

# Análise do desmatamento e suscetibilidade de inundações na bacia hidrográfica do Rio Pirarara no município de Cacoal na Amazônia Ocidental

Murilo Torres Silva<sup>1\*</sup> , Ana Lúcia Denardin da Rosa<sup>1</sup> , Giulle do Nascimento e Silva<sup>1</sup> , Mayk da Silva Sales<sup>1</sup> , Ronaldo de Almeida<sup>2</sup> 

1 Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Campus Ji-Paraná, R. Rio Amazonas, 351 - Jardim dos Migrantes, Ji-Paraná - RO, 76900-726.

2 Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Campus Guajará Mirim, Norte/Sul 7.300, Nova Morada - Rolim de Moura/RO, 76940-000.

\*Autor para correspondência: [murilotorresagronomiaunir@gmail.com](mailto:murilotorresagronomiaunir@gmail.com)

Recebido em 2 de junho de 2023.

Aceito em 14 de agosto de 2023.

Publicado em 31 de agosto de 2023.

**Resumo** – Inundações afetam centenas de famílias nos bairros atingidos pelas águas do Rio Pirarara na área urbana do município de Cacoal – RO. O objetivo da pesquisa foi a analisar a morfometria, desmatamento e identificação de áreas suscetíveis a inundação. A análise morfométrica foi realizada pelo processamento de dados vetoriais e matriciais com Software livre. Foram utilizadas imagens do Landsat 5 e Landsat 8 para produzir mapas de desmatamento. Os dados do Hidroweb foram coletados para o levantamento de precipitações e cotas. Utilizou-se o modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND) para elaborar mapas de suscetibilidade de inundação. Os resultados morfométricos indicam baixo risco de inundação. A região teve expansão urbana de 6,13% e áreas antropizadas de 24,04%, entre 1984 e 2020. A média anual de precipitação histórica é de 1901 mm. Na inundação de 2022, houve 113,4 mm de precipitação em um dia e um acumulado de 160 mm durante a semana, metade do acumulado em fevereiro, com cota máxima de 677 cm. O modelo HAND estima que 2% da área da bacia é altamente suscetível a inundação, 53% em áreas de média suscetibilidade e 45% em áreas de baixa suscetibilidade. A pesquisa contribui para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS13).

**Palavras-chave:** Morfometria. Hidrologia. Urbanização. Antropização. Modelo HAND.

## Analysis of deforestation and flood susceptibility in the Pirarara River watershed in the municipality of Cacoal in Western Amazonia

**Abstract** - Flooding affects hundreds of families in the neighborhoods affected by the waters of the Pirarara River in the urban area of the municipality of Cacoal - RO. The aim of the research was to analyze morphometry, deforestation and identify areas susceptible to flooding. The morphometric

analysis was carried out by processing vector and matrix data using free software. Landsat 5 and Landsat 8 images were used to produce deforestation maps. Data was collected from Hidroweb for rainfall and elevation surveys. The Height Above the Nearest Drainage (HAND) model was used to produce flood susceptibility maps. The morphometric results indicate a low risk of flooding. The region experienced urban expansion of 6.13% and anthropized areas of 24.04% between 1984 and 2020. The average annual historical rainfall is 1901 mm. In the 2022 flood, there was 113.4 mm of rainfall in one day and an accumulation of 160 mm over the week, half the accumulation in February, with a maximum height of 677 cm. The HAND model estimates that 2% of the basin area is highly susceptible to flooding, 53% in areas of medium susceptibility and 45% in areas of low susceptibility. The research contributes to the Sustainable Development Goal (SDG13).

**Keywords:** Morphometry. Hydrology. Urbanization. Anthropization. HAND Model.

## **Análisis de la deforestación y de la susceptibilidad a las inundaciones en la cuenca del río Pirarara, en el municipio de Cacoal, en la Amazonia Occidental**

**Resumen** - Las inundaciones afectan a cientos de familias de los barrios afectados por las aguas del río Pirarara en la zona urbana del municipio de Cacoal - RO. El objetivo de la investigación fue analizar la morfometría, la deforestación e identificar las áreas susceptibles a las inundaciones. El análisis morfométrico se realizó mediante el procesamiento de datos vectoriales y matriciales utilizando software libre. Se utilizaron imágenes Landsat 5 y Landsat 8 para elaborar mapas de deforestación. Se recogieron datos de Hidroweb para los estudios pluviométricos y de elevación. Se utilizó el modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND) para elaborar mapas de susceptibilidad a las inundaciones. Los resultados morfométricos indican un bajo riesgo de inundaciones. La región experimentó una expansión urbana del 6,13% y de las zonas antropizadas del 24,04% entre 1984 y 2020. La precipitación media anual histórica es de 1901 mm. En la inundación de 2022, hubo 113,4 mm de precipitaciones en un día y un acumulado de 160 mm a lo largo de la semana, la mitad de lo acumulado en febrero, con una altura máxima de 677 cm. El modelo HAND estima que el 2% de la superficie de la cuenca es altamente susceptible a las inundaciones, el 53% en zonas de susceptibilidad media y el 45% en zonas de susceptibilidad baja. La investigación contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS13).

**Palabras clave:** Morfometría. Hidrología. Urbanización. Antropización. Modelo HAND.

## **Introdução**

Um dos rios que cortam a área urbana do município de Cacoal – RO é o Pirarara, que tem sua cabeceira na área rural de Cacoal e sua foz na margem direita do Rio Machado. Nos últimos anos, a ocorrência de inundações tem se tornado cada vez mais frequentes e intensas nos bairros atingidos pelas águas do Rio Pirarara na área urbana, sendo que as três principais ocorreram nos anos de 2012, 2014 e 2022 (PROFÁGUA 2019, Cacoal 2022).

Estas inundações trazem inúmeros transtornos e riscos à população, como desalojamentos, afogamentos, doenças, infestações de ratos, insetos e danos materiais. Segundo Chen et al. (2020), as inundações são consideradas como um dos desastres naturais mais destrutivos de maneira global.

No ano de 2012, no município de Cacoal - RO, a inundação fez com que 480 pessoas fossem desalojadas, 128 pessoas desabrigadas e 3200 pessoas afetadas. Quanto às edificações afetadas, nove foram destruídas, 200 danificadas, sistema de energia, transporte, pontes, ruas e calçamento foram danificados, de acordo com relatório da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (Barboza et al. 2012).

Com as inundações do ano de 2014, de acordo com a Superintendência Estadual de Comunicação (SECOM 2014), sete pontes ficaram cobertas pela água, centenas de casas foram atingidas e mais de 80 pessoas ficaram desalojadas. Em algumas casas, a altura da água alcançou o telhado das residências na área urbana de Cacoal - RO.

A última e mais severa enchente ocorreu em fevereiro de 2022. De acordo com a defesa civil de Cacoal, 200 famílias ficaram desabrigadas e 100 famílias desalojadas, vários danos materiais foram constatados como residências danificadas, perdas de móveis e eletrodomésticos. A principal rodovia do estado de Rondônia, a BR 364, e demais ruas que ligam a região central a zona leste da cidade ficaram interditadas por horas devido à cheia do Rio Pirarara (Cacoal 2022).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH (2003), através da Resolução CNRH nº 32 de 15/10/2003, estabelece as bacias hidrográficas como unidade do gerenciamento de recursos hídricos para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A ação do homem sobre a superfície do solo da bacia reflete nos recursos hídricos, causando interferências no processo denominado chuva-vazão (Ricardo e Neto 2016).

Desenvolvida pela Organização das Nações Unidas (ONU), a Agenda 2030, que apresenta dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), o ODS13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, recomenda que os governos locais devem adotar e implementar estratégias locais para redução de risco de desastres naturais (Brasil 2021). A Lei Federal Nº 12.608 estabelece que todos os municípios brasileiros devem realizar o mapeamento das áreas de risco e adequar o Plano Diretor de desenvolvimento urbano de acordo com a realidade do local (Brasil 2012).

É fundamental a elaboração de ações de redução dos riscos de desastres, dentre as quais pode-se citar a estimativa de áreas suscetíveis a risco de desastres por inundação (Queiroga et al. 2023). A identificação e mapeamento das áreas de risco é possível por meio da elaboração das cartas geotécnicas, que retratam principalmente as características do meio físico, indicando processos relacionados a determinados padrões geológicos. O modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) tem a capacidade de indicar zonas escalonadas de suscetibilidade de inundação (Nobre et al. 2015).

O modelo HAND tem sido amplamente empregado por não depender de dados hidrológicos e históricos de inundações, o que o torna uma ferramenta acessível e de baixo custo a qualquer região que possua dados topográficos disponíveis (Rennó et al. 2008, Nobre et al. 2015, Mengue et al. 2016). Sendo assim, a aplicação do modelo HAND na Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara auxiliará órgãos governamentais e sociedade civil a traçar estratégias para alcançar a meta da ODS13.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi a analisar a morfometria, o desmatamento e caracterização da bacia hidrográfica do Rio Pirarara, com identificação de áreas suscetíveis a inundação

na zona urbana do município de Cacoal – RO, utilizando o modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*).

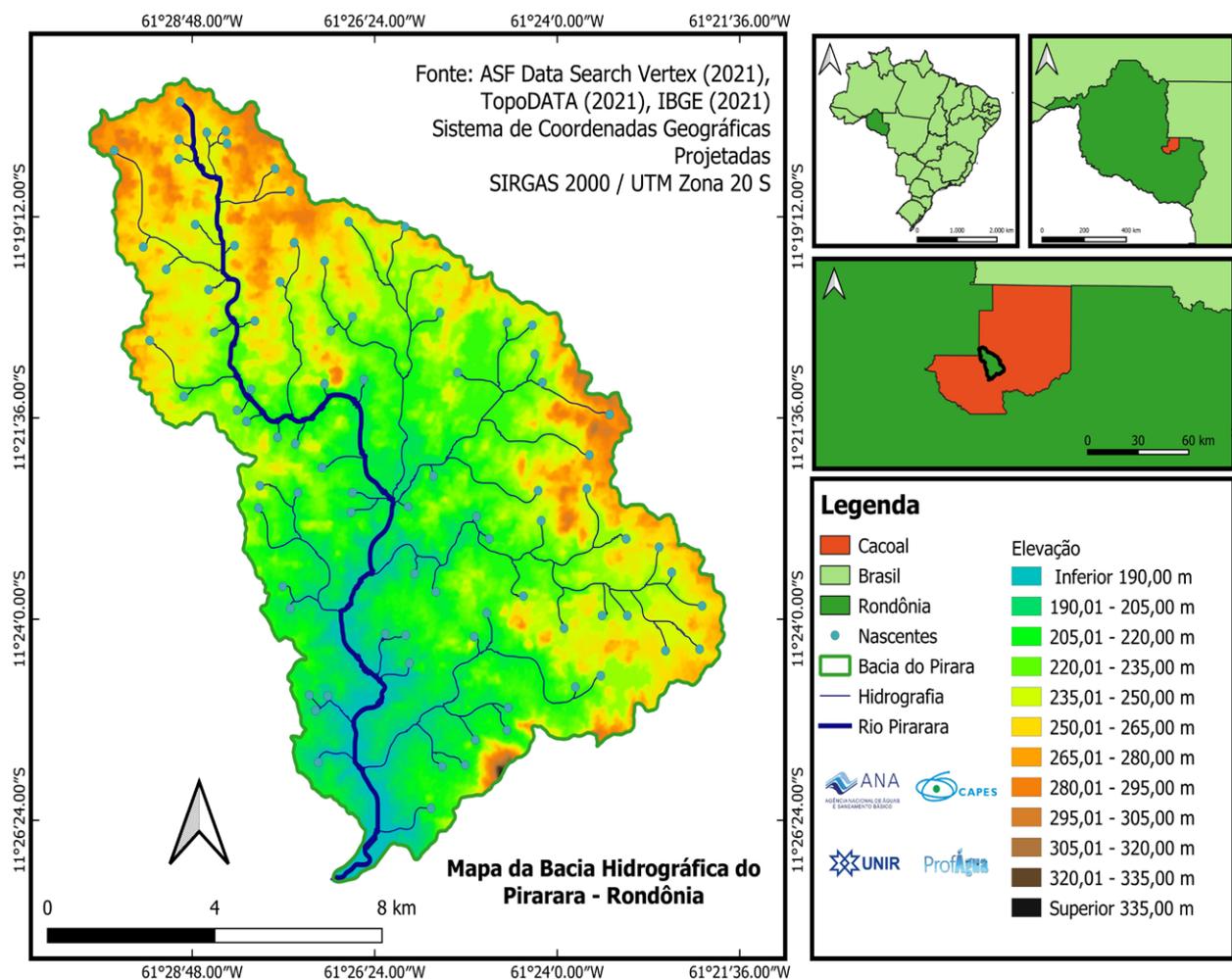
Os resultados contribuem para elaboração de plano diretor de desenvolvimento urbano e implementação de medidas para a redução dos impactos causados pelas inundações contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima).

## Material e métodos

### Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara (Figura 1) localiza-se inteiramente dentro dos limites do município de Cacoal - RO, com área total de 130,87 km<sup>2</sup> e perímetro de 64,42 km. A bacia apresenta altitude máxima de 371 m e mínima de 188,91 m. O Rio Pirarara tem sua principal nascente na área rural e sua foz na margem direita do Rio Machado.

**Figura 1.** Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara, município de Cacoal - RO, Amazônia Ocidental.



O Rio Pirarara faz parte da unidade de gestão da Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Machado de acordo com a Resolução CRH/RO N° 07 de 11 de junho de 2014, que institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Machado, contemplando o município de Cacoal (Barbosa et al. 2021).

### Procedimentos metodológicos

Para análises de dados morfométricos, foi empregado o método de delimitação de bacias hidrográficas utilizando imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), adaptada para o projeto Topodata que oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional (Sobrinho et al. 2010). Os dados vetoriais e matriciais foram processados no Sistema de Informações Geográficas – SIG com base nas camadas vetoriais (shapes). A mensuração dos parâmetros morfométricos foram calculados pela calculadora da tabela de atributos do QGIS e utilizando as equações propostas e consolidadas, comprimento dos canais (Lu) (Km) ( $Lu = L1 + L2 + \dots + Ln$ ) (Horton 1945); Ordem dos canais (U) (Ordem hierárquica) (Strahler 1958); Razão de bifurcação média (Rbm) ( $Rbm = \sum Rb/n$ ) (Schumm 1956); índice de sinuosidade (Schumm 1963); densidade de drenagem (Villela e Mattos 1975).

Para a quantificação da conversão dos tipos de cobertura da terra na bacia hidrográfica utilizou-se imagens do sensor <sup>TM</sup> proveniente do satélite Landsat 5 com a composição RGB das bandas 5, 4 e 3, que tem resolução espacial de 30,00 m e data de imageamento de 29/06/1984. Para as imagens mais recentes, foram utilizadas imagens do sensor *Operational Terra Imager* (OLI) proveniente do satélite Landsat 8 com a composição RGB das bandas 6, 5 e 4, que tem resolução espacial de 30,00 m e data de imageamento de 16/08/2020. As imagens 11S615N e 11S63ZN foram obtidas do TopoDATA.

O Processamento Digital de Imagens (PDI) foi iniciado pela composição colorida das imagens, de acordo o satélite imageador. Posteriormente, foi realizado o recorte das imagens com o arquivo vetorial da área da bacia hidrográfica. Em seguida, foi obtido o plugin Dzetsaka, que realiza processo de classificação através das amostras indicadas, ou seja, supervisionado por “pixel”. As amostras correspondem aos polígonos que indicam a classe de cobertura da terra que está presente na área de estudo. Para a obtenção das amostras, criou-se um arquivo vetorial identificando as classes citadas no Quadro 1. Após a obtenção das amostras, foi aplicado o método de classificação Gaussian Mixture Model.

**Quadro 1.** Descrição das amostras coletadas para aplicação do método de classificação.

Classe	Descrição	Nº amostras	Área das amostras
Antropizado	Corresponde à área florestal convertida em outros usos localizados na área rural do município como agricultura, pecuária, agrosilvo-pastoril.	29	19,55 km <sup>2</sup>
Água	Áreas que apresentam reservatórios artificiais de água, rios represados ou ainda corpos hídricos de escoamento superficial lótico.	4	0,61 km <sup>2</sup>
Floresta	Áreas de cobertura vegetal ombrófila densa ou aberta que representam os remanescentes florestais na área de estudo.	8	15,08 km <sup>2</sup>
Urbano	Áreas que apresentam a construção de residências assim como pavimentações com ou sem cobertura asfáltica.	3	3,91 km <sup>2</sup>

As séries históricas de precipitação foram confeccionadas utilizando o método de ponderação regional para preencher as falhas ou ausência de dados em determinados períodos. O método de ponderação regional, segundo Bertoni e Tucci (2003), é um método simplificado, normalmente utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações, visando à homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações. Para um grupo de postos, devem ser selecionados pelo menos três que possuam, no mínimo, dez anos de dados. Os postos vizinhos devem estar numa região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido (Tucci e Silveira 2004).

Para o levantamento das séries históricas de precipitação foram utilizados dados disponíveis no HidroWeb, da estação pluviométrica 01161000 Vista Alegre Cacoal, por ser esta a estação que apresentou a série histórica mais longa considerando a precipitação anual acumulada. Para o preenchimento de falhas de dados pelo método de ponderação regional foram utilizadas as seguintes estações pluviométricas: 1161005 Cacoal Escola Agrícola Alta Raupp, 01161004 Sitio Bela Vista, 01161003 Ministro Andreazza, Agência Nacional de Águas - ANA em 2022, localizadas na mesma região da área de estudo.

A estação meteorológica pluviométrica 1161008 instalada na Bacia Hidrográfica e a estação e pluviométrica 15558200 instalada no Rio Pirarara registram dados telemétricos a partir de junho de 2015, conforme registrado na Agência Nacional de Águas 2022. Sendo assim, foi possível realizar a análise de dados da inundação que ocorreu em 18 de fevereiro de 2022. Os dados foram processados no software Hidro versão 1.4, disponibilizado gratuitamente pela ANA.

Para a modelagem e aplicação do modelo HAND, a metodologia utilizada foi baseada na “Nota Técnica para a Elaboração de modelagens de inundação” (Conceição e Simões 2021). Esta modelagem de inundação refere-se a área de suscetibilidade a um evento de inundação conforme resultado da modelagem.

Para esta modelagem, são utilizados três dados de entrada que são a altitude, o relevo e o *Height Above the Nearest Drainage* – HAND (Conceição e Simões 2021, Rennó et al. 2008). Para obtenção de informação de altitude e modelagem HAND, utiliza-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), que para este trabalho, foi adotado o produto do imageamento realizado pelo sensor “*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*” - PALSAR, a bordo do satélite “*Advanced Land Observing Satellite*” – ALOS. Esta imagem foi descarregada diretamente do sítio da “*Alaska Satellite Facility*” – (ASF), em 2021.

Referente às informações do relevo, adquiriu-se os arquivos vetoriais utilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM para a elaboração da “Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Cacoal, RO” disponibilizado no sítio do Repositório Institucional de Geociência – RIGEO (CPRM 2019).

As classes de cada dado são convertidas em pesos que variam de 1 a 3 e, posteriormente, soma-se as variáveis gerando a modelagem que é interpretada analisando os pesos que constituem uma escala com valores entre 3 e 9, em que 3, 4, 5 há baixa suscetibilidade, 6 e 7 de média e 8 e 9 de alta suscetibilidade (Conceição e Simões 2021).

Para obtenção do produto da modelagem HAND, foi necessária a utilização do SIG QGIS versão 3.16 e do conjunto com o TerraView 4.2.2 (QGIS 2022, INPE 2019), com o plugin TerraHidro, disponibilizado no sítio da Wiki do Departamento de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (Namikawa 2021).

A validação do modelo HAND aplicado ao estudo da suscetibilidade de inundações na bacia hidrográfica se deu pelos pontos levantados em relatório técnico (CPRM) das áreas de inundações realizado por Barboza et al. (2012) durante a inundação de janeiro de 2012. Ao todo, foram levantados

38 pontos de inundação dentro da bacia hidrográfica com dados de latitude, longitude, altitude, hora, endereços e observações.

Sendo assim, foi possível verificar quantos pontos apresentam coerência com a mancha de inundação gerada pelo modelo HAND. Esta metodologia de validação também foi utilizada pelos seguintes autores: Mengue et al. 2016, Monge 2018, Zanandrea et al. 2018, Monte et al. 2019, que compararam eventos e dados históricos de inundação com a mancha de inundação gerada pelo modelo HAND.

## Resultados e discussão

### Análise morfométrica

Os parâmetros morfométricos analisados correspondem às características específicas de sua rede de drenagem, da geometria da bacia, da textura de drenagem e do relevo conforme (Tabela 1).

Com Coeficiente de Compacidade de 1,58, pode-se inferir que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência a forma retangular e, em condições normais de precipitação, excluindo-se eventos de intensidade extrema, a bacia hidrográfica estudada apresenta baixa susceptibilidade à ocorrência de inundações (Alves et al. 2014).

**Tabela 1.** Resultado dos dados morfométricos da Bacia do Pirarara, Cacoal – RO.

Parâmetro	Valor	Unidade
Altitude máxima da bacia	371,00	m
Altitude média da bacia	241,40	m
Altitude mínima da bacia	188,91	m
Amplitude altimétrica	182,09	m
Área total	130,87	km <sup>2</sup>
Coeficiente de manutenção	931,99	km <sup>2</sup> /km
Comprimento axial	17,96	km
Comprimento médio	7,64	km
Densidade de drenagem	1,07	km/km <sup>2</sup>
Extensão do corpo hídrico principal	25,14	km
Extensão do percurso superficial	0,47	km <sup>2</sup> /km
Extensão rede de drenagem	140,42	km
Fator forma	0,41	Adimensional
Gradiente do canal principal	1,08	%(km/km)
Índice de Circularidade	0,40	Adimensional
Índice de compacidade	1,58	Adimensional
Índice de sinuosidade	1,44	Adimensional
Ordem da bacia	6 <sup>a</sup> ordem	Strahler
Perímetro	64,42	km
Relação relevo	0,72	%(km/km)

Para o fator forma, obteve-se índice de 0,41 para a bacia do Rio Pirarara. Conforme Silva e Mello (2013), quando menor que 0,5 este fator indica que a bacia está mais distante de uma forma circular e menos sujeita a inundações.

Quanto à densidade de drenagem na análise morfométrica, a bacia do Pirarara apresenta valor igual a 1,07 km/km<sup>2</sup>, caracterizando-a como uma bacia moderadamente drenada. Conforme proposto por Christofolletti (1974), a densidade de drenagem pode ser classificada como muito baixa para valores menores que 0,50 km/km<sup>2</sup>, média entre 0,50 e 2,00 km/km<sup>2</sup>, alta entre 2,01 e 3,50 km/km<sup>2</sup> e muito alta para valores acima de 3,50 km/km<sup>2</sup>. Isso indica que a bacia tem média propensão à inundação.

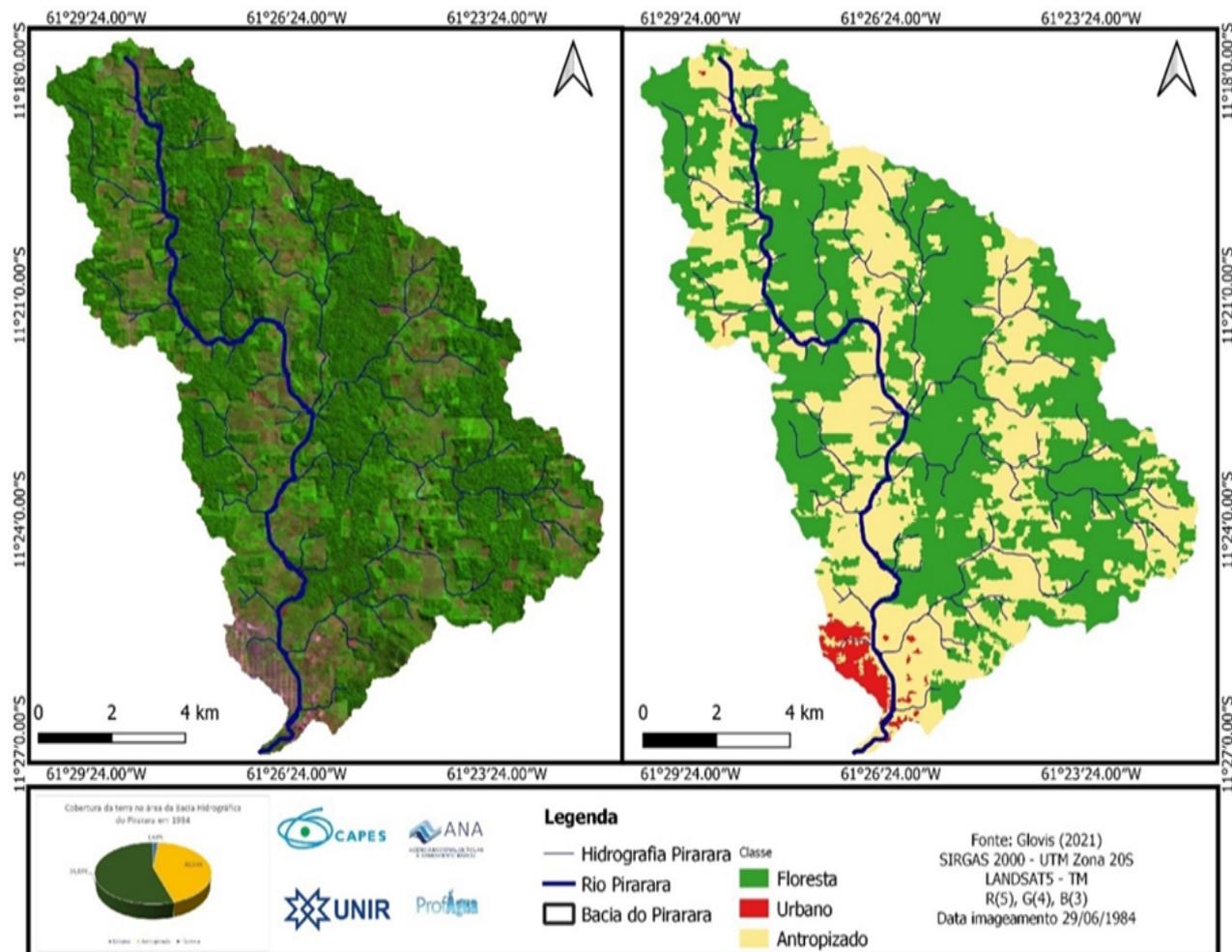
O índice de sinuosidade do Rio Pirarara é de 1,44, sugerindo transição entre formas regulares e irregulares, com canais retilíneos e sinuosos. O índice de sinuosidade varia de 1 a 2, indicando que valores próximos a 1 sugerem canais retilíneos, ao passo que valores superiores a 2,0, indicam maior sinuosidade dos canais. Valores intermediários sugerem formas transicionais, regulares e irregulares (Souza et al. 2012). Quanto menor a sinuosidade, menor é a dificuldade em que o curso hídrico encontrará para chegar até o exultório, já quando a bacia possuir sinuosidade elevada, maior será a dificuldade (Batista et al. 2018).

Portanto, a análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara pode indicar baixa propensão natural a inundações, e que outros fatores podem contribuir para que as inundações na área urbana do município de Cacoal - RO ocorram.

### **Análise do desmatamento**

A bacia hidrográfica do Rio Pirarara apresentava em 1984 (Figura 2) cobertura florestal de 71,76 km<sup>2</sup>, o equivalente a 54,83% dos 130,87 km<sup>2</sup> de sua área, área antropizada de 56,97 km<sup>2</sup>, o equivalente a 43,53 % do total da bacia e área urbana de 2,15 km<sup>2</sup> ou seja 1,64%.

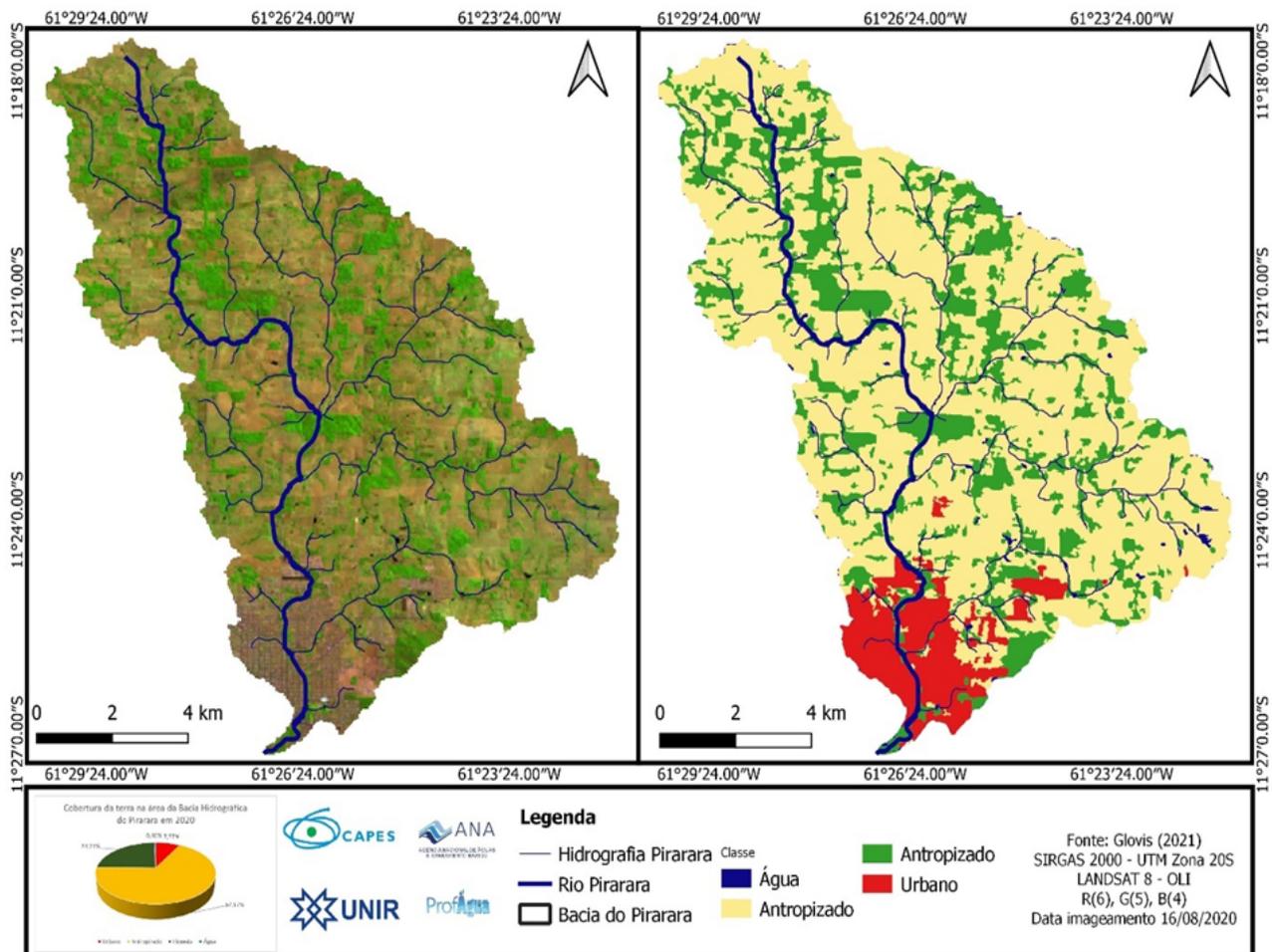
**Figura 2.** Mapa de cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Pirarara, município de Cacoal – RO, Amazônia Ocidental em 1984.



Foi possível observar que as áreas antropizadas estão dispostas em forma de faixas dentro da bacia hidrográfica, isso se explica em função do formato de colonização agrária e distribuição de terras onde a cada 4 km de norte a sul há uma linha vicinal de acesso às propriedades rurais e os produtores rurais iniciam o desmatamento para construção de moradias e produção agropecuária na frente dos lotes rurais.

Devido à resolução espacial de 30 metros da imagem, não foi possível quantificar a lâminas de água na área da bacia no ano de 1984. Já para o ano de 2020 (Figura 3), a quantificação da área de lâmina de água foi possível devido ao avanço do desmatamento e remoção de áreas de preservação permanente bem como a construção de tanques de água destinados à irrigação e piscicultura.

**Figura 3.** Mapa de cobertura do solo da bacia hidrográfica do Pirarara, município de Cacoal – RO, Amazônia Ocidental em 2020.



Para o ano de 2020, na Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara foi observada uma cobertura Florestal de 31,69 km<sup>2</sup> ou 24,21% do total, área Antropizada de 88,2 km<sup>2</sup> representando 67,57 %, área Urbana de 10,17 km<sup>2</sup> ou 7,77% e 0,60 km<sup>2</sup> de água, o que representa 0,46% da área total da bacia.

Conforme constatado, o maior aumento de uso e ocupação do solo se deu para área Antropizada, sendo que no ano de 1984 correspondia a 43,53%, já para o ano de 2020 esse percentual alcançou 67,57% da área total da bacia do Rio Pirarara. Segundo Casagrande (2009), o uso antrópico foi o que mais cresceu durante o período de colonização da região em função da supressão das áreas de vegetação natural. Isso se explica, de acordo com Fearnside (2005), pela forma como estado de Rondônia foi explorado desde o início de sua colonização, através de uma cultura de substituição da vegetação natural para implantação da pecuária e lavoura, trazendo consigo problemas relacionados à erosão e compactação do solo, assoreamento dos corpos d'água entre outros.

A atividade agropecuária altera a paisagem e a expansão da agricultura é um dos principais fatores responsáveis pela modificação do ciclo hidrológico, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos (Gordon et al. 2011). Uma das principais preocupações envolvendo o impacto da alteração da vegetação está relacionada ao possível aumento da magnitude das cheias vinculadas ao desmatamento. A maioria dos experimentos realizados indica que o desmatamento resulta em um aumento das vazões máximas (Collischonn e Dornelles 2013). As cheias são fenômenos naturais que podem ter seus efeitos

agravados devido às ações antrópicas, como crescimento das áreas urbanizadas, o desmatamento de matas ciliares, e a impermeabilização do solo. Tais fatores aceleram o processo de enchentes em localidades ribeirinhas (Canholi 2014).

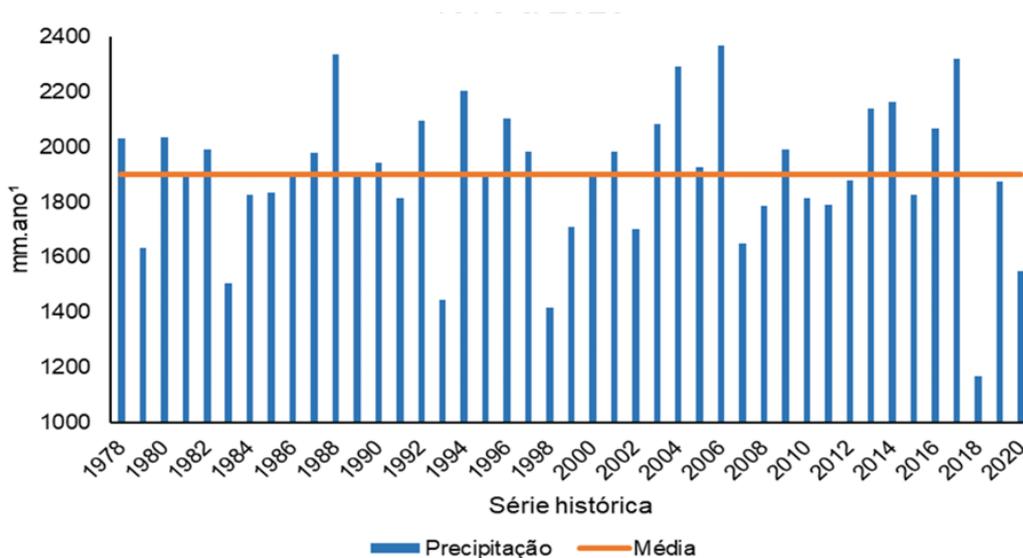
Sendo assim, a redução da área de floresta na Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara pode justificar as inundações mais severas para os que moram próximo ao Rio Pirarara na zona urbana de Cacoal – RO nos últimos anos. A análise do desmatamento mostrou um crescimento urbano às margens e áreas de proteção permanente do Rio Pirarara. O forte desmatamento sofrido na bacia e o crescimento destas áreas urbanas contribuíram para que mais pessoas fossem afetadas.

### Série histórica de precipitações

Eventos de precipitação extrema causam um grande impacto sobre as atividades socioeconômicas da Amazônia, tornando a população vulnerável ao comportamento e à variabilidade do sistema climático (Santos et al. 2016).

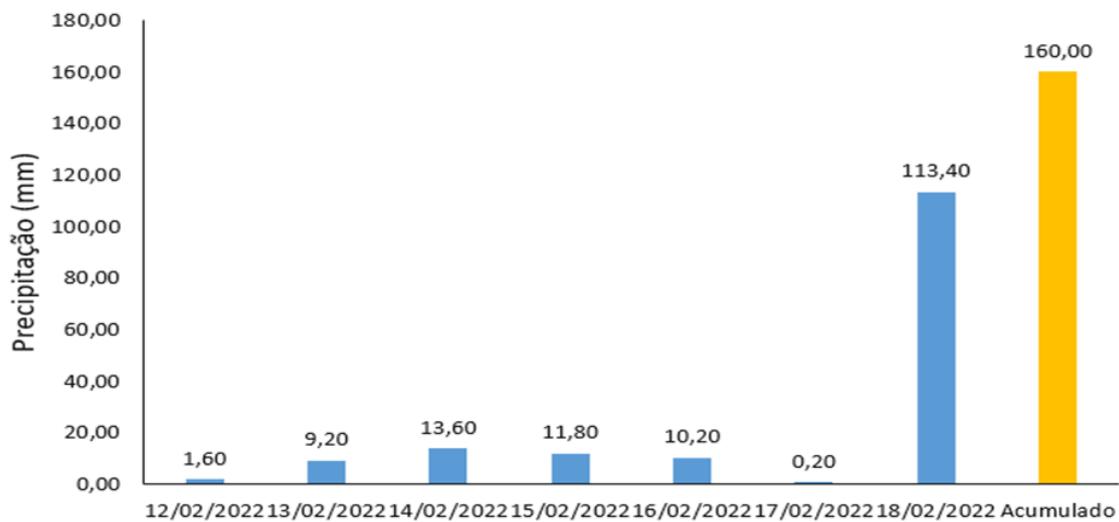
Foi confeccionado o gráfico da série histórica de precipitação na região da área de estudo (Figura 4). A média histórica de precipitação anual identificada foi de 1901 mm ano.

**Figura 4.** Série histórica de precipitação em Cacoal – RO de 1978 a 2020.



Conforme a Figura 5, o valor acumulado de precipitação na semana em que ocorreu a inundação de fevereiro de 2022 foi de 160 mm. Nas horas que antecederam a inundação de 18 de fevereiro de 2022, a precipitação foi de 113,4 mm, valor que representa quase metade da precipitação acumulada no mês de fevereiro, que foi de 293 mm.

**Figura 5.** Precipitação (mm) na semana da inundação de fevereiro de 2022 no município de Cacoal – RO, Amazônia Ocidental.



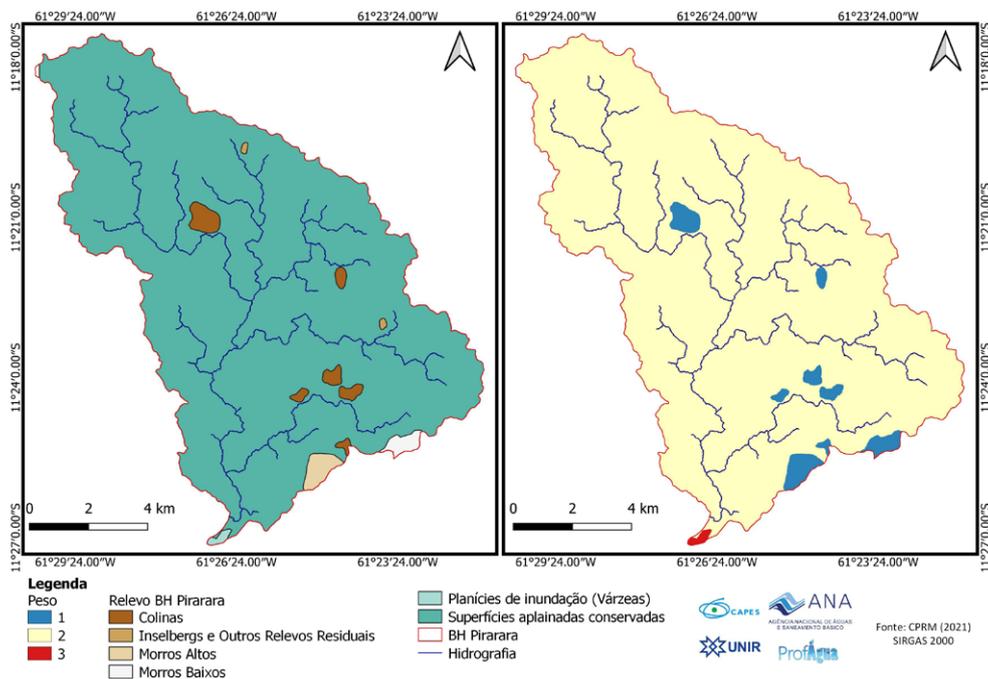
Em um estudo realizado por Santos et al. (2018), o valor máximo de precipitação observado na região, no período de 2008 a 2016, foi de 127,6 milímetros, ocorrido em março de 2014. Mês e ano em que ocorreu a segunda maior inundação na bacia hidrográfica.

O início da precipitação do dia 18 de fevereiro de 2022 ocorreu às 5h45min com a cota registrada de 145 cm. Tal precipitação ocorreu de forma ininterrupta até às 16h30min, somando 113,4 mm, quando a cota registrada foi de 587 cm. A cota do Rio Pirarara continuou subindo até às 18h15min ao atingir o valor máximo de 677 cm. Segundo Casagrande (2013), a cota máxima para que não ocorra enchentes na zona urbana do Rio Pirarara é de 290 cm. Portanto, a cota máxima registrada em fevereiro de 2022 foi 387 cm, maior que o considerado seguro para que não ocorra inundações.

### Suscetibilidade de inundações

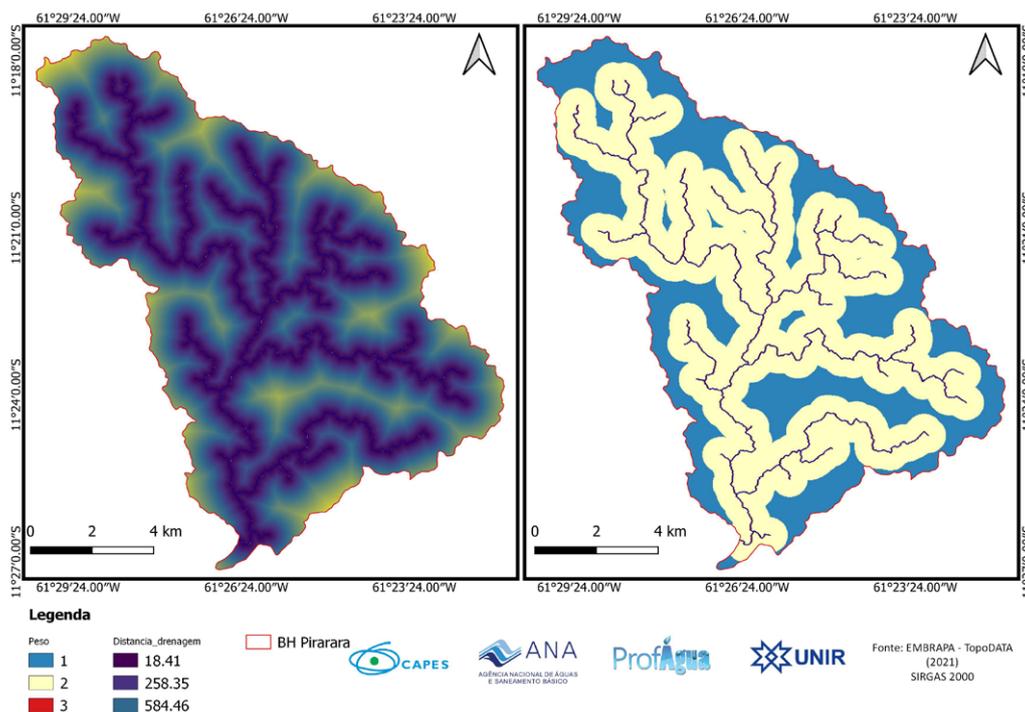
Para gerar o mapa de suscetibilidade de inundações na bacia hidrográfica do Rio Pirarara, o primeiro passo foi identificar os padrões de relevo conforme Figura 6.

**Figura 6.** Resultado da classificação do relevo segundo os pesos para área da Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara.



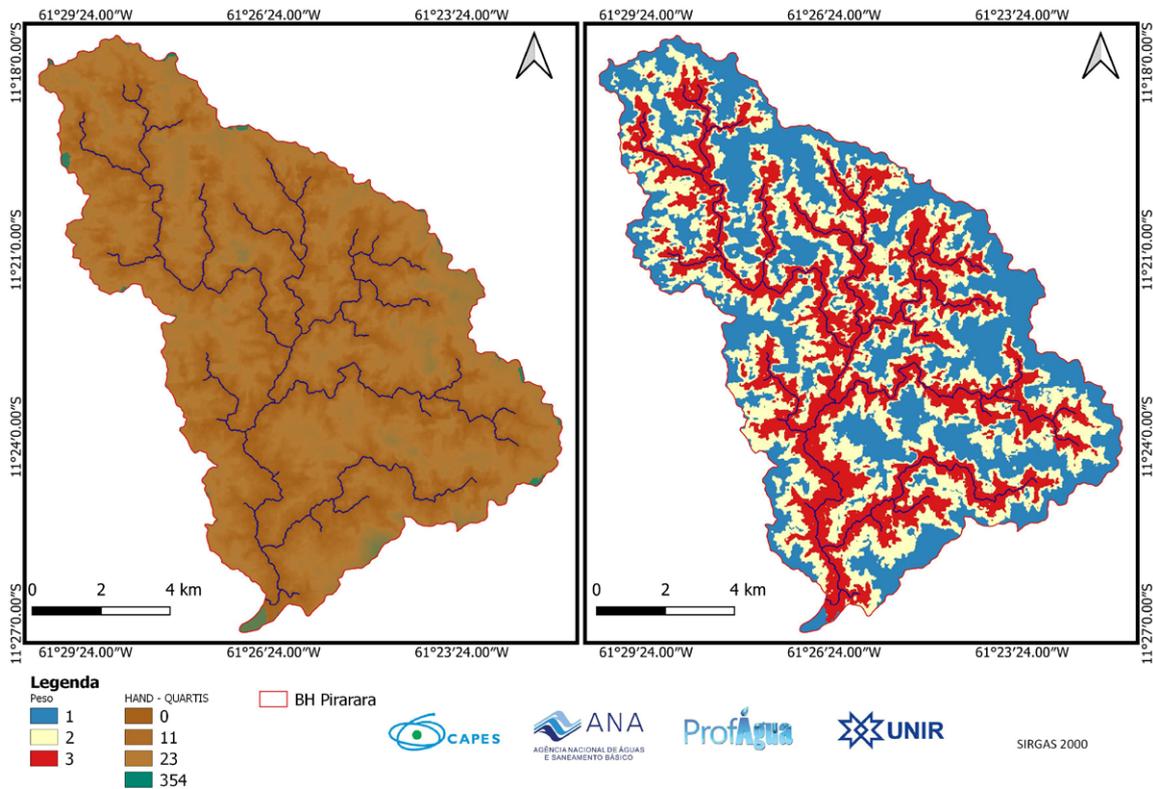
O segundo passo para gerar o mapa de suscetibilidade de inundações na bacia hidrográfica do Rio Pirarara foi levantar os valores que definiram o intervalo das classes para a atribuição dos pesos dos dados de altitude (Figura 7).

**Figura 7.** Produto do processamento dos dados de modelagem referente a altitude da Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara.



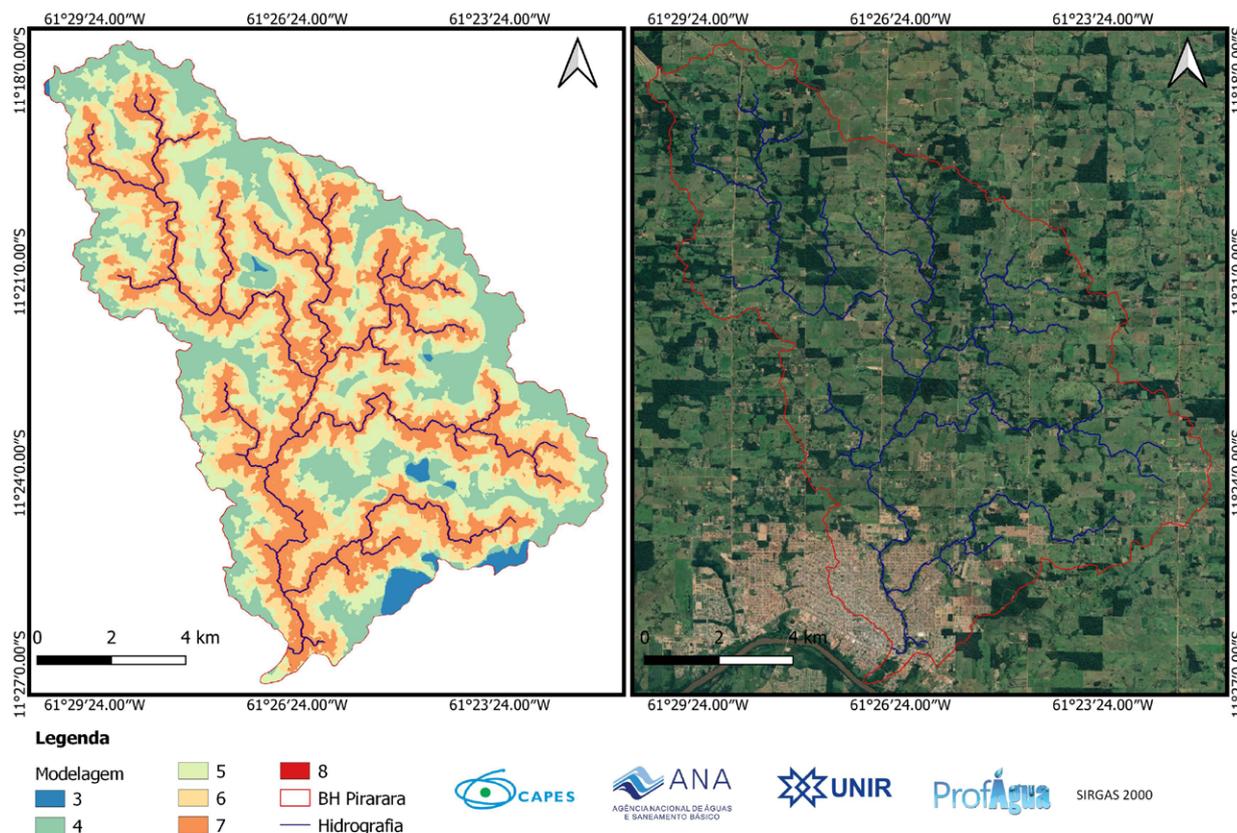
Quanto à suscetibilidade de inundações, a Figura 8 apresenta o resultado da modelagem HAND.

**Figura 8.** Mapa de pesos referente a modelagem HAND para a Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara.



Como resultado do levantamento da suscetibilidade de inundações temos a soma das variáveis de relevo, altimetria e modelagem HAND para a confecção de um produto que é o mapa de suscetibilidade de inundações contendo valores que variam de 3 a 8 (Figura 9). Foi obtida a classe 8 como de maior suscetibilidade, sendo que a classe 9 não está presente no mapa em função das variáveis relevo e altimetria não apresentarem o peso três na modelagem. Quanto maior o valor da classe, maior a suscetibilidade de inundações. Quanto menor a variação altimétrica entre uma célula e o canal e quanto mais próximo de um canal, maior a suscetibilidade à inundações. A menor amplitude altimétrica em relação ao rio principal é classificada como alta suscetibilidade (Goerle et al. 2017).

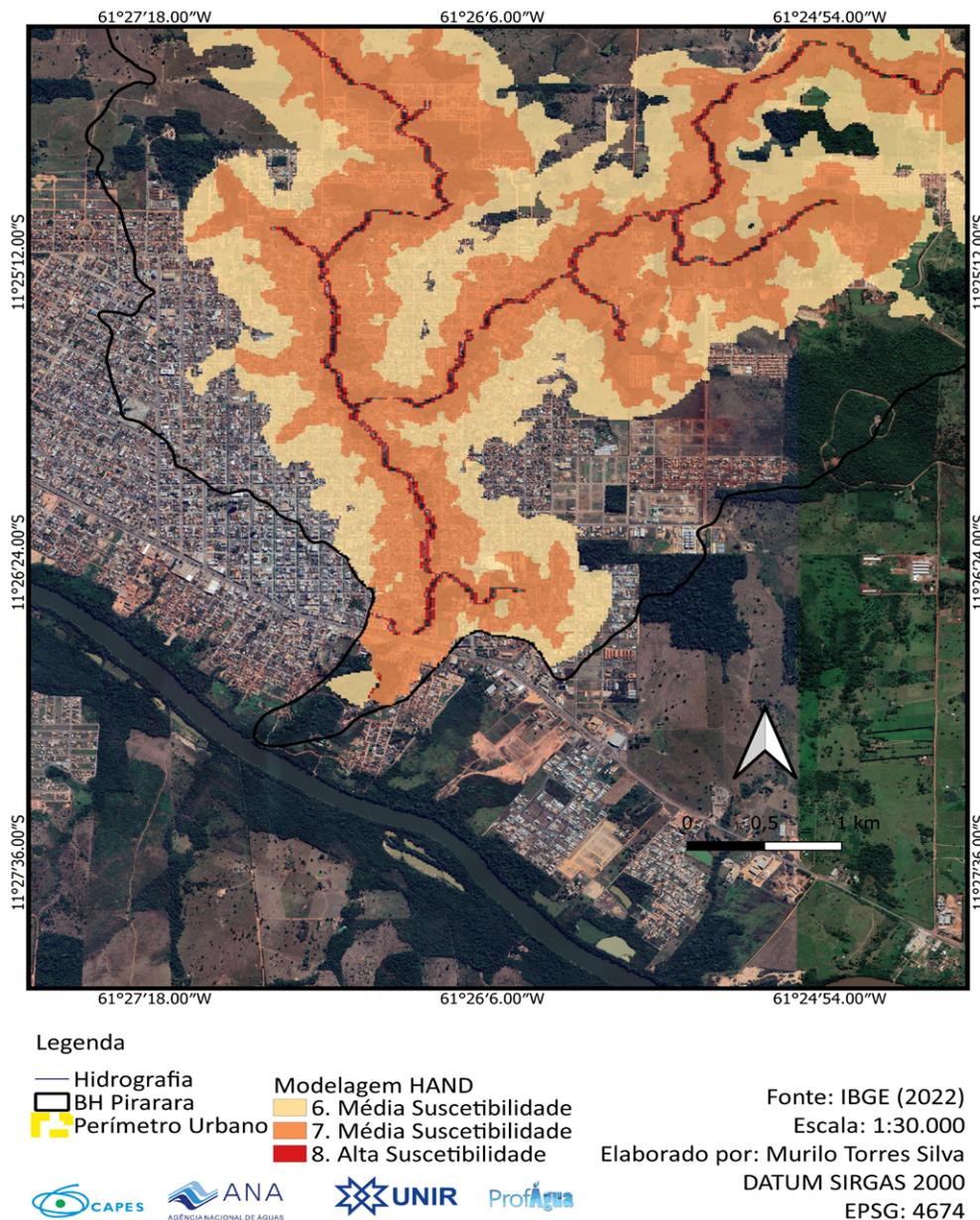
Figura 9. Mapa de suscetibilidade de inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara, município de Cacoal – RO, Amazônia Ocidental.



Para alta suscetibilidade de inundações, temos 2,16 km<sup>2</sup> ou 2% da área da bacia. As áreas de média suscetibilidade a inundações representam 53%, ou seja, 68,57 km<sup>2</sup>. As áreas de baixa suscetibilidade de inundações somam 58,38 km<sup>2</sup> ou representam 45% da bacia hidrográfica do Rio Pirarara.

A Figura 10 mostra as áreas com as classes 6 e 7 de média suscetibilidade e classe 8 de alta suscetibilidade à inundações sobre a área urbana da bacia hidrográfica do Rio Pirarara.

**Figura 10.** Áreas de média e alta suscetibilidade de inundações ná área urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara, município de Cacoal – RO, Amazônia Ocidental.

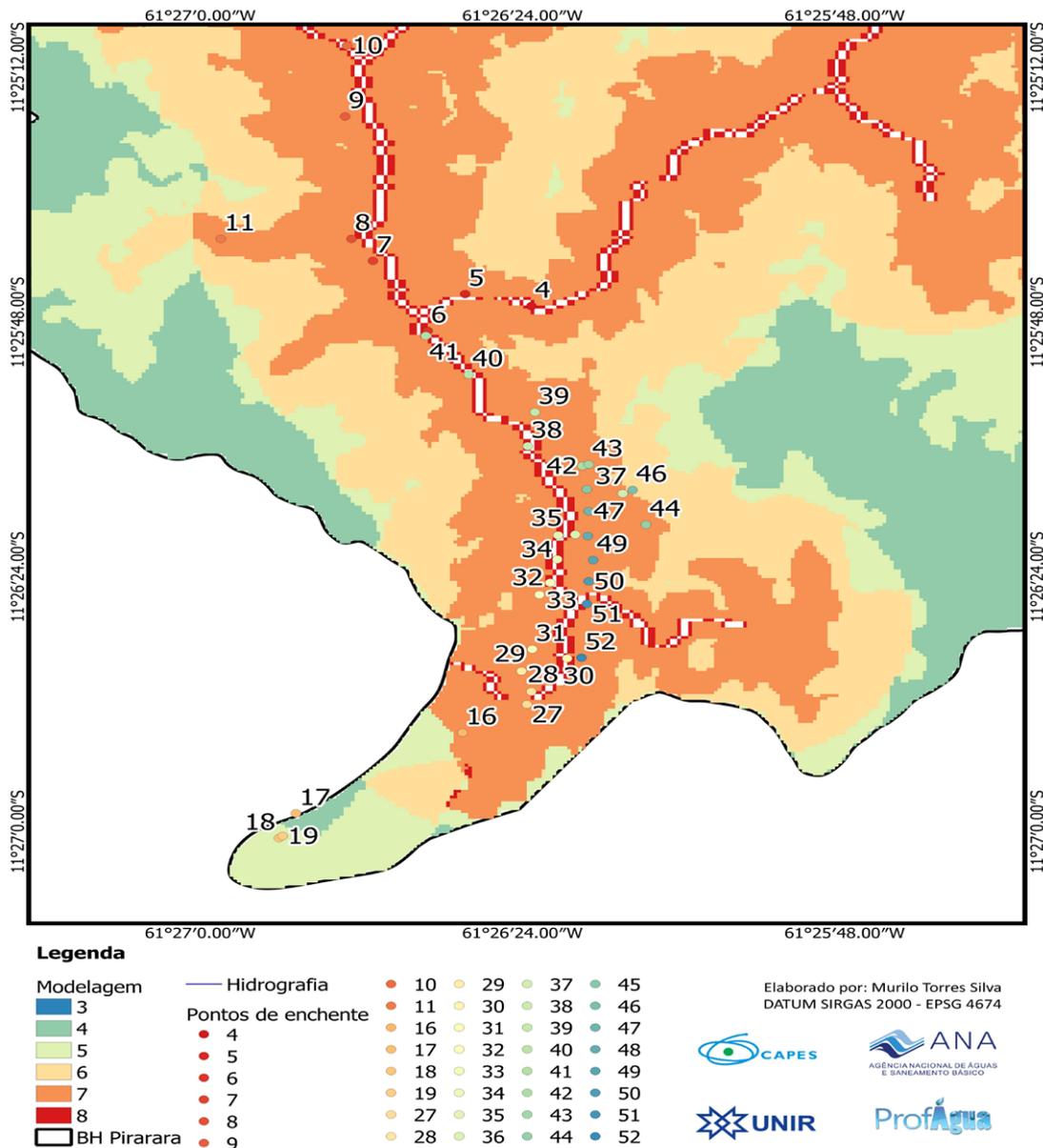


Na área urbana da bacia do Rio Pirarara, 1,03 km<sup>2</sup> ou 1,89% da área tem alta suscetibilidade de inundações. A área de média suscetibilidade à inundação representa 62,37% ou seja 32,24 km<sup>2</sup>. A área de baixa suscetibilidade de inundações soma 18,48 km<sup>2</sup>, representando 35,74% (Figura 11).

O resultado de suscetibilidade da área urbana da (Figura 10) foi comparado com as informações dos pontos geográficos do evento de inundação ocorrido em 2012 no Rio Pirarara (Figura 11). Para avaliação da confiabilidade da mancha de inundação gerada pelo modelo HAND, foram utilizados 38 pontos de inundação catalogados pela CPRM (Barboza et al. 2012), onde todos os pontos dentro da bacia do Rio Pirarara se mostraram coerentes com a mancha de inundação gerada (Figura 11), o que significa excelente confiabilidade do modelo HAND em relação aos dados de inundação da bacia hidrográfica que tem 130,87 km<sup>2</sup>.

Assim, em regiões com escassez de dados hidrológicos, o modelo HAND pode ser uma alternativa para indicar as áreas propensas à inundação (Jafarzagdegan et al. 2018). Ainda segundo Melo (2021), em relação ao modelo HAND, compreendeu-se um papel fundamental como preditor de inundações em regiões com baixa disponibilidade de dados hidrológicos.

**Figura 11.** Pontos de inundação identificados pela CPRM em comparação com o resultado da modelagem de áreas suscetíveis a inundação na área urbana do município de Cacoal – RO.



## Conclusão

A aplicação de ferramentas de classificação de imagens proporcionou a quantificação do desmatamento na Bacia Hidrográfica do Rio Pirarara. Foi possível constatar que a região de estudo teve uma expansão de áreas antropizadas (24,04%) destinadas à agricultura e pecuária entre os anos de 1984 e 2020, expansão urbana (6,13%) e redução significativa da área de floresta (30,62%).

Os resultados alcançados mostram que as condições naturais do Rio Pirarara analisadas a partir dos parâmetros morfométricos selecionados indicam que os riscos à inundação na bacia hidrográfica são baixos.

Relacionado ao evento extremo de precipitação para a inundação de fevereiro de 2022, foi constatado um volume de precipitação acumulada na semana de 160mm e no dia da inundação de 113,40 mm, que representa quase metade do volume acumulado no mês de fevereiro, que foi de 293 mm. Quanto à cota do Rio Pirarara, a inundação do dia 18 de fevereiro de 2022 atingiu a marca de 677 cm, ocasionando grande impacto nas áreas inundadas.

O modelo HAND se mostrou eficiente na delimitação de áreas propensas à inundação, visto que alcançou o objetivo de obter a mancha de inundação, onde 2% têm alta suscetibilidade e 53% média suscetibilidade a inundações. Quando o mapa de suscetibilidade de inundações foi confrontado com os pontos de controle e informações de inundações levantadas a campo, todos os pontos localizam-se dentro da mancha de inundação representando a realidade do evento.

## Agradecimentos

A Agência Nacional das Águas (ANA), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) e ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015. Ao *campus* Ji-Paraná da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

**Participação dos autores:** MTS - Conceitualização, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração do projeto, visualização, redação original. ALDR - Conceitualização, supervisão, validação, revisão e edição. GNS - Conceitualização, metodologia, visualização. MSS - Conceitualização, investigação, metodologia, visualização. RA - Conceitualização, supervisão, validação, revisão e edição.

**Aprovação ética ou licenças de pesquisa:** Não se aplica.

**Disponibilidade dos dados:** Manuscrito oriundo da dissertação de mestrado disponível no repositório da Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Link: [https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3038?author\\_page=0](https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3038?author_page=0)

**Fomento:** Universidade Federal de Rondônia (UNIR).

**Conflito de Interesses:** Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Referências

ANA. 2022. Agência Nacional de Águas. Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 22 maio 2022.

Alaska Satellite Facility. 2021. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em: 1 dez. 2021.

Alves TLB, Azevedo PV, Silva MT. 2014. Análise morfométrica da bacia hidrográfica riacho Namorado, São João do Cariri-PB: uma ferramenta ao diagnóstico físico. Revista de Geografia 31(3):130-148. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229081>. Acesso em: 28 nov. 2021.

Barbosa DC, Caramello N, Silva GNE. 2021. Um rio e sua gente análise de variáveis para diagnóstico da identidade fluvial de ribeirinhos urbanos do Rio Pirarara – Cacoal / RO. Revista Sociedade e Território 33(1):188–208. DOI: <https://doi.org/10.21680/2177-8396.2021v33n1ID21879>.

Barboza FAR, Bezerra SR, Gomes WR, Silva JAN. 2012. Levantamento de áreas de inundação no município de Cacoal – RO, Relatório Técnico. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15389>. Acesso em: 14 ago. 22.

Batista DF, Cabral JBP, Rocha T, Barbosa GR. 2018. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão santo antônio - go. RevGeoamb 29. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/50882> DOI: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.50882>

BERTONI JC, TUCCI CEM. 2003. Inundações urbanas na América do Sul. In: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - Porto Alegre -RS. Disponível em: [https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/ofitexto.arquivos/imundacoesAmericaSul\\_SUM.pdf](https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/ofitexto.arquivos/imundacoesAmericaSul_SUM.pdf). Acesso em: 21 de nov. 2021.

Brasil. 2012. Lei no 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; [...]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm). Acesso em: 28 nov. 2021.

Brasil. 2021. ODS. Objetivo 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima. Disponível em: [odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo=13](https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo=13). Acesso em: 31. jun. 2021.

Cacoal. 2022 Famílias afetadas por inundação, Rio Pirarara. Portal da Prefeitura municipal de Cacoal RO matéria de 19/02/2022. Disponível em: <https://www.cacoal.ro.gov.br/?s=enchente>. Acesso em: 13 jul. 2022.

Canholi AP.2014. Drenagem urbana e controle de enchentes. Oficina de Texto, São Paulo.

Casagrande B. 2009. Caracterização do meio físico e avaliação do desmatamento no município de Cacoal – RO de 1986 a 2007, utilizando técnicas de geoprocessamento. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/> Acesso em 1 nov. 2021.

Casagrande AP. 2013. Famílias temem nova enchente com cheia do Rio Pirarara, em Cacoal, RO. G1 RO, Disponível em: <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2013/01/familias-temem-nova-enchente-com-cheia-do-rio-pirarara-em-cacoal-ro.html>. Acesso em 21 mai 2022.

Chen W, Li Y, Xue W, Shahabi H, Li S, Hong H, Wang X, Bian H, Zhang S, Pradhan B, Ahmad BB. 2020. Modeling flood susceptibility using data-driven approaches of naïve Bayes tree, alternating decision tree, and random forest methods. Sci Total Environ 20(701):134979. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134979. Epub 2019 Nov 2. PMID: 31733400.

Christofolletti A.1974. Geomorfologia. Editora Blücher, São Paulo.

Collischowwn W e Dornelles F. 2013. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. ABRH, Porto Alegre.

Conceição ACR. e Simões LMP. 2021. Nota técnica para elaboração de modelagens de inundação. Serviço Geológico do Brasil. CPRN. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22079/1/nota\\_tecnica\\_inundacao\\_modelagem.pdf79](https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22079/1/nota_tecnica_inundacao_modelagem.pdf79). Acesso em: 28 nov. 2021.

CNRH. 2003. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução N° 32, de 15 de outubro de 2003. Disponível em: <Http://Www.Aesa.Pb.Gov.Br/Aesa-Website>. Acesso em: 2 dez. 2021.

CPRM. 2019. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Cacoal, RO. [S. l.]. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/21474>. Acesso em: 2 dez. 2021.

Fearnside PM.2005. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. Revista Megadiversidade 1:7-19. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/340923558\\_Desmatamento\\_na\\_Amazonia\\_brasileira\\_Historia\\_indices\\_e\\_consequencias](https://www.researchgate.net/publication/340923558_Desmatamento_na_Amazonia_brasileira_Historia_indices_e_consequencias) Acesso em: 13 jul. 2022.

- Goerl RF, Kobiyama M, Michel GP. 2017. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. *Revista Brasileira de Cartografia* 69(1):61-69. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44032>. Acesso em 22 abr. de 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n1-44032>
- Gordon LJ, Finlayson CM, Falkenmark M. 2011. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. *Agricultural Water Management* 97:512-519. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377409000924>. Acesso em 22 abr. de 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.017>
- Horton RE. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin* 56(3):275-370. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/>. Acesso em: 28 ago. de 2021. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- INPE. 2019. TerraView 4.2.2. São José dos Campos, SP. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/terralib5/wiki/doku.php?id=wiki:downloads:tutorial\\_tv422/](http://www.dpi.inpe.br/terralib5/wiki/doku.php?id=wiki:downloads:tutorial_tv422/). Acesso em: 01 ago. 2023.
- Jafarzadegan K, Merwade V, Saksena S. A geomorphic approach to 100- year floodplain mapping for the Conterminous United States. *Journal of Hydrology* 561:43-58 United States, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii>. Acesso em: 01. jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.061>
- Melo VB. 2021. Aplicação de informações espaciais de alta resolução para estudo de ocorrências de inundações urbanas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Ed. Recife, Recife, PE, 2021. Disponível em: <https://attenu.ufpe.br/handle/123456789/41341> Acesso em: jul. de 2021.
- Mengue VP, Scottá FC, Silva TS da, Farina F. 2016. Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai. *Revista Pesquisas em Geociências* 43(1):41-53. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/78191>. Acesso em 28 abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78191>
- Monge JDS. 2018. Aplicação do modelo HAND para o mapeamento de áreas factíveis á inundação no município de Blumenau – SC. Monografia. UNISUL. Palhoça. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4833>. Acessado em 04. jun. 2021.
- Monte BEO, Zanandrea F, Silveira ALLD, Tavares, MH, Abatti, BH, 2019. Capacidade do modelo HAND na representação de uma mancha de inundação comparado ao modelo hidrodinâmico HEC-RAS 2D. *Anais[...]*. Porto Alegre, RS: ABHR. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/>. Acessado em 04. jun. 2021.
- Namikawa LM. 2021. Ferramentas para modelagem e monitoramento de bacias hidrológicas. [S. l.], Disponível em: <http://wiki.dpi.inpe.br/doku.php?id=trein:cursoufba>. Acesso em: 2 dez. 2021.
- Nobre AD, Cuartas LA, Momo MR., Severo DL, Pinheiro A, Nobre C A. 2015. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. *Hydrological Process* 30:320-333. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/>. Acesso em 15 de ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.10581>
- PROFÁGUA, Oficina de mapeamento de indicadores de sustentabilidade aplicados a gestão de recursos hídricos – delimitação urbana do Rio Pirarara – Cacoal/Rondônia. Certidão de Extensão nº 217/2019 (0302896). Mestrado Profissional Em Rede Nacional Em Gestão E Regulação De Recursos Hídricos, 2019.
- QGIS. 2023. Development Team, <YEAR>. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org/>. Acesso em 01 de ago 2023.
- Queiroga AA, Oliveira RGL, Filgueira HJA, Cunico C. 2023. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação aplicando diferentes modelos digitais de elevação no modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND). *Revista do Departamento de Geografia* 43:191008. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.191008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/191008>. Acesso em: 11 ago. 2023.
- Rennó CD, Nobre AD, Cuartas LA, Soares JV, Hodnett MG, Tomasella J. 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment* 112(9):3469–3481,. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>. Acesso em 21 de Jun 2021.

Ricardo GS, Neto SLR. 2016. Modelagem hidrológica chuva-vazão da bacia hidrográfica do Alto Canoas por meio do modelo HEC-HMS (Hydrologic Modeling System). UDESC - 26º Seminário de Iniciação Científica -. Disponível em: [https://www1.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/2550/85](https://www1.udesc.br/arquivos/id_submenu/2550/85). Acesso em: 21 de Jun 2021.

Santos EB, Lucio PS, Santos e Silva CM. 2016. Estimating return periods for daily precipitation extreme events over the Brazilian Amazon. Theoretical and Applied Climatology 126:585–595. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-015-1605-9>. Acesso em: 22 de mai. 2022.

Santos RS, Vieira PD, Evangelista DHR, Oliveira LJC, Nonato D. 2018. Caracterização de extremos mensais de precipitação em Cacoal (RO). Revista Brasileira de Climatologia 22(14):267-280. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/55285>. Acesso em: 22 de mai. 2022.

Schumm SA. 1963. A sinuosity of alluvial rivers on the great plans. Geol.Soc. America Bull 9:1089-1100. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-> Acesso em 14 jul. 2022. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1963\)74\[1089:SOAROT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2)

Schumm S. A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. Geological Society of America Bulletin 1:597-646. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article->. Acesso em 14 jul. 2022. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)

Silva AM, Mello CR. 2013. Apostila de Hidrologia. Universidade Federal de Lavras. UFLA, Lavras, MG.

Sobrinho AT, Oliveira PT, Rodrigues DB, Ayres FM. 2010. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. Revista Engenharia Agrícola 30(1):46–57, Jaboticabal, SP, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/BCFw7SYRfd8scZBTt7pKmsG/abstract/?lang=pt> Acesso em: 13 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000100005>

Souza CF, Pertille CT, Corrêa BJS, Vieira FS. 2012. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí - Paraná. Geoambiente on-line-Line. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente2>. Acesso em: 7 set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.50602>

Strahler AN. 1958. Dimensional analysis applied to fluviially eroded landforms. Geological Society of America Bulletin 69(3):279-300. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1958GSAB279S/>. Acesso em: 30. jul. 2021. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1958\)69\[279:DAATFE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1958)69[279:DAATFE]2.0.CO;2)

SECOM. 2014. Superintendência Estadual de Comunicação. Enchente em Cacoal desaloja famílias. Disponível em: <http://www.rondonia.ro.gov.br/enchente-em-cacoal-desaloja-familias/>. Acesso em: 30. jul. 2021.

TUCCI CE, SILVEIRA LA. 2004. Hidrologia: Ciência e Aplicação. primeira reimpressão. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.

Villela S M, Mattos A. 1975. Hidrologia aplicada. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.

Zanandrea F, Vanelli FM, Tavares TDGA, Goldenfum JA. 2018. Delimitação da área potencialmente inundada pela cheia histórica de 1974 em Tubarão, SC. In: Encontro Nacional de Desastres. Anais [...]. ABRH, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/184920?locale-attribute=es>. Acesso em: 05. jun. 2021.



Esta obra está licenciada com uma *Licença Creative Commons Atribuição Não-Comercial 4.0 Internacional*.