podem ser alagadas espacialmente que contribua para o planejamento terrorial, as geotecnologias têm oportunizado o mapeamento dos recursos naturais, dos atributos ambientais físicos e biológicos, bem como tem contribuído para compreensão de processos ecológicos (SILVA et al., 2013). Onde, o entendimento de áreas inundáveis representa uma ferramenta importante para direcionamento da dinâmica urbana/rural e o ordenamento do uso e ocupação do solo, pois realizando-se o zoneamento dessas áreas, pode-se delimitá-las e designá-las para o uso adequado. Mendes et al. (2015) ressalta que a utilização de produtos de geotecnologias permite um monitoramento rápido e de baixo custo para a análise territorial, no entanto é importante ressaltar que os estudos devem ser contínuos e diversos levando em consideração sua integração e a diversidade metodológica que podem ser incorporados aos modelos.

Para estudar a variação dos pulsos de inundação podem ser utilizadas ferramentas geotecnológicas para compreender a influencia da precipitação aplicada ao interflúvio Purus-Madeira, especificamente na região nas sub-bacias dos médios Purus e Madeira, a fim de compreender o efeito das chuvas em razão pulsos de inundação das regiões supracitadas em uma escala espaço-temporal de 30 anos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Detectar a variação dos pulsos de inundação em função do modelo digital de elevação do território em duas sub-bacias no sudoeste da Amazonia.

1.3.2. Objetivos específicos

Caracterizar a variabilidade das cotas fluviométricas nas sub-bacias do médio rio Purus e do médio Madeira.

Modelar os pulsos de inundação de duas sub-bacias dos médios rio Purus e Madeira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A bacia Amazônica

A bacia amazônica se estende por cerca de 6 milhões de km² em nove países da América do Sul, e tem precipitação anual aproximada de 2.200 mm/ano. A descarga do rio Amazonas faz uma grande contribuição para as exportações globais de água doce e sedimentos para o oceano (FASSONI-ANDRADE et al., 2021). Esta bacia junto ao rio Amazonas fornece água para uso doméstico, irrigação, pecuária, geração de energia hidrelétrica, transporte fluvial e serviços ecossistêmicos essenciais (JUNK et al., 2014). As áreas úmidas da bacia fazem são consideradas planícies de inundação porque estão sujeitas a inundações sazonais ou periódicas em decorrência do transbordamento do rio. Deste modo, a área da bacia tem sido um foco de estudos para desenvolvimentos de sensoriamento remoto e aplicações em hidrologia, especialmente para estimativa de inundação, dada a grande escala da bacia e relevância ambiental global, paisagem relativamente intocada e desafios técnicos impostos por cobertura de nuvens persistentes e vegetação densa (FLEISCHMANN et al., 2022).

2.2. O interflúvio Purus-Madeira

O interflúvio Purus Madeira é uma região que se destaca por sua rica biodiversidade (STEGMANN, 2019). Esta região cobre uma área aproximada de 300.000 km² e está entre os rios Purus e Madeira. Os municípios que fazem parte desta região são: Lábrea/AM, Canutama/AM, Humaitá/AM, Tapauá/AM, Manicoré/AM, Beruri/AM, Novo Aripuanã/AM, Borba/AM, Manacapuru/AM, Itacoatiara/AM, Iranduba/AM, Manaquiri/AM, Careiro/AM, Autazes/AM, Careiro da Várzea/AM e Porto Velho/RO (SILVA; MANIESI; SOUZA, 2021).

O interflúvio Purus Madeira é uma área Amazônica que não há de o entendimento em sua totaltotalidadetotalidade extensão em da sua biodiversidade (Figura 1). No entanto, com o intuito de aumentar a compreensão da biodiversidade foram realizadas inúmeras expedições científicas com especialistas em aves, répteis, anfíbios, aracnídeos, peixes, primatas e plantas, diversas pesquisas são realizadas na região norte do interflúvio Purus Madeira com lagartos, quelônios, aves e entre outras faunas (XIMENES et al., 2021).

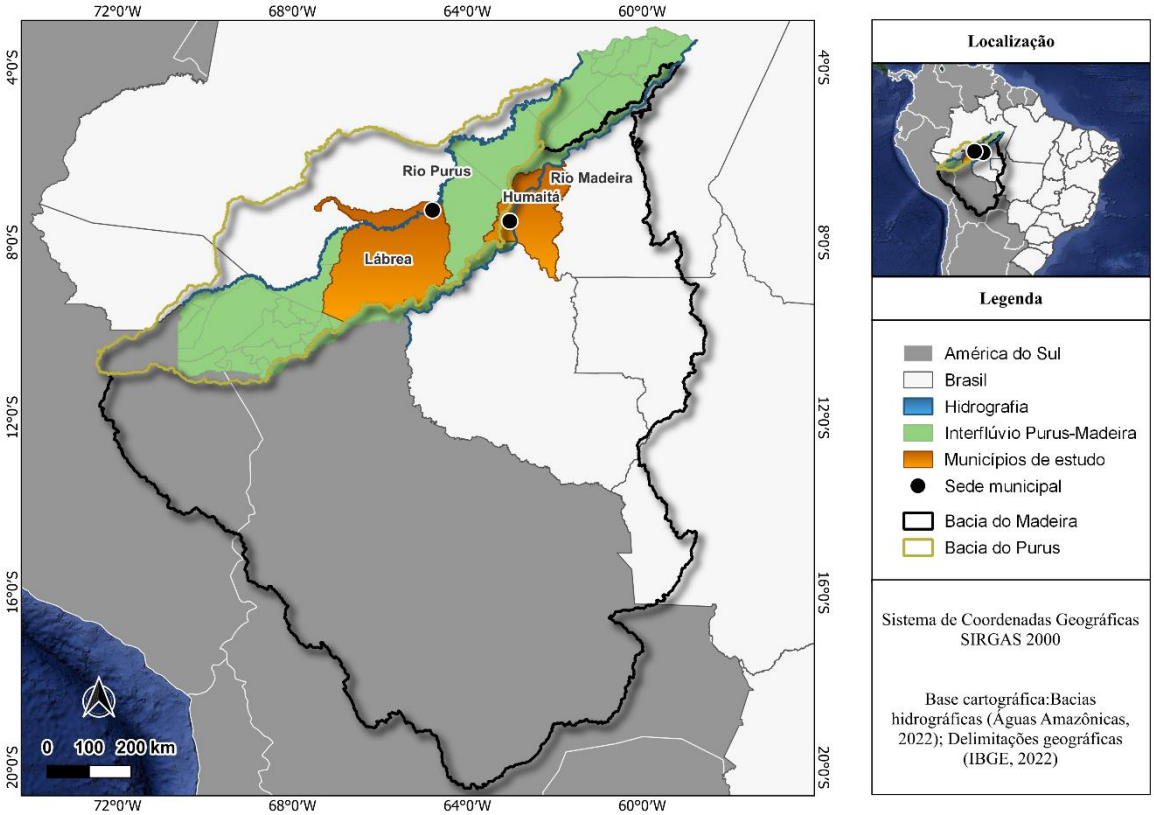

Figura 1 – Localização do interflúvio Purus-Madeira, das bacias dos rios Madeira e Purus, dos municípios de Humaitá/AM e Lábrea/AM.

2.3.1. A bacia do rio Purus

O rio Purus é um dos principais afluentes do rio Solimões, sua bacia tem uma área aproximada de 370.091 km² e a vazão média anual é de 10.700 m³/s. O período de cheia está entre abril e maio, enquanto o período seca ocorre de outubro a novembro (SANTOS et al., 2018a). A bacia do Purus é considerada em alto estado de conservação na Amazônia brasileira. No entanto, nos últimos anos, a pecuária, o avanço da fronteira agrícola para a produção de soja e o desmatamento pelaconstitueconstituem uma ameaça para os ecossistemas aquáticos (RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2017).

A população da sub-bacia do médio rio Purus é formada principalmente por comunidades tradicionais ribeirinhas, que dependem do rio e da floresta para sua subsistência. A região apresenta ainda grandes desafios em termos de desenvolvimento sustentável, incluindo a importância necessidade de proteger a floresta e seus recursos naturais, ao mesmo tempo em que se busca melhorar as

condições de vida das comunidades locais (FURQUIM; CANGUSSU; SHIRATORI, 2022).

2.3.2. A bacia do rio Madeira

O rio Madeira é o maior afluente de águas brancas da bacia do rio Amazonas com vazão anual variando entre 2.300 e 58.500 m³/s. O período de seca está entre agosto e novembro e o de cheia de janeiro a abril (BASTOS et al., 2020). O rio Madeira é o maior afluente do sul da bacia amazônica, contribuindo com 15% da descarga total de água do rio Amazonas para o Oceano Atlântico. Sua bacia drena três estruturas geomorfológicas importantes: a Cordilheira dos Andes, o Escudo Brasileiro e as planícies amazônicas, abrangendo altitudes elevadas nas regiões a montante, grandes planícies de inundação em áreas mais planas e cachoeiras dentro do Escudo Brasileiro (FÖEGER et al., 2022).

No entanto, a região também enfrenta desafios em relação à preservação ambiental e à sustentabilidade. A mineração, em particular, pode é uma atividade prejudicial ao meio ambiente, quando não utilizada é de forma responsável e sustentável. OutraAlém disso, a construção de grandes barragens, como a Usina Hidrelétrica de Santo Antônio e a Usina Hidrelétrica de Jirau, tem gerado impactos significativos na região, afetando a fauna, a flora e as comunidades locais (FEARNSIDE, 2014).

Artigo: VARIABILIDADE DAS COTAS FLUVIOMÉTRICAS DE DUAS SUB-BACIA DO MÉDIO RIO MADEIRA E PURUS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA

RESUMO

A variabilidade das cotas fluviométricas apresenta impacto direto na vida das comunidades ribeirinhas e na economia da região sudoeste da Amazônia. Entender a variabilidade das cotas fluviométricas nos permite monitorar o nível de água em um rio ao longo do tempo, sendo útil para a gestão e conservação dos ecossistemas que estão associados. Esta análise das cotas fluviométricas também é importante para a construção e manutenção de infraestruturas que dependem do rio, como pontes e barragens, garantindo a segurança e evitando danos ou colapsos dessas estruturas. O objetivo deste estudo foi investigar a variabilidade das cotas fluviométricas das sub-bacias dos médios rios Madeira e Purus na região sudoeste da Amazônia. Os dados cotas fluviométricas foram coletados por estações localizadas em Humaitá e Lábrea no período de 1992 a 2021, e fornecidos pela Agência Nacional de Águas. O sumário estatístico incluiu médias mensais, desvio padrão, mediana, valores máximos e mínimos e análise de correlação entre precipitação e nível de água, bem como regressão linear. As cotas fluviométricas do rio Madeira variaram de 1061,3 cm em setembro a 2235,1 cm em março. As cotas do rio Purus apresentaram variações significativas ao longo do período analisado, com maiores valores no período chuvoso (dezembro a março) e menores no período de estiagem (maio a setembro). A maior cota do rio Madeira foi registrada em 2014, atingindo 2556,50 cm em Humaitá, enquanto o menor nível foi observado em setembro de 2005 com 909,5 cm. A maior cota do rio Purus foi registrada em abril de 1997 com 2141,00 cm, enquanto o menor foi observado no período mais seco em setembro de 2016 com 409,50 cm. Portanto, a bacia do rio Purus é mais sensível às mudanças na precipitação do que a bacia do rio Madeira, com correlações mais fortes e tempos de resposta mais rápidos. Assim, essas informações são importantes para entender as nas os impactos das mudanças comunidades ribeirinhas e na economia da região sudoeste da Amazônia.

Palavras-chave: Estiagem; Inundações; Precipitação; Secas; Variabilidade climática.

ABSTRACT

The variability of fluviometric levels has a direct impact on the life of riverside communities and on the economy of the southwest region of the Amazon. Understanding the variability of fluviometric levels allows us to monitor the water level in a river over time, being useful for the management and conservation of the associated ecosystems. This analysis of fluviometric levels is also important for the construction and maintenance of infrastructures that depend on the river, such as bridges and dams, ensuring safety and preventing damage or collapse of these structures. The objective of this study was to investigate the variability of the fluviometric levels of the sub-basins of the middle Madeira and Purus rivers in the southwest region of the Amazon. The fluviometric data were collected by stations located in Humaitá and Lábrea in the period from 1992 to 2021, and provided by the National Water Agency. The statistical summary included monthly means, standard deviation, median, maximum and minimum values and correlation analysis between precipitation and water level, as well as linear regression. The fluviometric levels of the Madeira River ranged from 1061.3 cm in September to 2235.1 cm in March. The Purus river levels showed significant variations over the analyzed period, with higher values in the rainy season (December to March) and lower values in the dry season (May to September). The highest elevation of the Madeira River was recorded in 2014, reaching 2556.50 cm in Humaitá, while the lowest level was observed in September 2005 with 909.5 cm. The highest elevation of the Purus River was recorded in April 1997 with 2141.00 cm, while the lowest was observed in the driest period in September 2016 with 409.50 cm. Therefore, the Purus River basin is more sensitive to changes in precipitation than the Madeira River basin, with stronger correlations and faster response times. Thus, this information is important to understand the impacts of changes in riverside communities and on the economy of the southwest region of the Amazon.

Keywords: Drought; Floods; Precipitation; droughts; Climate variability.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é uma das regiões mais importantes do mundo, não só em termos de biodiversidade, mas também por seus rios que desempenham um papel crucial no transporte de sedimentos, nutrientes e são importantes fontes de água doce para as comunidades regionais (SANTOS et al., 2021). Deste modo, são considerados ecossistemas importantes nos aspectos sociais, econômicos, culturais e ambientais da região (SANTOS et al., 2018b).

No entanto, a variabilidade das cotas fluviométricas desses rios tem sido objeto de preocupação nos últimos anos, devido à eventos de ordem global como as mudanças climáticas e a intensificação das atividades antrópicas na região (CHEVUTURI et al., 2022; ESPINOZA et al., 2019). Um exemplo de consequência das mudanças climáticas é a diminuição de chuvas no sul da bacia do Madeira prolongando a estação seca onde a este evento está associado a redução da floresta tropical. Com isso, a redução da quantidade de água nos rios durante os períodos de seca, tem um impacto significativo na vida aquática e na qualidade da água (QUINTINO NETA et al., 2022). Sendo que, a variabilidade das cotas fluviométricas dos rios amazônicos é influenciada por vários fatores, incluindo a precipitação, o escoamento superficial, a evapotranspiração e o relevo (GOMES et al., 2019).

Particularmente, a bacia do rio Madeira e do Purus são caracterizadas por rios de várzea, que são mais sujeitos a inundações (BARAN; SOUZA, 2022). Visto que, nos últimos anos ocorreram grandes enchentes no rio Madeira e Purus (FEARNSIDE, 2014; GOMES et al., 2020). Por outro lado, ocorreram secas históricas em ambos os rios em, com níveis de água muito abaixo do normal, causando sérios danos em cidades ao longo dos rios (COSTA, 2019).

Entender a variabilidade das cotas fluviométricas nos permite monitorar o nível de água em um rio ao longo do tempo, útil para a gestão e conservação dos ecossistemas que estão associados (FRANCA; JUSTINA; SAMPAIO, 2015). Esta análise das cotas fluviométricas também é importante para a construção e manutenção de infraestruturas que dependem do rio, como pontes e barragens, garantindo a segurança e evitando danos ou colapsos dessas estruturas (ZANANDREA et al., 2023).

Neste contexto, entender a variação das cotas fluviométricas, ou seja, o nível das águas dos rios, é um indicador de grande importância para compreender a dinâmica dos ecossistemas aquáticos e terrestres dessa região, de modo a

compreender a interdependencia de ambos para compor a dinâmica dos ecossistemas adjacentes, o que é de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos e o planejamento territorial.

Assim, este estudo tem como objetivo investigar as flutuações dos pulsos de inundação das sub-bacias dos médios rios Purus e Madeira no sudoeste da Amazônia e entender o efeito das precipitações nestas flutuações.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

Os rios Madeira e Purus são uns dos principais cursos d'água da bacia Amazônica, com uma extensão de cerca de 3.315 e 3.590 km, respectivamente (Figura 1). O rio Madeira nasce no rio Beni (Bolívia), e segue recebendo diversos afluentes ao longo do caminho. Por outro lado, o rio Purus nasce no Peru e deságua no rio Solimões. Ambos os rios são caracterizados por uma grande diversidade de ecossistemas, incluindo áreas de floresta tropical, savanas, rios de águas brancas e negras. Essa região também é habitada por diversas comunidades ribeirinhas e indígenas, que dependem dos recursos naturais para sua subsistência. O clima predominante é o equatorial quente e úmido, com precipitação média anual em torno de 2.300 mm (FURQUIM; CANGUSSU; SHIRATORI, 2022; XIMENES et al., 2021).

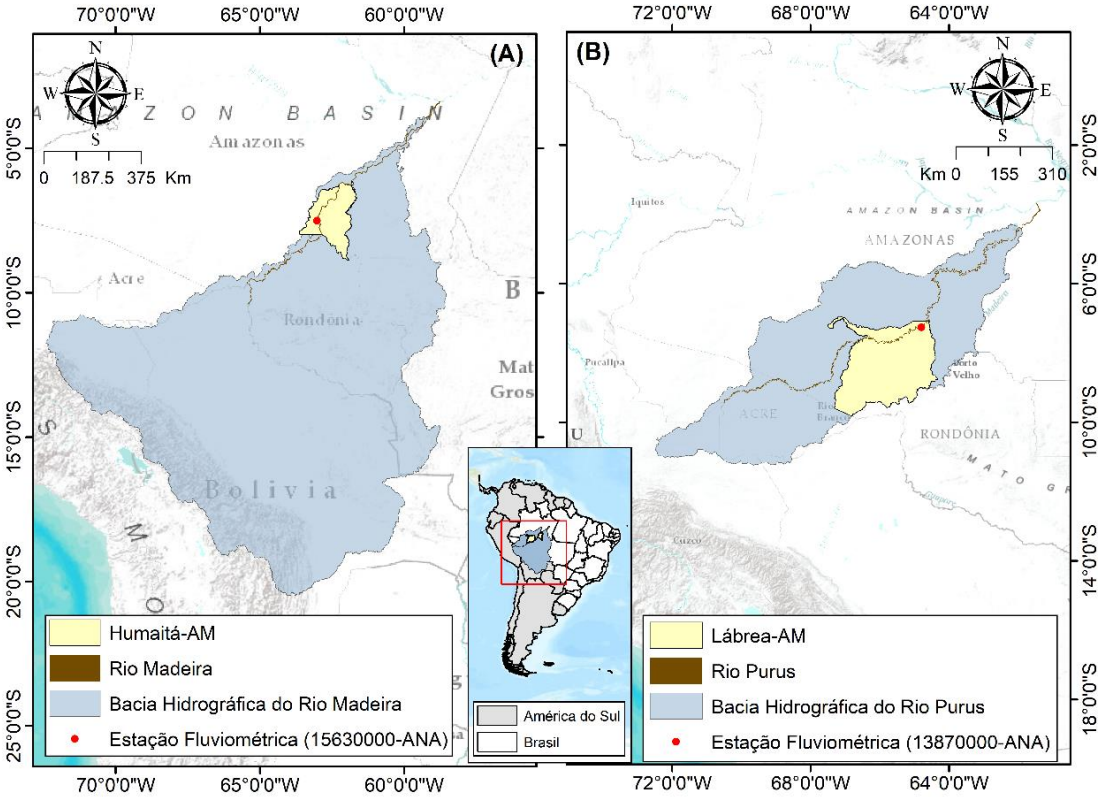

Figura 2 – Localização das bacias dos rios Madeira (A) e Purus (B), nos municípios de Humaitá/AM e Lábrea/AM no sudoeste da Amazônia.

2.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizados dados de cotas fluviométricas máximas e mínimas, coletados por estações fluviométricas instaladas nos rios Madeira em Humaitá/AM (15630000) e Purus em Lábrea/AM (13870000) durante 1992 a 2021. Estes dados são

pertencentes a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), os quais estão disponibilizados através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH/HIDROWEB; https://www.snirh.gov.br/hidroweb).

Os dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) foram coletados por meio da plataforma Google Earth Engine, que oferece acesso a uma vasta quantidade de dados geoespaciais através dos dados disponibilizados da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), na resolução de 30 metros, com o dataset intitulado como “NASA SRTM Digital Elevation 30m” e posteriormente recortado para a área de estudo através da função “clip”. Posteriormente, com o script “Export.image.toDrive”, a imagem gerada foi exportada para o Google Drive. O sistema de coordenadas adotado para o MDE é o EPSG:4674, referente ao sistema de referência geodésico SIRGAS 2000, que é amplamente utilizado na América do Sul.

Os dados de precipitação mensal foram obtidos entre 1992 e 2021 a partir da reanálise ERA5-*Land*, os quais são disponibilizados na plataforma *Climate Data Store* (CDS) do *Copernicus Climate Change Service*.

O ERA5-Land é um conjunto de dados globais de reanálise climática que fornece informações detalhadas sobre as condições climáticas em todo o mundo (XU et al., 2022). A Reanálise do ERA5-*Land* fornece uma série de características importantes, incluindo alta resolução espacial (~9 km) e temporal (1 hora), bem como a capacidade de fornecer informações detalhadas sobre outras variáveis atmosféricas, como temperatura, umidade e pressão (MUÑOZ-SABATER et al., 2021). Além disso, o ERA5-*Land* utiliza um sistema avançado de assimilação de dados que integra uma ampla gama de fontes de informações, como sensores orbitais, estações meteorológicas de superfície e boias oceânicas (XU et al., 2022). Isso permite que os dados de precipitação sejam mais precisos e confiáveis, fornecendo informações valiosas para pesquisas em uma ampla gama de áreas, incluindo hidrologia, climatologia e agricultura (MUÑOZ-SABATER et al., 2021).

2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O diagnóstico estatístico foi realizado através das Médias Mensais ($\bar{X}_m$), Desvio Padrão (DP), Mediana (MD), Valores Máximos (Máx.) e Mínimos (Mín.) (Equações 1 e 2).

$$DP= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{n - 1}} \quad (1)$$

$$MD= \frac{(n+1)}{2}, \quad \text{se n for ímpar;}$$

$$MD= \frac{\left(\frac{n}{2}\right) + \left(\frac{n}{2} + 1\right)}{2}, \quad \text{se n for par.} \quad (2)$$

Em que, n é o número de observações, X_i é o valor de precipitação/cota do rio observado e $\overline{X}$ é a média dos valores observados de precipitação/cota do rio.

Posteriormente aplicando-se análise de correlação entre a precipitação e a cota fluviométrica para cada bacia com diferentes níveis defasagens mensais em até 12 meses. Desta maneira, para avaliar a força e a direção da relação linear entre duas variáveis contínuas foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (Equação 3). A correlação varia de -1 a 1, indicando uma correlação perfeitamente negativa e uma correlação perfeita positiva entre as variáveis, respectivamente (BENESTY *et al.*, 2009). Uma correlação igual a zero indica que não há relação linear entre as variáveis (BENESTY *et al.*, 2009).

$$r = \frac{\sum(P_i - P)(O_i - O)}{\sqrt{\sum(P_i} - P)^2 \sum(O_i - O)^2} \quad (3)$$

Em que, P_i são os valores de precipitação, O_i são valores da cota dos rios, O e P são os valores médios da cota do rio e da precipitação, respectivamente.

Após a análise de correlação, foram realizadas análises de regressão linear para verificar a relação entre a precipitação e as cotas fluviométricas. Assim, foi ajustado um modelo de regressão linear simples para cada defasagem analisada. A significância dos coeficientes de regressão e os valores de R^2 foram calculados para cada modelo. Os modelos de regressão são ferramentas matemáticas amplamente utilizadas para estudar a relação entre duas variáveis, em que uma delas (Y) é considerada dependente e a outra (X) é independente (SU; YAN; TSAI, 2012). No modelo de regressão simples, a função que relaciona essas duas variáveis é dada por $\mathrm{f(X)} = \alpha x + \beta$, em que X é a variável independente e $\mathrm{Y} = \mathrm{f(X)}$ é a variável dependente que varia em resposta às mudanças em X (SU; YAN; TSAI, 2012).

Para estimar os parâmetros do modelo, foram calculados o coeficiente angular da reta de ajuste (β) (Equação 4) e o coeficiente linear (α), que representa o ponto de interceptação com o eixo y (Equação 5).

$$\beta = \frac{n(\sum x_i\, y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \tag{4}$$

$$\alpha = \frac{\sum y_i - \beta \sum x_i}{n} \tag{5}$$

Por fim, a equação da reta foi calculada através da Equação 6.

$$Y = \alpha x + \beta \tag{6}$$

O coeficiente de Determinação (R^2) foi utilizado para indicar a proporção de variação da variável dependente (cota fluviométrica) que é explicada pela variável independente (precipitação) no modelo de regressão. O R^2 mede o grau de ajuste do modelo aos dados observados (Equação 7).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \hat{Y}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2} \tag{7}$$

Em que, Y_i representa o valor observado da variável dependente para a i-ésima observação do conjunto de dados, $\hat{Y}$ indica o valor predito pelo modelo de regressão e $\bar{Y}$ é a média dos valores observados.

2.4. MODELAGEM DA EXTENSÃO DOS PULSOS DE INUNDAÇÃO

O MDE coletado é então carregado no HandModel v. 0.8.2, uma ferramenta especializada para manipulação e processamento de modelos digitais de elevação e utilizada para utilizado para classificar os ambientes hidrológicos da bacia hidrográfica (MELO et al., 2022). Durante essa etapa, são realizadas correções e ajustes necessários para garantir a precisão dos dados, incluindo a remoção de possíveis ruídos ou imperfeições.

A partir do MDE corrigido, é realizada a geração da área acumulada. Essa etapa permite identificar e mapear as áreas de maior acúmulo de água na região de

estudo. A análise da área acumulada contribui para o entendimento dos padrões de escoamento e a delimitação de potenciais áreas suscetíveis a inundações.

Após a obtenção da área acumulada, é realizada a geração da drenagem, revelando os padrões de escoamento da água na região. A análise da rede de drenagem auxilia na compreensão da conectividade hidrológica e na identificação de áreas de maior influência na circulação da água.

Por fim, é gerado o Modelo HAND, que fornece informações sobre a altura em relação à drenagem mais próxima, não sendo necessário fazer o ajuste com o nível do mar, uma vez que o modelo HAND se concentra na análise da altura em relação à drenagem mais próxima, e não no ajuste do nível do mar.

O Modelo HAND foi importado no software QGIS v. 3.28.2 e realizado uma reclassificação com base nos valores das cotas mensais obtidas pela Agência Nacional de Águas. Essa reclassificação considerou as áreas cobertas por água, as regiões alagadas devido à variação sazonal das águas e as regiões não alagadas. Por fim, foi elaborado um mapa de situação com os dados obtidos.

3. RESULTADOS

A cota fluviométrica média da sub-bacia do médio Madeira em Humaitá variou de 1061,3 cm em setembro a 2235,1 cm em março (Tabela 1). A mediana, que é uma medida de posição central, variou de 1032,75 cm em setembro a 2233,25 cm em março. O desvio padrão, que mede a dispersão dos dados em relação à média, variou de 75,48 cm em outubro a 183,73 cm em junho (Tabela 1). Essas medidas indicam uma grande variação sazonal na cota do rio, com valores mais altos ocorrendo no final da estação de inverno e início da primavera, e valores mais baixos no verão e no outono. O valor mínimo registrado foi de 909,50 cm em setembro, enquanto o valor máximo foi de 2556,50 cm em abril (Tabela 1).

Os valores médios de precipitação sobre a bacia do rio Madeira variam de 148,99 mm em agosto a 683,55 mm em janeiro, com um pico em janeiro e uma queda em agosto. A mediana, por sua vez, varia de 124,74 mm em agosto a 656,37 mm em janeiro, também apresentando um pico em janeiro e uma queda em agosto (Tabela 1). O desvio padrão indica a dispersão dos dados, sendo maior nos meses de janeiro, fevereiro e abril e menor em setembro e outubro. O valor mínimo éé de 48,26 mm em setembro ee 403,12 mm em dezembro, enquanto o valor máximo éé de 296,71 mm em agosto ee 1267,82 mm em janeiro (Tabela 1).

As cotas fluviométricas do rio Purus apresentaram pulsos de inundação com amplitude significativa entre o período analisado, sendo mais elevadas no período chuvoso, que corresponde de dezembro a março, e mais baixas no período seco, de maio a setembro (Figura 2B). O mês de abril apresenta a menor variação de cotas fluviométricas, enquanto junho é o que apresenta maior variação. As cotas mínimas variam entre 409,5 cm e 1319,5 cm, enquanto as máximas variam entre 624,0 cm e 2141,0 cm. As médias mensais de cota do rio variam entre 518,15 cm e 1995,48 cm (Tabela 1). A precipitação média mensal mais alta é observada em março, com um valor médio de 301,5 mm (Figura 2B). Já a menor média mensal é registrada em agosto, com apenas 57,4 mm. Em geral, os valores mensais variam entre 40,4 mm em julho e 284,2 mm em dezembro, com uma distribuição razoavelmente homogênea ao longo do ano (Figura 2B).

Tabela 1: Estatística descritiva dos dados de cotas fluviométricas das sub-bacias dos médios rio Purus e Madeira (cm) e precipitação (mm) médios mensais das bacias hidrográficas do rio Madeira e Purus entre 1992 e 2021. $\overline{X}_m$: Média Mensal; MD: Mediana; DP: Desvio Padrão; Mín.: Mínimo; Máx.: Máximo.

Variável	Mês	$\overline{X}_m$		MD		DP		Mín.		Máx.	
		Madeira	Purus	Madeira	Purus	Madeira	Purus	Madeira	Purus	Madeira	Purus
COTAS FLUVIOMÉTRICAS (cm)	Jan	1898,57	1679,06	1887,75	1693,00	126,03	146,52	1676,00	1319,50	2134,50	1903,00
	Fev	2089,98	1929,58	2083,75	1953,50	139,19	98,39	1763,00	1607,00	2332,00	2050,00
	Mar	2235,10	1995,48	2233,25	2036,75	100,60	189,07	2079,00	1032,00	2495,00	2111,00
	Abr	2231,13	2046,80	2220,50	2047,25	116,29	36,10	2012,50	1946,00	2556,50	2141,00
	Mai	2027,38	1872,56	2018,00	1908,75	158,79	128,02	1715,50	1614,00	2363,50	2051,50
	Jun	1719,82	1409,71	1656,00	1399,75	183,73	230,14	1477,50	1007,50	2132,50	1912,00
	Jul	1420,63	892,10	1381,00	849,00	171,66	151,63	1177,50	680,50	1822,00	1238,00
	Ago	1180,02	617,36	1158,75	611,50	133,95	87,97	998,00	464,50	1529,00	819,00
	Set	1061,30	518,15	1032,75	507,75	83,87	58,18	909,50	409,50	1231,00	624,00
	Out	1099,77	538,98	1110,75	535,25	75,48	68,48	960,00	412,00	1288,50	672,00
	Nov	1291,87	795,95	1282,75	782,00	129,83	153,13	1078,00	549,50	1628,50	1129,50
	Dez	1579,32	1237,43	1578,25	1235,00	145,63	209,14	1353,00	782,00	1914,00	1615,00
PRECIPITAÇÃO (mm)	Jan	683,55	276,04	656,37	272,25	197,29	53,91	346,65	179,74	1267,82	414,52
	Fev	645,73	289,21	652,38	298,30	179,88	58,67	355,86	175,04	1000,96	390,15
	Mar	458,58	301,51	420,34	303,12	113,69	62,00	293,19	174,30	734,84	416,86
	Abr	321,39	210,93	284,59	209,95	128,28	52,86	176,70	95,53	691,19	390,93
	Mai	309,86	126,63	284,65	126,58	92,11	33,43	165,58	74,17	533,08	225,74
	Jun	219,93	59,85	199,93	58,24	77,87	24,17	88,72	14,04	409,66	115,56
	Jul	179,58	40,43	164,74	35,88	62,53	25,23	96,62	5,96	339,61	112,80
	Ago	148,99	57,38	124,74	58,29	64,54	25,96	68,81	8,81	296,71	106,01
	Set	170,75	110,35	167,01	111,10	68,99	38,44	48,26	35,86	420,28	198,76
	Out	295,48	178,27	301,32	172,45	73,80	42,02	151,00	78,36	452,31	266,88
	Nov	514,13	229,04	500,40	231,88	176,02	44,84	284,87	148,89	1044,56	368,63
	Dez	675,04	284,16	655,96	291,31	166,75	58,36	403,12	149,83	972,72	399,27

Uma das maiores enchentes registradas no rio Madeira durante o período analisado ocorreu em 2014, quando o rio alcançou a cota de 2556,50 cm na cidade de Humaitá, no estado do Amazonas, enquanto a maior seca foi registrada em setembro de 2005 com 909,5 cm. A cota do rio Purus teve o maior valor registrado em abril de 1997 com 2141,00 cm, enquanto a maior estiagem (seca) ocorreu em setembro de 2016 com 409,50 cm.

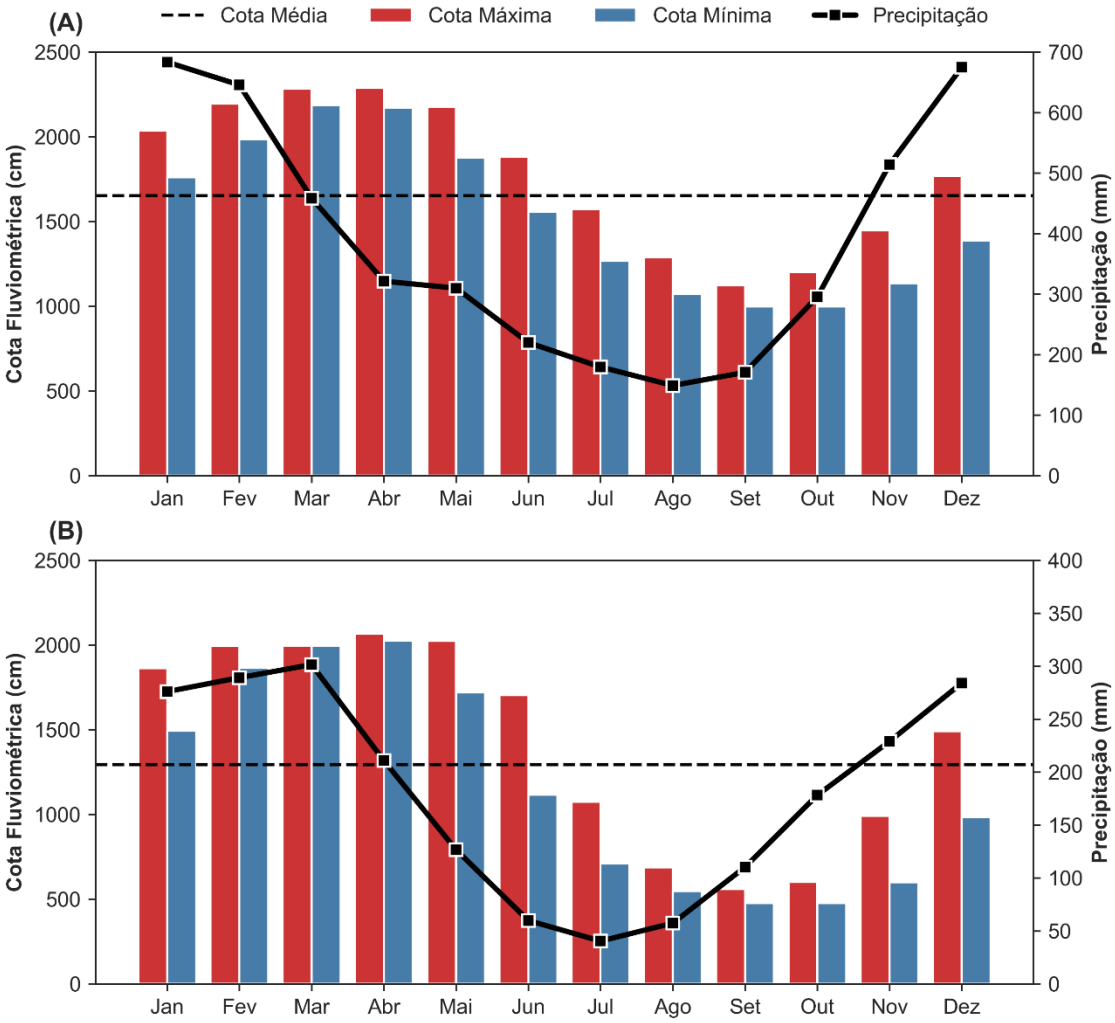

Figura 3 – Média mensal da precipitação acumulada, cotas máximas e mínimas mensais do rio Madeira (A) e Purus (B) durante 1992 a 2021.

Os menores totais pluviométricos na bacia do Rio Madeira e Purus ocorrem nas região sul das bacias hidrográficas (Figura 3). A bacia do rio Madeira apresenta totais pluviométricos máximos na região sudoeste, o qual é notável a superioridade pluviométrica em relação a bacia do Purus (Figura 3).

Essa diferença é significativa e perceptível. No entanto, é importante destacar que a distribuição da chuva ao longo do ano varia bastante na região, com períodos de seca e períodos de chuva intensa. Além disso, a topografia e a geomorfologia da

bacia hidrográfica também influenciam na distribuição da chuva, e é isso que ocorre na nascente da bacia do rio Madeira (Cordilheira do Andes), o qual apresenta áreas com maior altitude, e consequentemente, maiores totais pluviométricos (Figura 4).

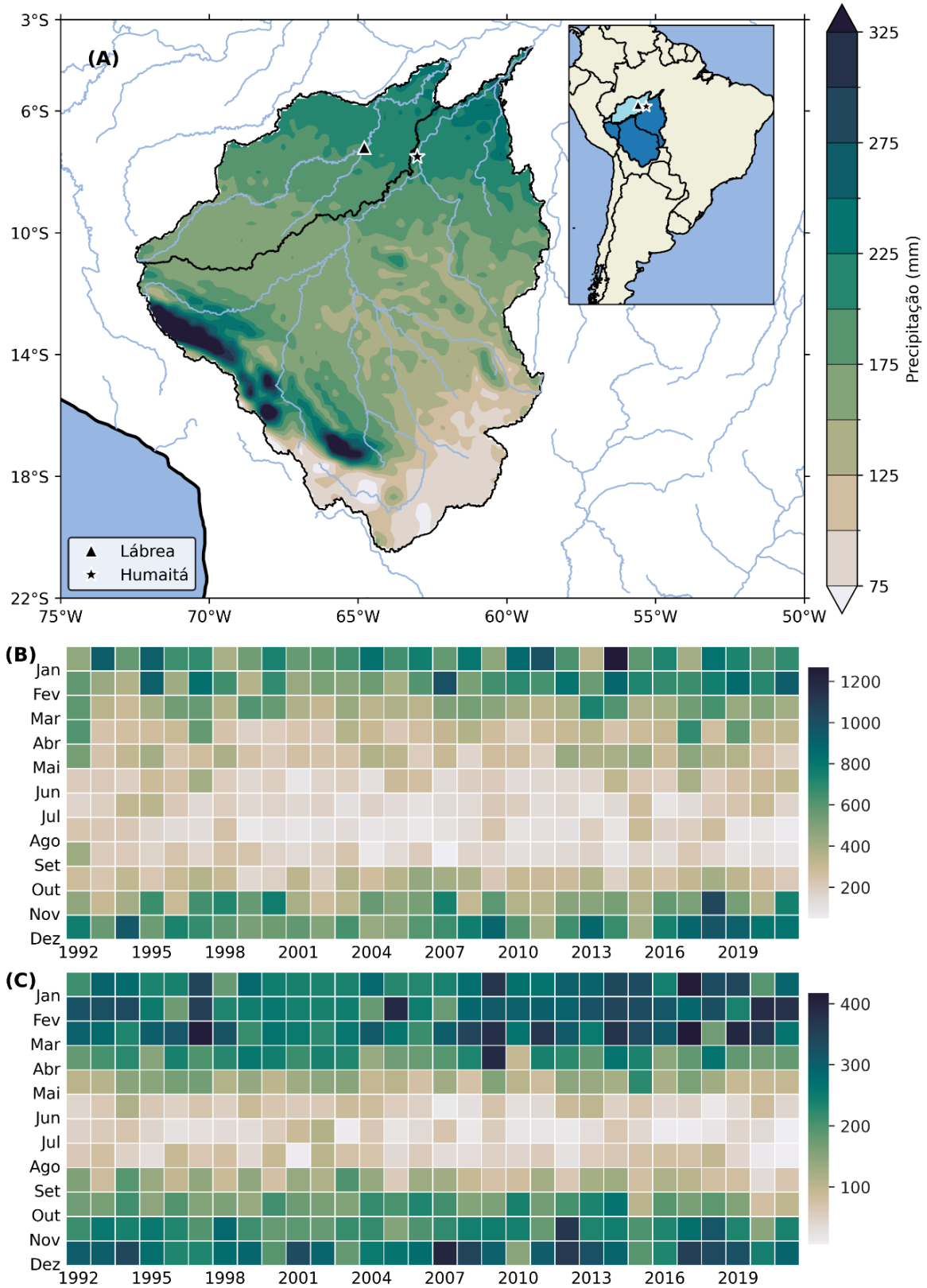

Figura 4 – (A) Distribuição espaço temporal da precipitação média mensal para as bacias do rio Madeira e Purus durante os anos de 1992 a 2021; (B) Precipitação média mensal sobre a Bacia do Madeira; (C) Precipitação média mensal sobre a Bacia do Purus.

Houve uma correlação negativa entre a precipitação e as cotas da bacia do rio Madeira defasadas de 1 a 6 meses. No entanto, as defasagens de 3 e 4 meses apresentaram as maiores correlações negativas significativas, com valores de -0,68 e -0,77, respectivamente. Neste cenário, a precipitação explica 46,7% e 59,5% da variabilidade das cotas da sub-bacia do rio Madeira defasadas em 3 e 4 meses, respectivamente (Figura 5) (Tabela 2). Por outro lado, quando a defasagem é a partir de 7 meses, a correlação apresentou uma inversão em seus padrões, indicando uma relação diretamente proporcional entre a precipitação e as cotas da sub-bacia do médio rio Madeira. As maiores correlações foram observadas nas defasagens de 9 e 10 meses, com valores de 0,69 e 0,77, respectivamente. Além disso, a precipitação descreve 47,0% e 58,7% da variabilidade das cotas da sub-bacia do médio rio Madeira (Figura 5) (Tabela 2).

Tabela 2 – Relação dos modelos de regressão linear entre a cota média mensal da sub-bacia do médio rio Madeira em Humaitá – AM com a média da precipitação sobre a bacia do Madeira. As correlações com *** indicam nível de significância de $p < 0,001$.

Defasagem	α	β	R^2	r
Lag = 0	0,73	1368,9	14,6	0,38***
Lag = 1	-0,05	1665,82	0,1	-0,03
Lag = 2	-0,78	1946,45	16,9	-0,41***
Lag = 3	-1,3	2145,63	46,7	-0,68***
Lag = 4	-1,46	2209,16	59,5	-0,77***
Lag = 5	-1,22	2115,66	41,3	-0,64***
Lag = 6	-0,64	1896,33	11,5	-0,34***
Lag = 7	0,11	1607,84	0,4	0,06
Lag = 8	0,82	1338,18	18,5	0,43***
Lag = 9	1,3	1152,07	47	0,69***
Lag = 10	1,46	1093,26	58,7	0,77***
Lag = 11	1,23	1181,54	41,6	0,65***
Lag = 12	0,66	1397,53	12,2	0,35***

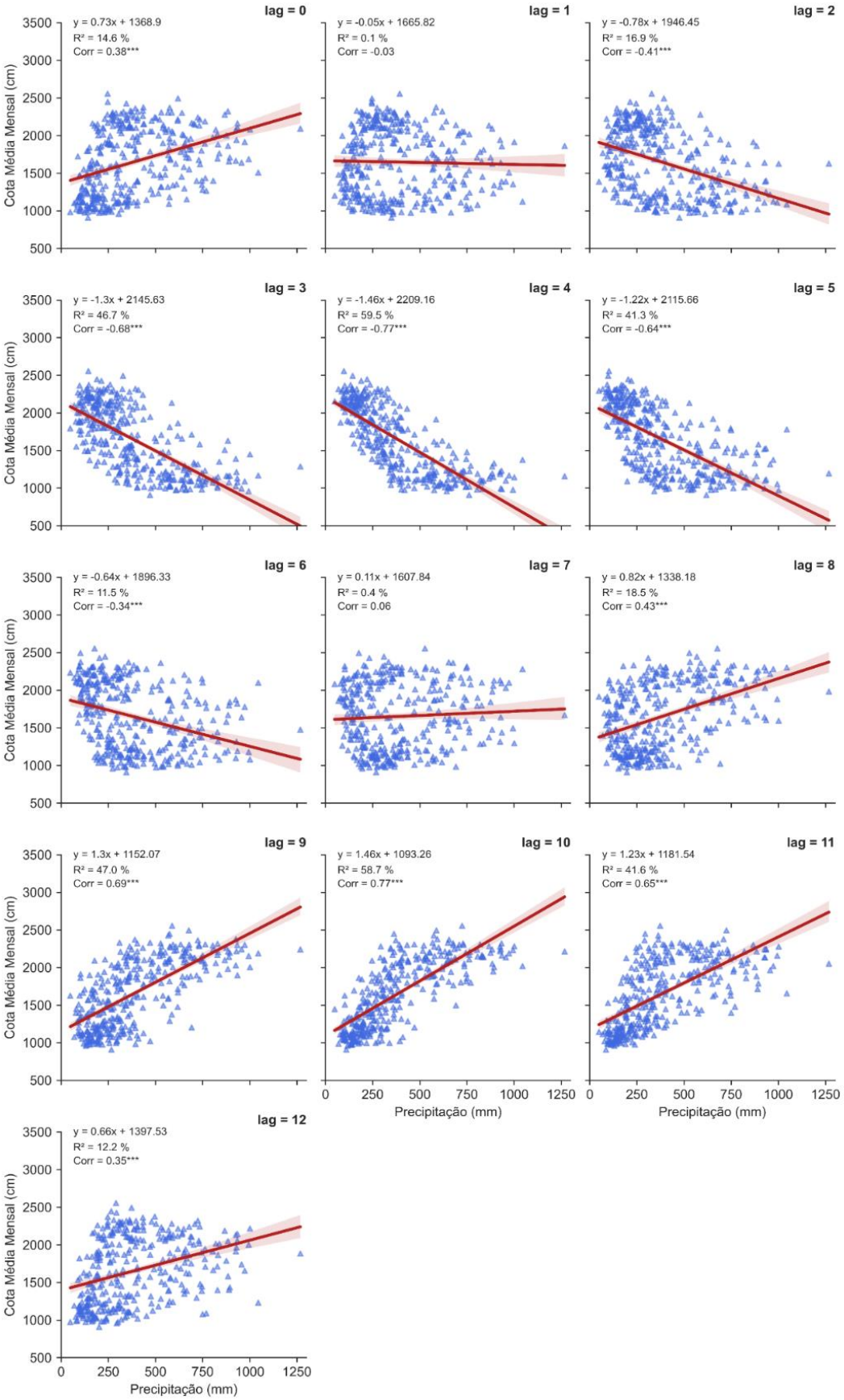

Figura 5 – Regressão linear entre a cota média mensal do rio Madeira em Humaitá – AM com a média da precipitação sobre a bacia do Madeira. As correlações com *** indicam nível de significância de $p < 0{,}001$.

Embora as correlações entre a precipitação e as cotas da sub-bacia do rio Purus sejam semelhantes às da sub-bacia do rio Madeira, houve uma relação mais pronunciada e com um tempo de resposta menor. As maiores correlações negativas foram observadas em um período de 3, 4 e 5 meses, com valores de -0,73, -0,90 e -0,82 (Figura 6) (Tabela 3). Assim, a precipitação, de forma inversamente proporcional, explica até 80,6% da variabilidade das cotas do Purus. Por outro lado, as maiores correlações positivas foram observadas nos períodos de 9, 10 e 11 meses, com valores de 0,74, 0,91 e 0,83, respectivamente. Além disso, a precipitação explica em até 82,5% da variabilidade dos níveis das cotas da sub-bacia do médio Purus (Figura 6) (Tabela 3).

Tabela 3 – Relação dos modelos de regressão linear entre a cota média mensal da sub-bacia do médio rio Madeira em Humaitá – AM com a média da precipitação sobre a bacia do Madeira. As correlações com *** indicam nível de significância de $p < 0,001$.

Defasagem	α	β	R^2	r
Lag = 0	3,3	674,28	29,3	0,54***
Lag = 1	0,51	1201,87	0,7	0,08
Lag = 2	-2,3	1734,91	14,2	-0,38***
Lag = 3	-4,48	2149,09	54	-0,73***
Lag = 4	-5,48	2337,35	80,6	-0,9***
Lag = 5	-5,01	2248,51	67,4	-0,82***
Lag = 6	-3,16	1897,86	26,8	-0,52***
Lag = 7	-0,5	1393,39	0,7	-0,08
Lag = 8	2,28	867,41	13,9	0,37
Lag = 9	4,5	447,11	54,3	0,74***
Lag = 10	5,54	249,07	82,5	0,91***
Lag = 11	5,06	339,51	68,9	0,83***
Lag = 12	3,17	698,06	27	0,52***

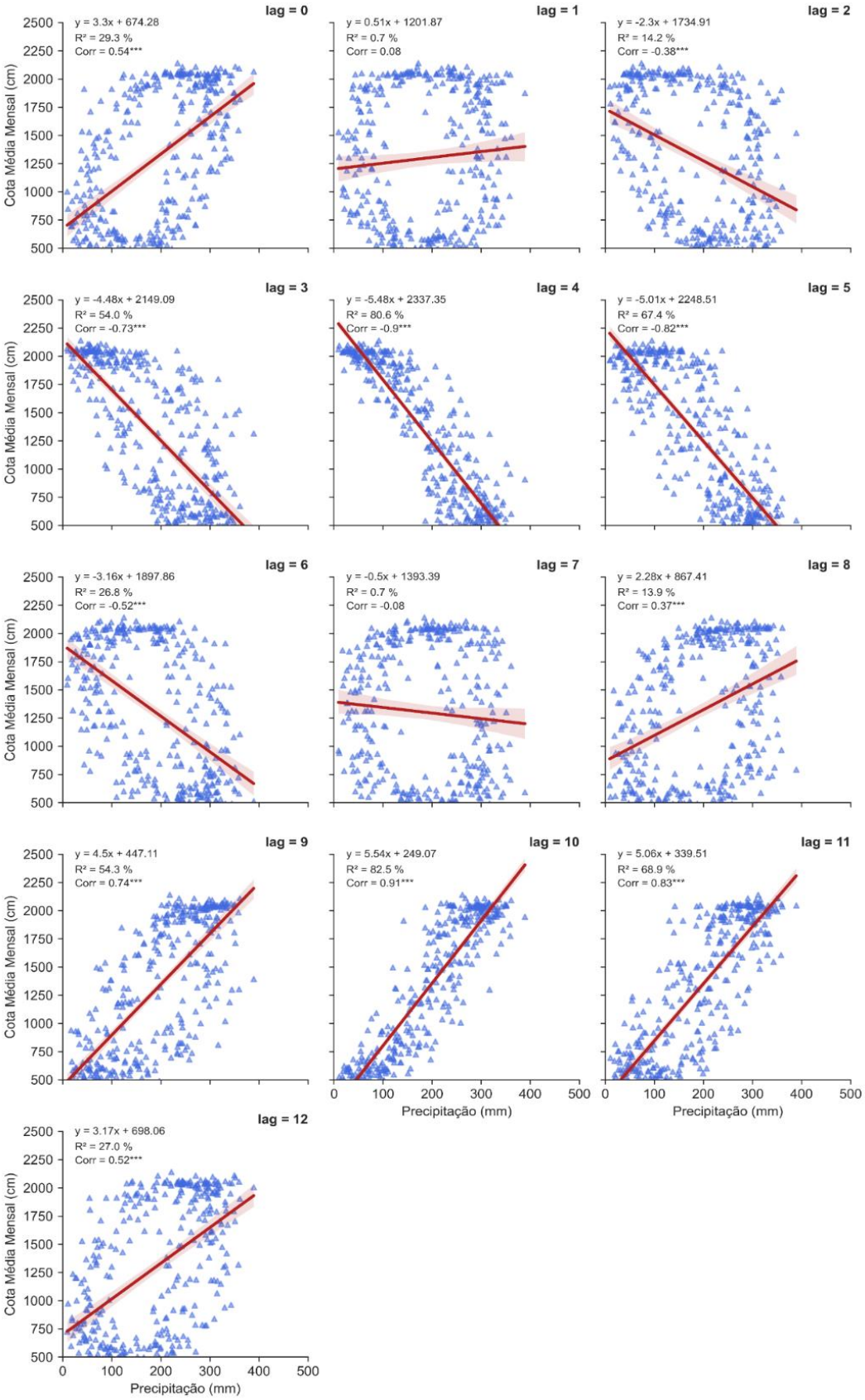

Figura 6 – Regressão linear entre a Cota média mensal do rio Purus em Lábrea – AM com a média da precipitação sobre a bacia do Purus. As correlações com *** indicam nível de significância de $p < 0,001$.

A modelagem das manchas de inundação do rio Madeira em Humaitá (Figura 7) e do rio Purus em Lábrea (Figura 8) apresentaram machas mais extensas de Janeiro a Abril e menores de Agosto a Outubro. Sendo Junho e Julho os meses em que há a transição dos picos e cheia até extremos de estiagem dos rios.

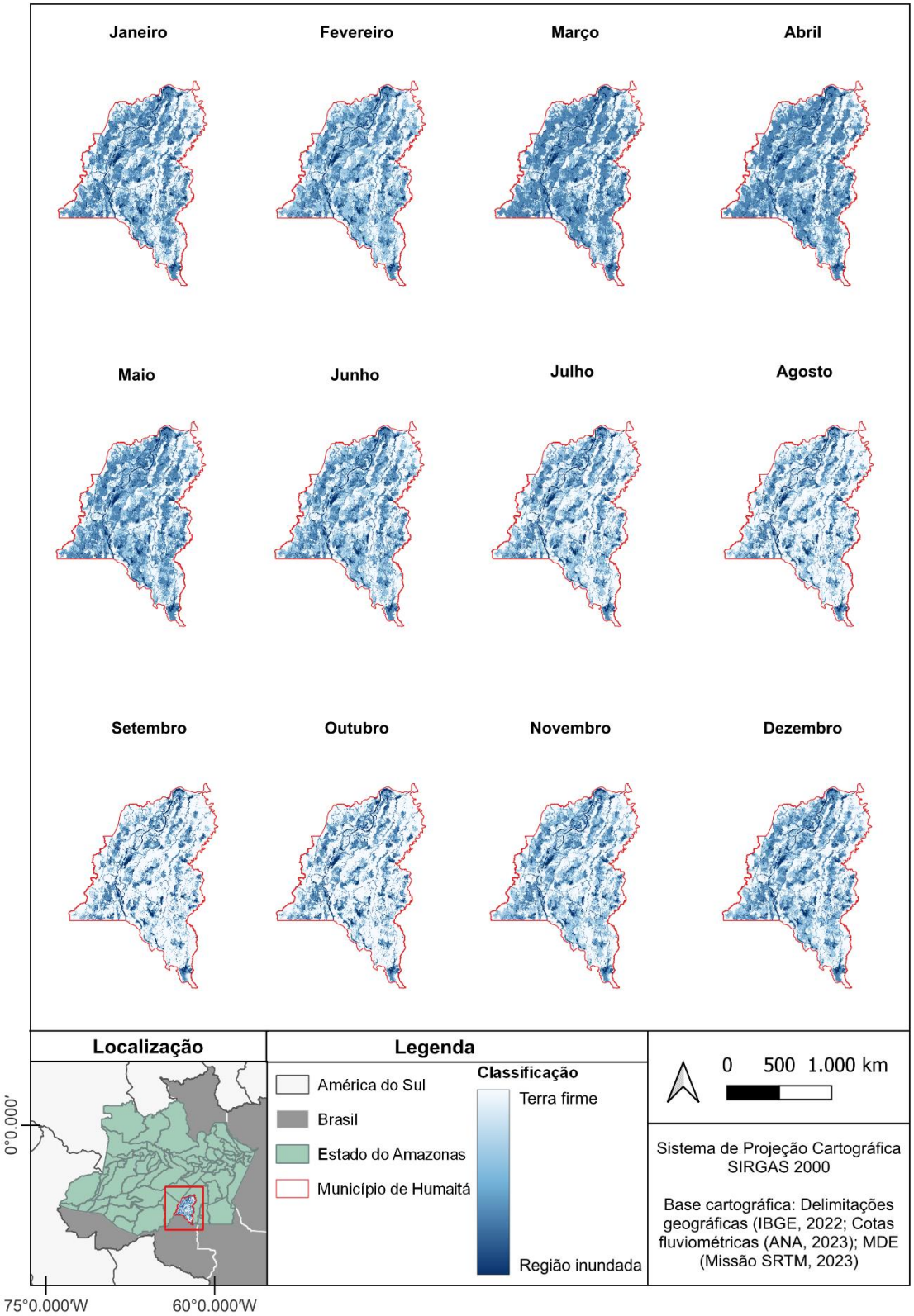

Figura 7 – Mapeamento mensal das manchas de inundação da sub-bacia do rio Madeira em Humaitá/AM.

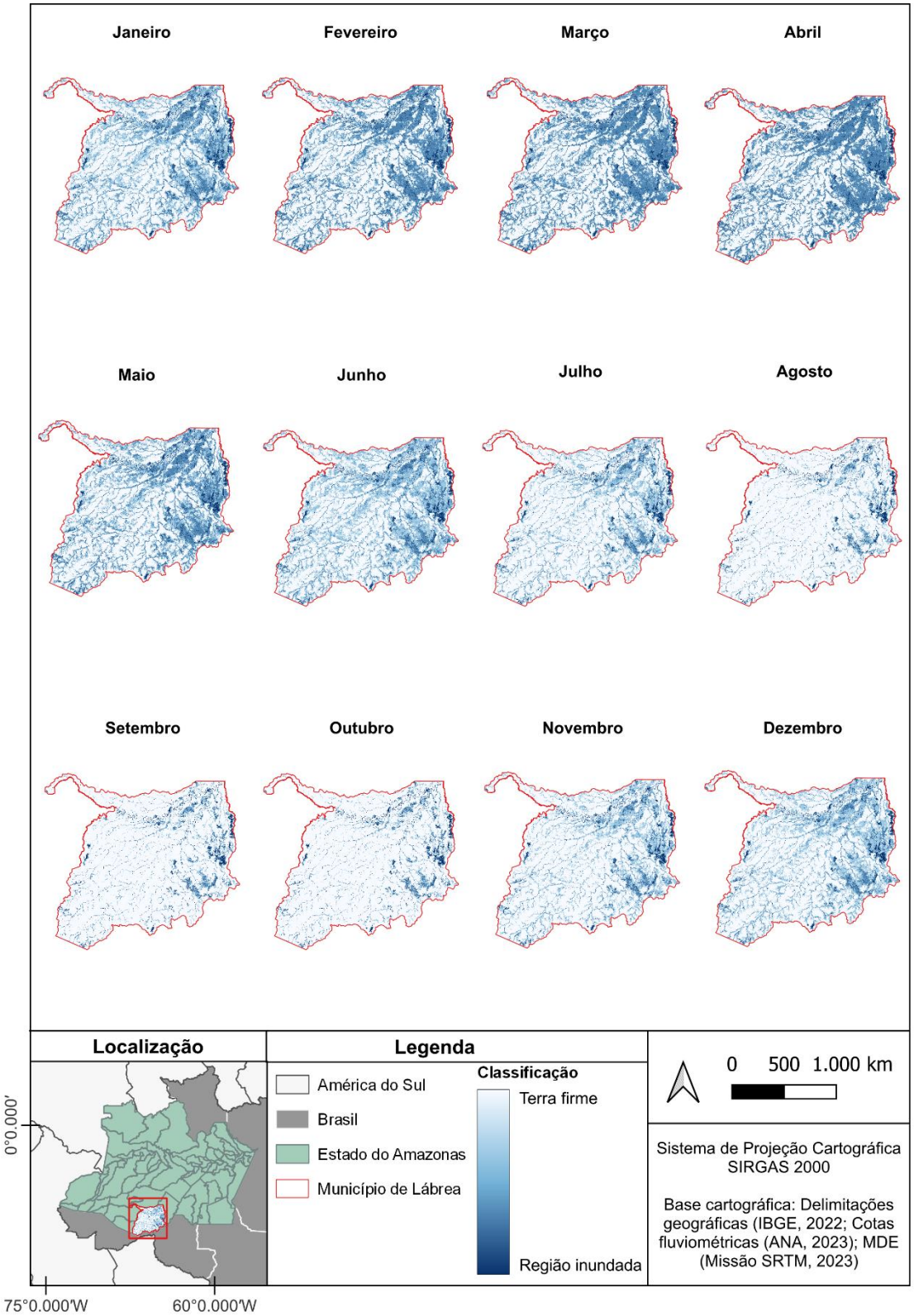

Figura 8 – Mapeamento mensal das manchas de inundação da sub-bacia do rio Purus em Lábrea/AM.

4. DISCUSSÕES

A variabilidade das cotas fluviométricas das sub-bacias dos médios rios Madeira e Purus pode ser explicada por diversos fatores, como as variações sazonais das chuvas, a topografia e a geomorfologia da bacia hidrográfica, as características do solo, a cobertura vegetal, entre outros (FEARNSIDE, 2014) . No caso do médio rio Madeira, as cotas fluviométricas são influenciadas principalmente pelas chuvas. Durante o período chuvoso, que ocorre de dezembro a março, a vazão do rio aumenta consideravelmente, o que pode levar a enchentes e inundações em áreas próximas às suas margens (VERGASTA et al., 2021).

No entanto, no período de estiagem, que vai de junho a outubro, a vazão do rio Madeira reduz, o que pode afetar a navegação e outras atividades (VERGASTA et al., 2021). Já no rio Purus, a variabilidade das cotas fluviométricas também está relacionada às chuvas, mas também pode ser influenciada pela topografia pela confluência de massas de ar quente e úmido da região (QUINTINO NETA et al., 2022). Mas, de outra forma, é importante ressaltar que o período de estiagem não somente tem seus desabonos, pois o mesmo possibilita que as populações tradicionais utilizem as áreas para seus cultivos de várzea.

A precipitação é influenciada principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é uma faixa de nebulosidade que se desloca ao longo do ano (SILVA; REBOITA; ESCOBAR, 2019). Durante o período chuvoso, a ZCIT se desloca para o sul, trazendo chuvas intensas para a região. Já no período de estiagem, a ZCIT se desloca para o norte, deixando a região com pouca chuva (PORTELLA et al., 2022). Por ser uma região de planície, as chuvas podem ser mais frequentes e mais intensas, principalmente durante os meses de dezembro a maio, quando ocorre a estação chuvosa na região (REBOITA et al., 2022). Além disso, a variabilidade espaço-temporal da precipitação nas sub-bacias dos médios rio Madeira e Purus pode ser influenciada por eventos climáticos globais, sendo o El Niño e a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), as quais podem afetar a distribuição e a intensidade das chuvas na região (GOMES et al., 2019).

As correlações significativas entre a precipitação e a cota do rio com uma defasagem entre 8 e 10 meses podem indicar uma relação de longo prazo entre as variáveis hidrológicas. Sendo possível que a quantidade de precipitação em um determinado ano influencie o armazenamento e disponibilidade de água no solo e nos

corpos d'água, afetando a vazão do rio e a cota observada após um período de 8 a 10 meses, pois mesmo no período de estiagem, as chuvas nas regiões das nascentes continuam influenciando a cota nas regiões mais baixas. Além disso, estes resultados podem indicar a existência de reservatórios subterrâneos que afetam o regime hidrológico do rio (FAN; LI; MIGUEZ-MACHO, 2013).

Essa relação pode ser explicada pelo tempo que a água leva para percolar e chegar aos aquíferos subterrâneos, além do tempo que leva para ser liberada e contribuir para a vazão do rio (SAQIB ASHRAF et al., 2022). Além disso, as características da bacia hidrográfica, como o tamanho, a forma, sinuosidade e o uso do solo, podem influenciar a relação entre a precipitação e a cota do rio (MISHRA; SINGH, 2010). Ressalta-se que outras variáveis hidrológicas, tal como a evapotranspiração e a umidade do solo, são variáveis importantesimportantes nesses processos e podem influenciar a relação entre a precipitação e a cota do rio no período de defasagem.

A evapotranspiração pode reduzir a quantidade de água disponível para os rios em curto prazo, assim como afetar a disponibilidade de água aoao longo prazo, uma vez que a água que é retirada do solo e das plantas pode retornar à atmosfera na forma de precipitação(LIANG; LI; LIU, 2010). Portanto, uma análise integrada dessas variáveis pode fornecer informaçõessobre o funcionamento hidrológico da bacia hidrográfica e auxiliar na gestão dos recursos hídricos (PADILLA et al., 2015).

Por outro lado, também houve correlação negativaentre a cota do rio e a precipitação pode sugerir que um aumento na precipitação esteja relacionado com a diminuição da cota do rio. Esta relação inversamenteinversamente proporcional é observada em um período reduzido, no qual varia de 3 a 5 meses de defasagemte comportamento. Este comportamento pode ser atribuído a fatores como a velocidade de fluxo do rio, a capacidade de armazenamento do leito do rio e a quantidade de água retirada do rio para uso humano ou industrial, seguida da supressão das áreas de floresta (LIANG et al., 2015).

Particularmente, essa relação pode indicar que a região na qual o rio se localiza enfrenta problemas de escassez hídrica, visto que a precipitação não é suficiente para manter os níveis do rio (VÖRÖSMARTY et al., 2010). Além disso, uma correlação negativa pode indicar que a região enfrenta problemas de desmatamento ou degradação ambiental, afetando a capacidade do solo em reter a água da chuva e, consequentemente, impactando o volume de água que entra no rio (SENEVIRATNE,

2012). Visto que, as bacias dos rios têm sofrido com diversas formas de degradação ambiental ao longo dos anos, principalmente devido à ação humana, como o desmatamento, mineração, urbanização desordenada, pesca predatória e contaminação por agrotóxicos (XAVIER et al., 2022).

Outro fator importante a se abordar e a construção das hidrelétricas na bacia do Rio Madeira, como a Usina Hidrelétrica de Santo Antônio e a Usina Hidrelétrica de Jirau, que gerou preocupações em relação aos possíveis impactos na variabilidade das cotas fluviométricas e na ocorrência de inundações na região (FEARNSIDE, 2014). Estudos apontam que a construção dessas usinas provavelmente afetou o regime de vazão do rio, atenuando as vazões mínimas e aumentando as vazões máximas, o que pode levar a enchentes e inundações em algumas áreas e temporalidade não costumeira na região (NATTRODT; DIAS, 2021; PITON; DE OLIVEIRA, 2020; SANT'ANNA; HONORATO; BORTOLETTO, 2020).

É importante ressaltar que os impactos das hidrelétricas nas cotas fluviométricas podem variar de acordo com as características específicas de cada bacia hidrográfica e com as características das usinas (NATTRODT; DIAS, 2021). Por isso, é essencial que sejam realizados estudos específicos para avaliar os possíveis impactos das hidrelétricas nas cotas fluviométricas e na qualidade da água nas sub-bacias dos médios rios Madeira e Purus, de forma a subsidiar políticas públicas efetivas para a gestão desses recursos hídricos e para a conservação ambiental da região.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados sugerem que a bacia do Purus é mais sensível às variações na precipitação do que a bacia do Madeira, com correlações mais fortes e um tempo de resposta mais rápido, vale ressaltar também a diferença das extensão entre as bacias que altera o tempo de resposta nos pontos de medição. Essas informações podem ser valiosas para a tomada de decisões e planejamento em relação ao uso e conservação dessas bacias hidrográficas.

Com base nos resultados apresentados neste estudo, pode-se sugerir o desenvolvimento de novos estudos que explorem outras variáveis hidrológicas, além da precipitação, para entender melhor a dinâmica das bacias hidrográficas da região amazônica. Portanto, é essencial que sejam realizados estudos mais aprofundados sobre a variabilidade das cotas fluviométricas nessas bacias e utilize mais variáveis ambientais, de forma a subsidiar políticas públicas efetivas para a gestão desses recursos hídricos e para a conservação ambiental da região.

REFERÊNCIAS

BARAN, C. T.; SOUZA, N. **Método para Avaliação da Suscetibilidade e do Risco de Inundação no Município de Porto Velho, Bacia do Rio Madeira**. [s.l: s.n.].

BASTOS, W. R. et al. Dynamics of Hg and MeHg in the Madeira River basin (Western Amazon) before and after impoundment of a run-of-river hydroelectric dam. **Environmental Research**, v. 189, p. 109896, out. 2020.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL.; Purus, Folha SB. 20.** Rio de Janeiro: Projeto Radambrasil, 1978.

CHEVUTURI, A. et al. Forecasting annual maximum water level for the Negro River at Manaus. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, 21 fev. 2022.

CORREA, S. B. et al. Biotic Indicators for Ecological State Change in Amazonian Floodplains. **BioScience**, v. 72, n. 8, p. 753–768, 2 ago. 2022.

COSTA, J. A. S. **As Mudanças climáticas e possíveis impactos no bioma Amazônia**. Trabalho de conclusão de curso—[s.l.] Universidade Estadual Paulista (Unesp), jun. 2019.

ESPINOZA, J. C. et al. Regional hydro-climatic changes in the Southern Amazon Basin (Upper Madeira Basin) during the 1982–2017 period. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 26, p. 100637, dez. 2019.

FASSONI-ANDRADE, A. C. et al. Amazon Hydrology From Space: Scientific Advances and Future Challenges. **Reviews of Geophysics**, v. 59, n. 4, 5 dez. 2021.

FEARNSIDE, P. M. Impacts of Brazil's Madeira River Dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Science & Policy**, v. 38, p. 164–172, abr. 2014.

FERREIRA, R. D. et al. Atualização e correção do delineamento de áreas alagáveis da bacia Amazônica. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 16, p. 5864–5871, 2013.

FLEISCHMANN, A. S. et al. How much inundation occurs in the Amazon River basin? **Remote Sensing of Environment**, v. 278, p. 113099, set. 2022.

FÖEGER, L. B. et al. Large-scale sediment modeling with inertial flow routing: Assessment of Madeira river basin. **Environmental Modelling & Software**, v. 149, p. 105332, mar. 2022.

FRANCA, R.; JUSTINA, E. E. DELLA; SAMPAIO, S. F. ANÁLISE CLIMATOLÓGICA E HIDROLÓGICA DA CHEIA DO RIO MADEIRA EM PORTO VELHO-RONDÔNIA NO ANO DE 2014. **Terr@ Plural**, v. 9, n. 2, p. 74–90, out. 2015.

FURQUIM, L. P.; CANGUSSU, D.; SHIRATORI, K. Os Kagwahiva da margem de lá: histórias, territórios e paisagens Katawixi e Juma no interflúvio dos rios Madeira - Purus (AM). **Revista Brasileira de Linguística Antropológica**, v. 14, p. 119–152, dez. 2022.

GOMES, D. C. et al. VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MADEIRA. **REVISTA GEOGRÁFICA ACADÊMICA**, v. 13, n. 1, p. 90–104, jul. 2019.

GOMES, W. DE B. et al. Avaliação dos Impactos das Mudanças na Cobertura da Terra e Cenário de Emissões (RCP 8.5) no Balanço de água na Bacia do Rio Madeira. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 689–702, nov. 2020.

JUNK, W. J. et al. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences**, v. 106, n. 1, p. 110–127, 1989.

JUNK, W. J. et al. **The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for a Sustainable Management.** Leiden: Backhuys Publishers, 2000.

JUNK, W. J. et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 5–22, fev. 2014.

LANGILL, J. C.; ABIZAID, C. What is a bad flood? Local perspectives of extreme floods in the Peruvian Amazon. **Ambio**, v. 49, n. 8, p. 1423–1436, 5 ago. 2020.

MELO, P. A. et al. On the performance of conceptual and physically based modelling approach to simulate a headwater catchment in Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 114, p. 103683, mar. 2022.

MENDES, J. J. et al. Geotecnologias aplicadas no mapeamento de áreas inundáveis na Baixada Maranhense. 2015.

MICHALSKI, A.; BORGES, L. R. M. A geografia das fronteiras no município de Porto Velho: União Bandeirantes e Rio Pardo e os reflexos da negligência da gestão territorial do Estado em Rondônia. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 4, n. 2, p. 71–114, 28 dez. 2022.

MUÑOZ-SABATER, J. et al. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. **Earth System Science Data**, v. 13, n. 9, p. 4349–4383, set. 2021.

QUINTINO NETA, F. X. et al. Variabilidade espaço-temporal de áreas alagadas em uma sub-bacia do Rio Madeira, Sul do Amazonas. **Revista Edutec**, v. 3, n. 1, p. 9–16, jun. 2022.

REBOITA, M. S. et al. Ciclo de vida do sistema de monção da América do Sul: Clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Geografia F\'\isica**, v. 15, n. 01, p. 343–358, 2022.

RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. et al. Surface water quality and deforestation of the Purus river basin, Brazilian Amazon. **International Aquatic Research**, v. 9, n. 1, p. 81–88, 2 mar. 2017.

SANTOS, A. L. M. R. DOS et al. Purus River suspended sediment variability and contributions to the Amazon River from satellite data (2000–2015). **Comptes Rendus Geoscience**, v. 350, n. 1–2, p. 13–19, jan. 2018a.

SANTOS, R. E. et al. The decline of fisheries on the Madeira River, Brazil: The high cost of the hydroelectric dams in the Amazon Basin. **Fisheries Management and Ecology**, v. 25, n. 5, p. 380–391, out. 2018b.

SANTOS, T. O. et al. UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SENSORES REMOTOS COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIO MADEIRA. **REVISTA GEOGRÁFICA ACADÊMICA**, v. 15, n. 1, p. 5–20, jul. 2021.

SILVA, M. F. DA; MANIESI, V.; SOUZA, R. M. DA S. DE. Vulnerabilidade a erosão e aplicações socioambientais no Baixo Interflúvio Madeira-Purus, AM/RO. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, p. 598–612, 15 jan. 2021.

SILVA, F. B. et al. Large-scale heterogeneity of Amazonian phenology revealed from 26-year long AVHRR/NDVI time-series. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 2, p. 024011, 1 jun. 2013.

STEGMANN, L. F. **A ictiofauna do interflúvio Purus-Madeira e os fatores estruturantes em múltiplas escalas**. [s.l: s.n.].

TARTARI, R. et al. Análise de Índices Biofísicos a Partir de Imagens TM Landsat 5 em Paisagem Heterogênea no Sudoeste da Amazônia. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 4, 28 out. 2015.

VERGASTA, L. A. et al. Avaliação do Balanço de água na Bacia do Rio Madeira Simulado Pelo Modelo Regional Climático Eta e o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias MGB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 153–169, mar. 2021.

XIMENES, A. C. et al. Mapping the terrestrial ecoregions of the Purus-Madeira interfluve in the Amazon Forest using machine learning techniques. **Forest Ecology and Management**, v. 488, p. 118960, maio 2021.

XU, J. et al. Do ERA5 and ERA5-land precipitation estimates outperform satellite-based precipitation products? A comprehensive comparison between state-of-the-art model-based and satellite-based precipitation products over mainland China. **Journal of Hydrology**, v. 605, p. 127353, fev. 2022.

ZANANDREA, F. et al. **Desastres e Água: Eventos Históricos no Brasil**. [s.l: s.n.].