

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ESTIMATIVA DE EXTENSÃO DE INUNDAÇÃO FLUVIAL EM ÁREA AGRICULTÁVEL NO MUNICÍPIO DE MANAQUIRI - AMAZONAS

Alan dos Santos Pimentel¹ ; Conrado de Moraes Rudorff² & Tatiana Sussel Gonçalves Mendes³

Resumo

Nos últimos anos os danos ocasionados por eventos extremos de inundação fluvial têm impactado as áreas rurais. No entanto, os trabalhos envolvendo análise de impacto de inundação em áreas agrícolas são poucos na literatura, ocasionando lacunas nesta área do conhecimento frente a relevância destas informações no processo de gestão de risco de desastres e para determinar taxas de seguro. Partindo desta premissa, este trabalho se propõe gerar informação de análise de impacto na área rural associada ao processo de inundação do rio Solimões, no estado do Amazonas, para o período de 2015 a 2021. A análise foi feita combinando a extensão da mancha de inundação, gerada a partir de simulações hidráulicas, com dados de uso e cobertura da terra. A identificação do início do impacto de inundação com base no critério climatológico da mediana das vazões máximas anuais associada à quantificação do impacto, de acordo com as manchas de inundação, permitiu realizar o dimensionamento do impacto. Os resultados indicaram que para os anos de 2018 e 2020, o pico da enchente ficou próximo da cheia mediana (19,00 metros) e para os anos de 2015, 2017, 2019 e 2021 tem-se o impacto mais acentuado, com valores de área agricultável impactada acima de 34%, sendo o ano de 2021 o mais crítico, atingindo 57% da área agricultável. Os resultados corroboram que a definição do início do impacto vinculado à quantificação dos danos em áreas agricultáveis tem operacionalidade para gerar subsídios na gestão de riscos de desastres além do potencial uso no acionamento de seguro.

Palavras-Chave – Gestão de riscos, Eventos extremos, Rio Solimões.

INTRODUÇÃO

Quando observadas as últimas décadas, os danos ocasionados por inundações fluviais têm se tornando cada vez mais frequentes e espera-se o contínuo agravamento da ocorrência desta ameaça fundamentada pelo crescimento da densidade demográfica, o desenvolvimento de atividades econômicas em áreas susceptíveis a inundação e a variabilidade climática (Winsemius *et al.* 2015; Tanoue *et al.* 2016). Neste cenário, os países em desenvolvimento apresentam maior vulnerabilidade quanto a eventos de inundação por possuírem recursos limitados (Shrestha *et al.* 2018).

Neste contexto, áreas rurais também têm sido impactadas e, muitas vezes, com maior intensidade que as áreas urbanas. Dados da Food and Agriculture Organization (FAO) reportam que,

1) Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais. UNESP/ CEMADEN, Rodovia Presidente Dutra. 12247-004. São José dos Campos, SP, Brasil. alan.geopimentel@gmail.com

2) Docente do Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais. UNESP/ CEMADEN, Rodovia Presidente Dutra. 12247-004. São José dos Campos, SP, Brasil. conrado.rudorff@cemaden.gov.br

3) Docente do Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais. UNESP/ CEMADEN, Rodovia Presidente Dutra. 12247-004. São José dos Campos, SP, Brasil. tatiana.mendes@unesp.br

entre os anos de 2006 e 2016, a agricultura absorveu 17% dos danos causados por inundações. No Brasil, desastres relacionados a inundações também causam grandes danos à agricultura (BRASIL, 2020a). Na região Norte, por exemplo, as comunidades ribeirinhas vêm sofrendo perdas sistemáticas na produção agrícola por inundações. No estado do Amazonas, entre os anos de 1991 e 2012, o desastre associado a eventos de inundação foi o mais frequente (43%) quando comparado a outras tipologias de desastres (UFSC, 2013).

O aumento na frequência e na intensidade das cheias severas observadas nas últimas três décadas tem ampliado o risco de impacto de inundação na bacia do rio Amazonas (Barichivich *et al.* 2018). Por esse motivo a atividade de avaliação dos impactos e danos se torna essencial para gestão de riscos (Shrestha *et al.* 2018). Os danos podem ser expressos quantitativamente com base no mapeamento (ou simulação) da área afetada e na relação entre a profundidade e o dano esperado conforme o tipo de uso e cobertura da terra (Pinos *et al.* 2017; Baró *et al.* 2007; Shrestha *et al.* 2018).

Apesar de vários estudos de análise de danos relacionados à inundação na área urbana (Pino *et al.* 2017; Yildirim e Demir, 2019; Moura *et al.* 2019), verifica-se uma escassez de trabalhos na área rural. Dentre as dificuldades observadas, podem ser citadas aquelas relacionadas à obtenção de dados de produção, de amostras de dados de campo, da delimitação das áreas específicas de cultura, de disponibilização de imagens de alta resolução (espaciais e/ ou temporais) para identificação do tipo de cultura, especialmente em pequenas propriedades com características de agricultura familiar com diferentes tipos de culturas.

Pesquisadores, governos e seguradoras têm se empenhado no desenvolvimento de metodologias para avaliar e quantificar os danos causados pela inundação (Pinos *et al.* 2017), com metodologias aplicadas em áreas urbanas e rurais. Tais informações também apresentam potencial uso para determinar taxas de seguro contra perdas diante destes eventos (Yildirim e Demir, 2019). A exemplo, tem-se o programa Garantia-Safra (GS), uma ação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) que visa garantir as condições mínimas à segurança alimentar dos agricultores familiares sujeitos a perda de safra provocada por intempéries climáticas por motivo de seca ou excesso hídrico.

A principal motivação deste trabalho é auxiliar a atividade de agricultura familiar na bacia Amazônica por meio de geração de informação derivada da análise do impacto de inundação, visando a implantação de políticas públicas. Considerando o município de Manaquiri como área piloto, o presente trabalho apresenta uma abordagem para análise do impacto da inundação na agricultura no Estado do Amazonas a partir da combinação de simulações hidráulicas para gerar a extensão da mancha de inundação e de dados de uso e cobertura da terra.

METODOLOGIA

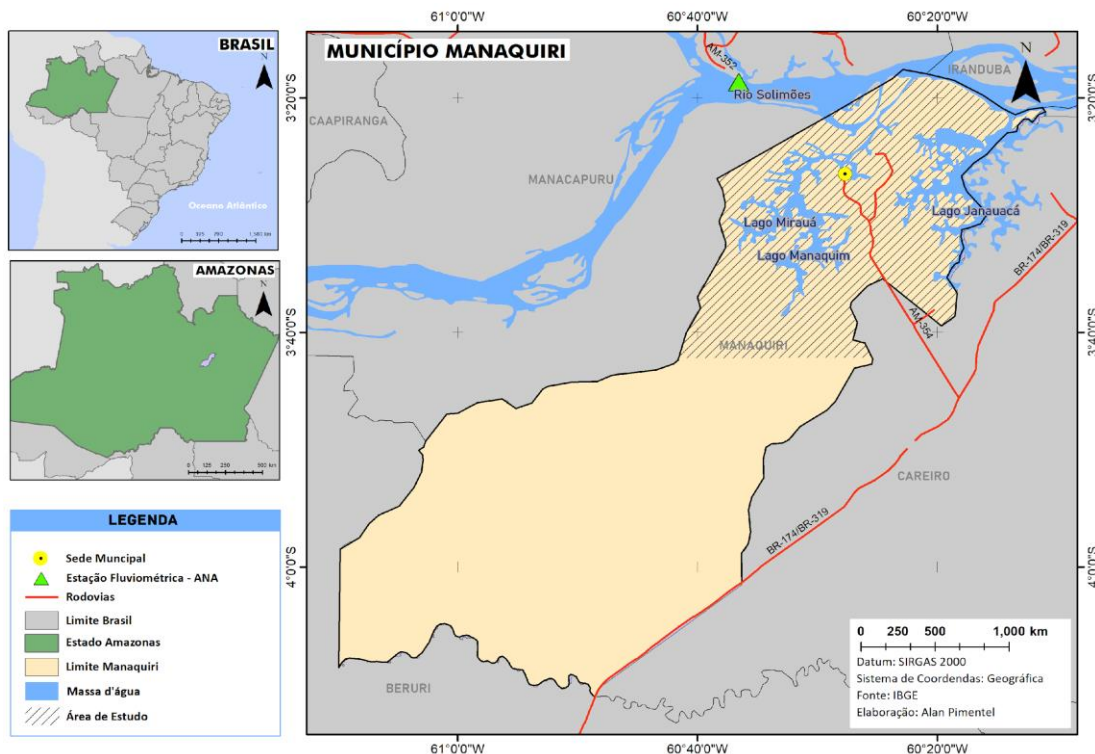
A área de estudo está localizada no município de Manaquiri, no Estado do Amazonas (Figura 1). O município possui uma população de 22.801 habitantes e cerca de 69% dela é composta por residentes em área rural, além do maior quantitativo de produção agrícola ser oriunda da agricultura familiar (IBGE, 2020).

A cidade de Manaquiri tem registrado histórico de desastres relacionados a eventos de enchentes ou inundações graduais desde o ano de 2002 e estes eventos foram recorrentes nos anos de 2007, 2009, 2010, 2012, 2014, 2015, 2017, 2019 e 2021 (SEDEC, 2021). Durante a inundação no ano 2019, foram 30 comunidades rurais impactadas, com a estimativa de 9.000 pessoas afetadas nas áreas rural e urbana. Os agricultores, predominantemente da agricultura familiar, tiveram prejuízos econômicos no setor agrícola estimados em R\$ 5.590.660,00 (BRASIL, 2020b).

Historicamente, as áreas de várzeas na região amazônica têm sido utilizadas no desenvolvimento de atividades agrícolas por possuírem solos ricos em nutrientes, sendo consideradas

aptas para a prática agrícola de ciclo rápido e criação de animais bovinos e bubalinos (Cravo *et al.* 1992; Souza e Almeida, 2010). Considerando o ciclo de cheias, é possível identificar quatro estações que regulam o calendário agrícola na área de várzea: enchente (subida das águas), a cheia (máximo das águas), a vazante (descida das águas) e a seca (nível mais baixo das águas). Apesar das áreas de terra firme possuírem a característica de não serem afetada pelas cheias (Fraxe *et al.* 2007), nos últimos 30 anos ocorreram inundações extremas do rio Amazonas que causaram impactos mesmo nessas áreas de topografia mais elevada (Oliveira *et al.* 2012).

Figura 1 - Localização do município de Manaquiri no estado do Amazonas. A hachura indica a localização da área de estudo.



Análise de impacto de inundação limitou-se à porção Norte do município indicada pela hachura (Figura 1). De acordo com os dados do censo agropecuário de 2017, é neste recorte territorial que se localiza o maior quantitativo de estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2020).

As manchas de inundação para realizar análise de impacto foram produzidas utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE) associado à modelagem hidráulica. O MDE utilizado foi do programa *Copernicus DEM*, com resolução espacial de 30 m, baseado em dados da Missão TanDEM-X. As simulações de inundação foram realizadas com o modelo LISFLOOD-FP (Bates *et al.* 2010). As vazões do rio Solimões foram determinadas com base nos dados da plataforma hidrometeorológica localizada na cidade de Manacapuru (Cod.14100000) fornecido pela Agência Nacional de Águas (ANA). Para o estudo, dezessete simulações foram realizadas em escoamento permanente para gerar manchas de inundação correspondentes a variações de níveis de água com intervalos de 25 cm entre as cotas 18 e 22 metros.

A área baixa da várzea é usada para atividades de ciclo rápido. Neste contexto o impacto agrícola está relacionado à variabilidade climatológica da onda de cheia anual. A variação de descenso e ascensão do nível do rio é quem determina o calendário agrícola nesta área, ou seja, o

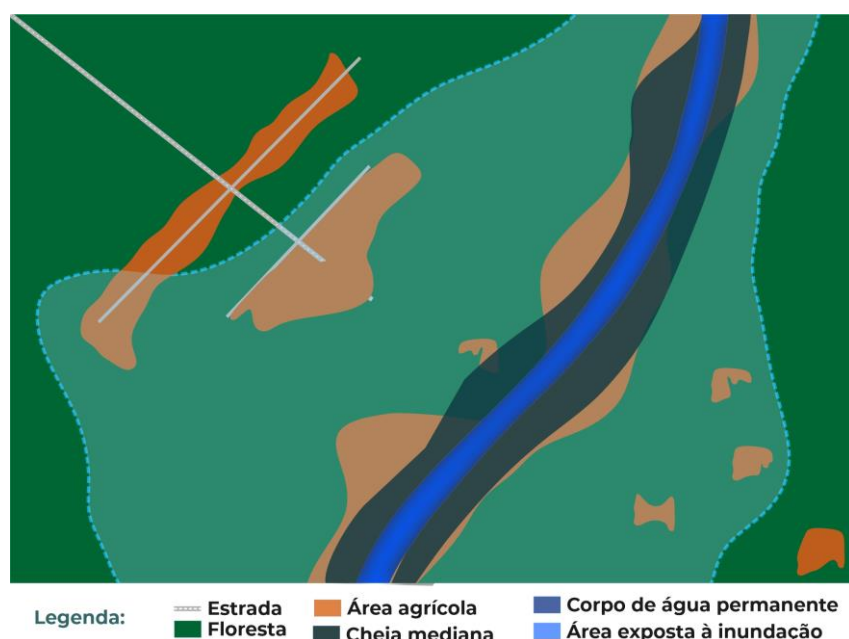
plântio é iniciado na transição da água alta para água baixa e a colheita é feita na transição da água baixa para água alta. Considerando esta dinâmica, no intervalo entre o plântio e a colheita, caso o rio inicie o processo de ascensão antes do previsto pelo agricultor, haverá perda da produção sem que necessariamente ocorra um extremo de inundação. Logo, se fez necessário diferenciar o impacto na área de várzea, ocasionado por cheias recorrentes, do impacto ocasionado por extremos de inundação que é a proposta deste trabalho.

Para separar as áreas afetadas por cheias recorrentes das áreas propensas a serem impactadas por inundação extremas foi seguido o critério estatístico da mediana das cotas máximas anuais (1973 – 2019) registradas na estação de Manacapuru. Adotamos a nomenclatura de cheias medianas aquelas com cotas máximas abaixo da mediana.

A variável para quantificação do impacto potencial na área agrícola foi levantada a partir dos dados do uso e cobertura da terra disponibilizados pelo MapBiomas (Projeto MapBiomas, 2021). Para a área de estudo, a classe de pastagem foi adotada como área agricultável e, portanto, passível de impacto decorrente de eventos de inundação.

Para análise do impacto, foi computada a área agricultável (em hectares) sobreposta para cada mancha de inundação acima da condição de cota mediana, a qual indica impacto acima de uma cheia com recorrência de 50%. Um recorte territorial com base na cota de 22,00 metros, referente ao tempo de retorno (TR) de 100 anos, foi aplicado para quantificar a extensão agrícola exposta aos eventos de inundação.

Figura 2 – Demonstrativo das variáveis para análise de impacto levando em consideração a áreas de cheia mediana e área exposta à ameaça de inundação.



Observando a Figura 2, a área agricultável disposta dentro da área exposta à ameaça de inundação servirá como referência para quantificar a porcentagem da área exposta impactada. Esse recorte se faz necessário dado a dimensão do município, uma vez que comparar os dados da agricultura impactada com toda extensão do município pode atenuar a gravidade do evento. Com base nos resultados obtidos, foi elaborado a curva de profundidade da inundação *versus* impacto causado, a qual serviu como base para assimilar a intensidade do evento e quantificar o impacto. A metodologia

foi replicada para estimar a extensão de inundação fluvial em área agricultável no município de Manaquiri no período entre 2015 e 2021.

Os registros históricos de desastres de inundações em Manaquiri disponíveis no Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (Sinpdec) foram sintetizados para uma análise de referenciamento do limiar de cota mediana usado para determinar o início de impacto por eventos extremos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A mediana das cotas máximas anuais (1973 – 2019) obtida para rio Solimões foi de 19,00 metros. Por consequência, quando a cheia do rio supera essa cota mediana ocorre o impacto na várzea alta do município.

A Tabela 1 apresenta o histórico de desastres de inundações em Manaquiri nos últimos sete anos, de acordo com informações do Sinpdec. Para cada ano, é possível verificar se houve ou não, por parte da defesa civil municipal, o preenchimento do Formulário de Informações dos Desastres (FIDE), que é utilizado para o registro e reconhecimento das ocorrências de anormalidade. Caso preenchido, constam ainda a data da ocorrência do desastre, e com base nas informações da ANA, o nível do rio Solimões para esta data e o nível máximo do rio alcançado durante o ano.

Considerando a data da ocorrência do desastre informada no FIDE, infere-se que esta data seja associada ao dia em que a defesa civil municipal elaborou o pedido de reconhecimento de situação de anormalidade, ou seja, o momento em que o município começou a ser impactado pela inundação e não, necessariamente, a data que ocorreu o pico máximo da cheia.

Tabela 1 – Histórico de solicitação de reconhecimento federal de desastres de inundação nos últimos sete anos na cidade de Manaquiri - AM.

Ano	Reconhecimento de situação de anormalidade	Data da ocorrência do desastre	Nível do rio na data da ocorrência do desastre (metros)	Nível máximo registrado (metros)
2015	Sim	25/05	20,26	20,74
2016	Sem solicitação	*		18,26
2017	Sim	01/05	19,29	19,90
2018	Sem solicitação	*		19,05
2019	Sim	23/05	19,59	20,23
2020	Solicitado	*		19,28
2021	Sim	29/04	19,83	20,81

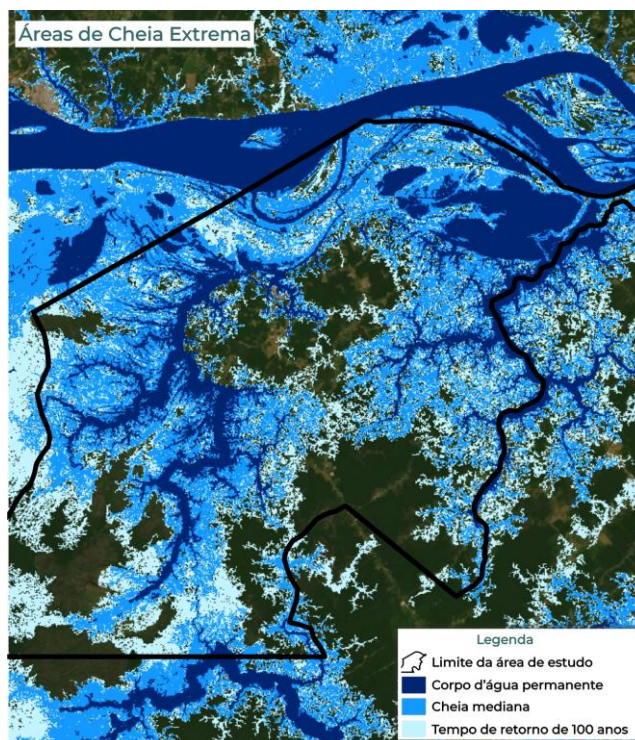
* Não houve preenchimento do Formulário de Identificação do Desastre – FIDE.

De acordo com a Tabela 1, nos últimos sete anos houve cinco solicitações para reconhecimento de desastre, destes, houve reconhecimento federal de situação de emergência para os anos de 2015, 2017, 2019 e 2021. Para estes anos, ao analisar o nível do rio Solimões na data de ocorrência do desastre, verifica-se que os níveis estão próximos do limiar da cheia mediana de 19,00 metros. No ano de 2016, que não houve pedido de reconhecimento, o pico máximo registrado foi de 18,26 metros,

74 centímetros abaixo da cota mediana. Em 2018, o pico máximo registrado foi de 19,05 metros, 5 centímetros acima da cota mediana.

Com base nesses registros históricos, verifica-se que o impacto dos extremos de inundação na área rural de Manaquiri de fato se inicia quando o nível do rio supera o limiar proposto da cheia mediana (19,00 metros). A Figura 3 apresenta para a área de estudo a espacialização da água permanente, da cheia mediana e da cota com TR de 100 anos.

Figura 3 – Comparativo entre as áreas de água permanente, locais afetados pelas cheias medianas e as áreas expostas a inundação pela cota máxima histórica.



Observando a mancha que representa a cheia mediana (Figura 3), supõem-se que culturas de ciclo rápido ou longo estão presentes acima dessa cota, nessas áreas os agricultores têm a expectativa que seu cultivo não seja inundado. Portanto, haverá o impacto de inundação quando a cheia alcançar áreas que não são atingidas pela cheia mediana.

O resultado da estimativa do impacto de inundação para os anos que o nível do rio Solimões superou o limiar da cheia mediana, considerada como início do impacto, é apresentada na Tabela 2. Para os anos de 2020 e 2021 os dados de extensão agrícola obtidos do Projeto Mapbiomas são referentes ao ano de 2019. A porcentagem da área agricultável impactada é referente a extensão agricultável dentro da cheia com TR de 100 anos.

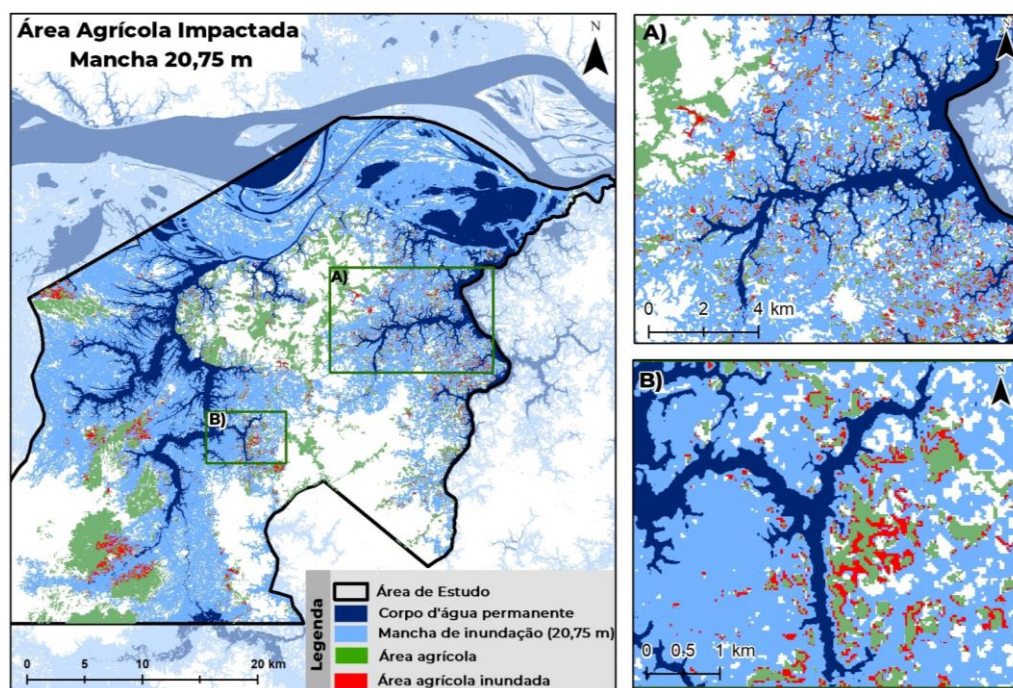
Tabela 2 – Estimativa do impacto de área agricultável no município de Manaquiri – AM para os anos de 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021.

Ano	Nível máximo do rio (metros)	Nível da mancha adotada (metros)	Impacto na agricultura (hectares)	Área exposta à inundação (hectares)	Porcentagem da área agricultável impactada
2015	20,74	20,75	1.928	3.422	56%
2017	19,90	20,00	1.296	3.824	34%
2018	19,05	19,25	317	4.181	8%
2019	20,23	20,25	1.789	4.356	41%
2020	19,28	19,25	378	4.356	9%
2021	20,81	20,75	2.476	4.356	57%

Nos anos de 2018 e 2020, que o pico da enchente ficou próximo da cheia mediana, o impacto correspondeu a 8% e 9%, respectivamente, quando comparado as áreas agricultáveis expostas a eventos de inundação. O baixo impacto justifica a ausência do pedido de reconhecimento de situação de emergência em 2018 e o não reconhecimento do pedido feito em 2020 (Tabela 1). Para os anos de 2015, 2017, 2019 e 2021 tem-se impacto mais acentuado, o que fundamenta o reconhecimento das solicitações de emergência durante estes anos. O ano 2021 foi o mais crítico, onde 57% da área agricultável foi afetada.

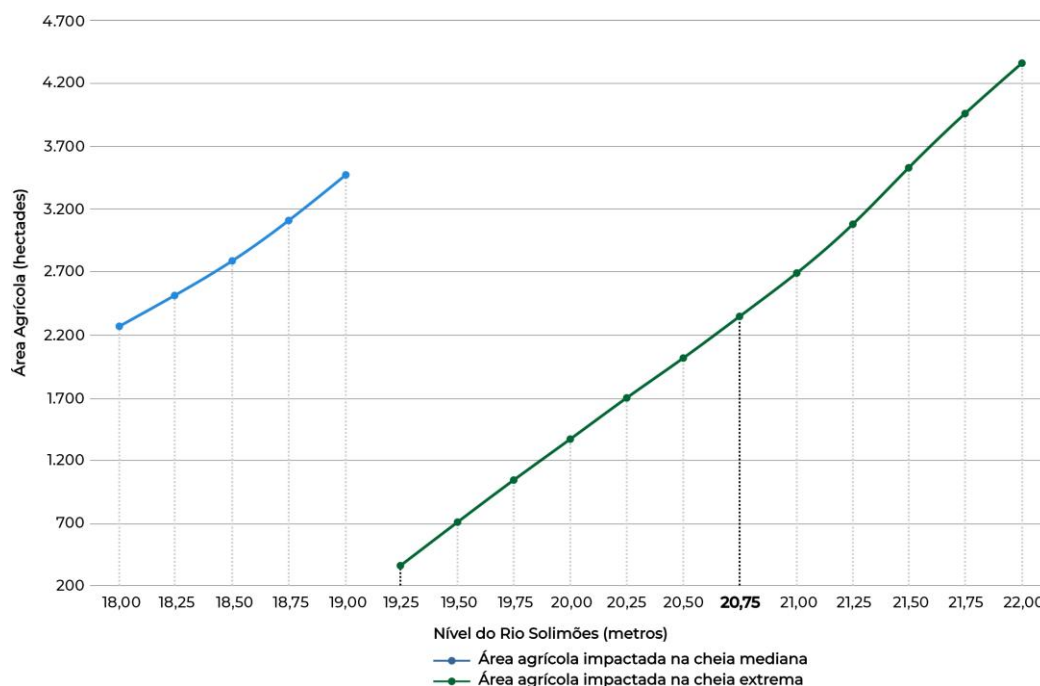
Na Figura 4 visualiza-se o resultado da análise de impacto para o ano de 2021, quando o rio Solimões alcançou a cota de 20,81 metros. Para este evento, foi sobreposta a mancha de inundação que mais se aproxima, correspondente a cota 20,75 metros.

Figura 4 - Extensão da área agricultável impactada pela mancha de cota igual a 20,75 metros, atingida no ano de 2021



Neste cenário, as áreas de várzea alta foram atingidas pela inundação resultando em impacto significativo. Na Figura 5, o gráfico mostra a evolução da inundação no rio Solimões variando a cota a cada 25 centímetros e associando o impacto na área agricultável.

Figura 5 - Variação do impacto de inundação em área agricultável (hectares) de acordo com dados de 2019 da área rural do município de Manauquiri, simuladas com diferentes elevações do nível do rio Solimões.



No gráfico da Figura 5, o primeiro estágio da curva (em azul) representa a extensão da área impactada até o valor de cheia mediana. A correção da curva a partir do nível de 19,00 metros (em verde) é realizada devido esta ser a cota considerada como sendo o início do impacto, ou seja, a partir da mediana das cotas máximas.

Na área de estudo, é comum cultivo de culturas de ciclo rápido que são desenvolvidas dentro da área de várzea pelos agricultores ribeirinhos. Nesse sentido, a área disponível para plantio varia conforme o nível do rio, quer isto dizer que, quanto menor o nível do rio na época do plantio, maior será a extensão da área disponível para uso. Neste cenário, o agricultor acaba ficando mais exposto ao risco de cheias, caso a elevação do rio seja rápida. Por esse motivo, ressalta-se que quantificação do impacto não levou em consideração a extensão de área agricultável impactada na área de cheia mediana.

CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou a análise do impacto de inundação na área rural do município de Manauquiri, com foco no impacto decorrente de cheias extremas, utilizando dados de extensão da mancha de inundação e de uso e cobertura da terra para conhecer severidade do impacto na área de várzea alta.

Seguindo os parâmetros para estimativa do impacto na área rural, os anos de 2018 e 2020, a pesar da inundação ter superado a cheia mediana (19,00 metros), foi registrado impacto baixo na várzea alta de 8% e 9% respectivamente. Para os anos de 2015, 2017, 2019 e 2021 constatou-se que impacto foi superior a 34% tornando-se evidente a severidade da inundação, sendo o ano de 2021 o mais crítico ao acumular 57% do impacto.

Uma das dificuldades encontradas é a escassez de dados para a região amazônica, o que não possibilita o monitoramento específico das áreas utilizadas pelos produtores ou mesmo análise individualizada para cada tipo de cultura. Também há limitações na modelagem relacionada aos erros inerentes do Modelo Digital de Elevação (MDE).

Os resultados obtidos mostraram que, apesar de certa subjetividade, a associação do impacto atrelado à severidade do evento pode colaborar na gestão de desastres no que tange a realização do levantamento de perdas e danos por órgãos de defesa civil. Com ajustes, é possível implementar como gatilho para acionamento de seguro, além da possibilidade de utilização das informações no aperfeiçoamento de alerta de desastres.

REFERÊNCIAS

- BARICHIVICH, J. et al (2018). *Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation*. Science Advances, v. 4, n. 9.
- BARÓ-SUÁREZ, J. E. et al (2007). *Curvas de daños económicos provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México. Parte II. Caso de estudio en la cuenca alta del río Lerma, México*. Ingeniería Hidráulica en Mexico, v. 22, n. 3, p. 71–85.
- BATES, P. D. et al (2010). *A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling*. Journal of Hydrology, n. 387, p. 33–45.
- BRASIL (2020a). *Lei nº 10.420, de 10 de abril de 2002*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10420a.htm> . Acesso em 24 ago. 2020.
- BRASIL (2020b). *Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC. Avaliação de Danos – AVADAN*. Disponível em: <<https://s2id-search.labtrans.ufsc.br/>>. Acesso em: Acesso em 20 ago. 2020.
- CRAVO, M. S.; XAVIER, J. J. B. N. ; DIAS, M. C.; BARRETO, J. F (2002). *Características, uso agrícola atual e potencial das várzeas no Estado do Amazonas*. Acta Amazonica, Manaus-AM, v. 32, n. 3, p. 351-365.
- FRAXE, T. J. P.; PEREIRA, H. S.; WITKOSKI, A. C (2007). *Comunidades Ribeirinhas Amazônicas: Modos de Vida e Uso dos Recursos Naturais*. Manaus: EDUA.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). *Divulgação do cadastro de estabelecimentos agropecuários do Censo Agropecuário 2017 : Nota técnica 01/2018*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em:<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101638_notas_tecnicas.pdf>; Acesso em: 15 nov. 2020.
- MOURA, E. N.; ROZELLE, J. R (2019). *Adaptação Internacional do Modelo HAZUS-MH para Estimativa de Perdas por Inundações em Curitiba-PR*. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. 2015, p. 241–250.
- Projeto MapBiomass – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 20/05/2021 através do link: <https://mapbiomas.org/>
- SEDEC - Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (2020). *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID. Arquivo Digital*. Disponível em: <<https://s2id-search.labtrans.ufsc.br/>>. Acesso em 8 de jun. 2020.
- OLIVEIRA, V. P. DE; MAFRA, M. V. P.; SOARES, A. P. A (2012). *Eventos Climáticos Extremos na Amazônia e suas Implicações no Município de Manquiri (AM)*. Revista Geonorte, p. 977–987.
- PINOS, J.; TIMBE, L.; ORELLANA, D. (2017). *Métodos para la evaluación del riesgo de inundación fluvial: revisión de literatura y propuesta metodológica para Ecuador*. Maskana, v. 8, n. 2, p. 147–162.
- SHRESTHA, B.B.; SAWANO, H.; OHARA, M.; YAMAZAKI, Y.; TOKUNAGA, Y. (2018) *Methodology for agricultural flood damage assessment*. In: *Recent Advances in Flood Risk Management*; Abbot, J., Hammond, A., Eds.; IntechOpen, London, UK.
- SOUZA, J. C. R.; ALMEIDA, R. A. (2010) *Vazante E Enchente Na Amazônia Brasileira : Impactos Ambientais , Sociais E Econômicos*. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física. p. 1–10.
- TANOUE, M.; HIRABAYASHI, Y.; IKEUCHI, H. (2016) *Global-scale river flood vulnerability in the last 50 years*. Scientific Reports, v. 6, p. 1–9.

WINSEMIUS, H. C. et al. (2016) *Global drivers of future river flood risk*. Nature Climate Change, v. 6, n. 4, p. 381–385.

YILDIRIM, E.; DEMIR, I. (2019). *An integrated web framework for HAZUS-MH flood loss estimation analysis*. Natural Hazards, v. 99, n. 1, p. 275–286.