

Análise temporoespacial de edificações em áreas de perigo de inundação em Guarapuava, Paraná, Brasil

Spatiotemporal analysis of buildings in flood hazard areas in Guarapuava, Paraná, Brazil

Análisis temporo-espacial de la edificación en zonas de riesgo de inundación en Guarapuava, Paraná, Brasil

Analyse spatio-temporelle des bâtiments dans les zones inondables à Guarapuava, Paraná, Brésil

Leandro Redin Vestena 

Universidade Estadual do Centro Oeste
Guarapuava, Paraná, Brasil
lvestena@unicentro.br

Rebeka Aparecida Almeida dos Santos 

Universidade Estadual do Centro Oeste
Guarapuava, Paraná, Brasil
rebx1997@gmail.com

Fabiula Eurich Machado 

Universidade Estadual do Centro Oeste
Guarapuava, Paraná, Brasil
fabiuila.eurich@gmail.com

Jaime Frajuca Lopes 

Universidade Estadual do Centro Oeste
Guarapuava, Paraná, Brasil
jaime.lopes@escola.pr.gov.br

RESUMO

A rápida urbanização, associada às emergências climáticas, é um desafio para o planejamento, a gestão urbana, o monitoramento e a fiscalização de ocupações inadequadas, especialmente em áreas de inundações. Objetivou-se investigar a dinâmica temporoespacial de uso e ocupação da terra em áreas críticas de perigo de inundação em Guarapuava (PR), de abril a novembro de 2023. Os procedimentos metodológicos incluíram a interpretação visual de imagens do Google Earth e ortomosaicos obtidos com um veículo aéreo não tripulado, referentes às áreas que necessitam de atenção pública. Os resultados demonstram aumento na impermeabilização do solo e no número de residências em áreas de perigo de inundação. Concluiu-se que a

dinâmica de ocupação das áreas de perigo de inundação por edificações é rápida, excedendo muitas vezes a capacidade de monitoramento e fiscalização dos órgãos competentes. Portanto, além de um disciplinamento do uso e da ocupação do solo em áreas de perigo de inundação, faz-se necessária uma fiscalização eficiente, uma vez que uma maior exposição ao perigo aumenta o risco de desastres.

PALAVRAS-CHAVE: desastre; mapeamento; impermeabilização.

ABSTRACT

Rapid urbanization and climate emergencies pose significant challenges to urban planning, management, monitoring, and the regulation of inadequate land occupations, particularly in flood-prone areas. This study aims to investigate the spatiotemporal dynamics of land use and occupation in critical flood hazard zones in Guarapuava (PR) from April to November 2023. The methodological approach involved visual interpretation of Google Earth imagery and orthomosaics obtained through unmanned aerial vehicles (UAVs), focusing on areas requiring public attention. The results indicate an increase in soil impermeabilization and a growing number of residential structures in flood-hazard areas. The findings suggest that the pace of urban occupation in flood-prone zones often exceeds regulatory agencies' monitoring and enforcement capacity. Therefore, beyond implementing land use regulations in flood hazard areas, effective enforcement measures are crucial, as greater exposure to hazards heightens the risk of disasters.

KEYWORDS: disaster; mapping; impermeabilization.

RESUMEN

La rápida urbanización, unida a las emergencias climáticas, supone un reto para la planificación, la gestión urbana, el seguimiento y la inspección de ocupaciones inadecuadas, especialmente en zonas inundables. El objetivo fue investigar la dinámica temporal y espacial del uso y ocupación del suelo en áreas críticas de riesgo de inundación en Guarapuava (PR), de abril a noviembre de 2023. Los procedimientos metodológicos incluyeron la interpretación visual de imágenes de Google Earth y ortomosaicos obtenidos con un vehículo aéreo no tripulado, referidos a las áreas con necesidad de atención pública. Los resultados muestran un aumento del sellado del suelo y del número de viviendas en zonas inundables. Se llegó a la conclusión de que la dinámica de ocupación de las zonas de riesgo de inundación por los edificios

es rápida, superando la capacidad de vigilancia e inspección de los órganos competentes. Por lo tanto, además de disciplinar el uso y ocupación del suelo en zonas con riesgo de inundaciones, es necesaria una supervisión eficiente, ya que una mayor exposición al peligro aumenta el riesgo de desastres.

PALABRAS CLAVE: catástrofe; mapeo; impermeabilización.

RÉSUMÉ

L'urbanisation rapide, associée aux urgences climatiques, constitue un défi pour la planification, la gestion urbaine, la surveillance et l'inspection des occupations inappropriées, en particulier dans les zones inondables. L'objectif a été d'étudier les dynamiques temporelles et spatiales de l'utilisation et de l'occupation des sols dans les zones critiques en danger d'inondation à Guarapuava (PR), d'avril à novembre de 2023. Les procédures méthodologiques comprenaient l'interprétation visuelle d'images de Google Earth et d'orthomosaïques obtenues à l'aide d'un drone, en se référant aux zones nécessitant l'attention de l'État. Les résultats montrent une augmentation de l'imperméabilisation des sols et du nombre de maisons dans les zones inondables. On a conclu que la dynamique d'occupation des zones inondables par des bâtiments est rapide, dépassant la capacité de surveillance et d'inspection des organismes compétents. On recommande de réglementer l'utilisation des terres dans les zones inondables et de mettre en place une surveillance efficace pour réduire le risque de désastre.

MOTS-CLÉS : désastre ; mapping ; imperméabilisation.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudança no Clima (IPCC), espera-se que condições ambientais extremas, incluindo inundações, alcancem maiores magnitude e frequência, o que potencializa o risco de desastres naturais. No Brasil, a elevação de 1,5 °C na temperatura resultaria em um aumento de 100% a 200% na população afetada por inundações (IPCC, 2022).

Somente no ano de 2022, o Banco de Dados de Eventos de Emergência (EM-DAT, 2023a) registrou 387 desastres naturais no mundo, que resultaram na perda de 30.704 vidas e afetaram aproximadamente 185 milhões de pessoas. Os prejuízos econômicos totalizaram cerca de 223,8 bilhões de dólares em desastres associados a inundações, os quais lideram em número de ocorrências, como com 176 eventos, superando a média anual de 168 ocorrências no período de 2002 a 2021.

No Brasil, de acordo com o Atlas Digital de Desastres no Brasil (2023), o número de ocorrências de desastres associados a eventos de inundações, apenas nos anos de 2021 e 2022, somou 3.660 registros, com 300 mortes e 15.445.016 pessoas afetadas. Os prejuízos decorrentes desses desastres no país, desde o início do monitoramento em 1991, totalizaram 423,05 bilhões de reais. Do total de ocorrências, 1.266 foram eventos de natureza hidrometeorológica (chuva intensa, inundação, enxurrada e alagamentos). Tais dados apontam a necessidade emergente de estudos dedicados ao tema desastre, bem como o desenvolvimento de novas ferramentas e metodologias capazes de minimizar os impactos provocados por eventos adversos, como inundações.

As inundações podem ocasionar desastres, dependendo de sua magnitude e da presença humana nas áreas afetadas. De acordo com o EM-DAT (2023b), considera-se desastre quando há perdas humanas e/ou econômicas que atendam, pelo menos, a um dos seguintes critérios: i) 10 mortes; ii) 100 pessoas afetadas; iii) declaração de estado de emergência; e iv) pedido de ajuda internacional.

Segundo Vestena (2017), os desastres são, na maioria das vezes, decorrentes de fenômenos naturais adversos e estão diretamente associados às características físicas do meio ambiente e aos condicionantes antrópicos, principalmente ao modo de uso e ocupação do solo. Ou seja, estão relacionados à ocupação de áreas de perigo, como áreas inundáveis, e ao tipo e à forma de ocupação, como aspecto e resistência das construções.

Os desastres “naturais” são classificados com base na natureza do fenômeno desencadeador (perigo) (MARCELINO, 2008), mas seus efeitos se manifestam sobre um sistema social (vulnerável) (VESTENA, 2017), por meio de perdas humanas, materiais e ambientais (CASTRO, 1996).

Desse modo, locais de perigo de inundação são aqueles em que há probabilidade de ocorrência de danos, de desastre. O perigo pode ser potencialmente prejudicial dentro de um período específico em uma determinada área (CASTRO, 1996; ASSEFA, 2018). Portanto, estar em situação de perigo significa estar vulnerável, ameaçado de sofrer alguma perda ou algum dano (ROBAINA; OLIVEIRA, 2013).

As inundações são eventos naturais caracterizados pelo aumento do nível dos rios além de sua vazão normal, resultando no transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a eles (KOBİYAMA *et al.*, 2006). No entanto, as inundações podem ser potencializadas também pelas superfícies impermeáveis decorrentes da urbanização (TUCCI, 2007; ZHANG *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2023), como é o caso na maioria das cidades brasileiras.

Assim, a mudança climática e a urbanização impactam no ambiente hídrico, na dinâmica hidrológica. De um lado, as mudanças do clima aumentam a frequência e a intensidade de eventos extremos (SANDINK, 2009; YANG *et al.*, 2021; IPCC, 2022; NG *et al.*, 2024), como chuvas volumosas em curto período de tempo, que acentuam os riscos de inundações. De outro lado, em áreas urbanas, tem-se uma fração significativa do solo convertida em superfícies impermeáveis, o que impede a infiltração da água (FENG; ZHANG; BOURKE, 2021). Essa conversão, conforme aponta Tucci (2007), aumenta a velocidade do escoamento e expande as áreas vulneráveis a inundações.

No Brasil, o primeiro esforço legal para a gestão e o gerenciamento de desastres teve seu marco inicial com a Medida Provisória nº 547, de 11 de outubro de 2011. Essa medida estabeleceu que os municípios com áreas de crescimento urbano deveriam elaborar um plano de expansão, no qual deveria constar a “delimitação dos trechos com restrições à urbanização e dos trechos sujeitos a controle especial em função de ameaça de desastres naturais” (BRASIL, 2011).

Tal conteúdo, na sequência, foi incorporado à Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, com o objetivo de reduzir os riscos de desastre, exigindo dos municípios a elaboração de mapeamentos de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações e de outros desastres naturais (BRASIL, 2012a). Portanto, essa lei demanda que sejam consideradas as áreas de risco de desastre na elaboração

do Plano Diretor do Município. Dessa forma, é imprescindível que mantenham atualizados seus bancos de dados, realizem mapeamentos contínuos das regiões propensas a inundações, conduzam estudos aprofundados para identificar as áreas de risco e perigo e, em seguida, adotem medidas proativas para a redução de desastres.

Na cidade de Guarapuava (PR), de acordo com a Defesa Civil do Paraná (2023), no período entre 1992 e 2023 foram registradas 31 ocorrências de desastres associados a inundações, que afetaram 175.792 pessoas. Segundo Vestena, Almeida e Geffer (2020), os bairros mais atingidos na cidade são Primavera, Industrial, Vila Carli, Jardim das Américas, Cascavel e Vila Bela, principalmente em razão de ocupações em áreas ribeirinhas nas planícies de inundação do Rio Cascavel, sujeitas às inundações.

Diante da necessidade de maior compreensão sobre o risco de desastres associados a inundações, duas áreas na cidade de Guarapuava, que demandam atenção especial, foram selecionadas para a investigação. A dinâmica espacial de uso e ocupação do solo nessas regiões foi analisada com o objetivo de fornecer dados e subsídios à gestão municipal, especialmente para a fiscalização e o disciplinamento do uso do solo.

Embora o município de Guarapuava possua um Plano Municipal de Drenagem (PMG, 2021), além de leis de zoneamento urbano, as propostas contidas nesses instrumentos são limitadas e se mostram insuficientes diante da rápida e desordenada urbanização em áreas suscetíveis a inundações. Essa expansão supera muitas vezes a capacidade de monitoramento e fiscalização dos órgãos competentes, como se observa na crescente construção de moradias em regiões que deveriam ser protegidas, por sua sensibilidade hídrica, e destinadas às Áreas de Preservação Permanente (APP).

Ainda é possível notar, no município investigado, que a ocupação irregular ocorreu nos chamados “vazios urbanos” subutilizados próximos às margens dos rios. Com o crescimento desordenado da ocupação e a inserção de novos loteamentos, exige-se do sistema de drenagem uma capacidade para a qual não foi projetado, o que agrava ainda mais os desafios de planejamento urbano e de gestão de risco de desastre em Guarapuava, no estado do Paraná.

Este trabalho busca preencher a lacuna de mapeamento e monitoramento do uso e da ocupação do solo e propor alternativas metodológicas, que possam ser extrapoladas para outras comunidades, para observar a cobertura do solo.

A caracterização do risco de desastres associados à inundação é um processo importante no gerenciamento desses eventos, pois a identificação das características socioambientais traz subsídios ao planejamento. Conforme salienta Smith (2018, p. 45), “a identificação precoce de áreas de risco é crucial para implementar medidas preventivas e garantir a segurança das comunidades afetadas”.

A utilização de imagens de satélites disponibilizadas gratuitamente é um importante recurso na identificação da cobertura do solo e de infraestruturas instaladas em áreas de perigo de desastres ou com restrições de uso; contudo, em função da rapidez e da dinâmica ocupacional, apresenta limitações ao monitoramento. Já a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs), também conhecidos como *drones*, permite a construção de mapas de cobertura do solo em alta resolução e o monitoramento de alterações em pequenos intervalos de tempo. Isso permite a tomada de decisões mais eficientes e ágeis por parte dos órgãos fiscalizadores. O uso de VANTs tem emergido como uma ferramenta eficiente na identificação e na análise de risco de desastre em áreas suscetíveis a enxurradas, alagamentos e inundações.

Os gestores podem utilizar essas ferramentas no mapeamento das áreas de perigo e com risco de desastre, pois a combinação de dados obtidos por diferentes fontes, incluindo VANTs e imagens de satélite, é essencial para uma compreensão abrangente das condições ambientais (SMITH, 2018, p. 67), assim como em estudos comparativos da dinâmica temporal e espacial de áreas de perigo de inundação.

Nesse sentido, este trabalho apresenta os resultados obtidos de estudo que investigou a dinâmica temporoespacial de uso da terra em áreas críticas de perigo de inundação na cidade de Guarapuava (PR) nos meses de abril e novembro de 2023, utilizando-se de imagens de satélite disponíveis no Google Earth e de sobrevoo adquiridas com VANT.

MATERIAIS E MÉTODOS

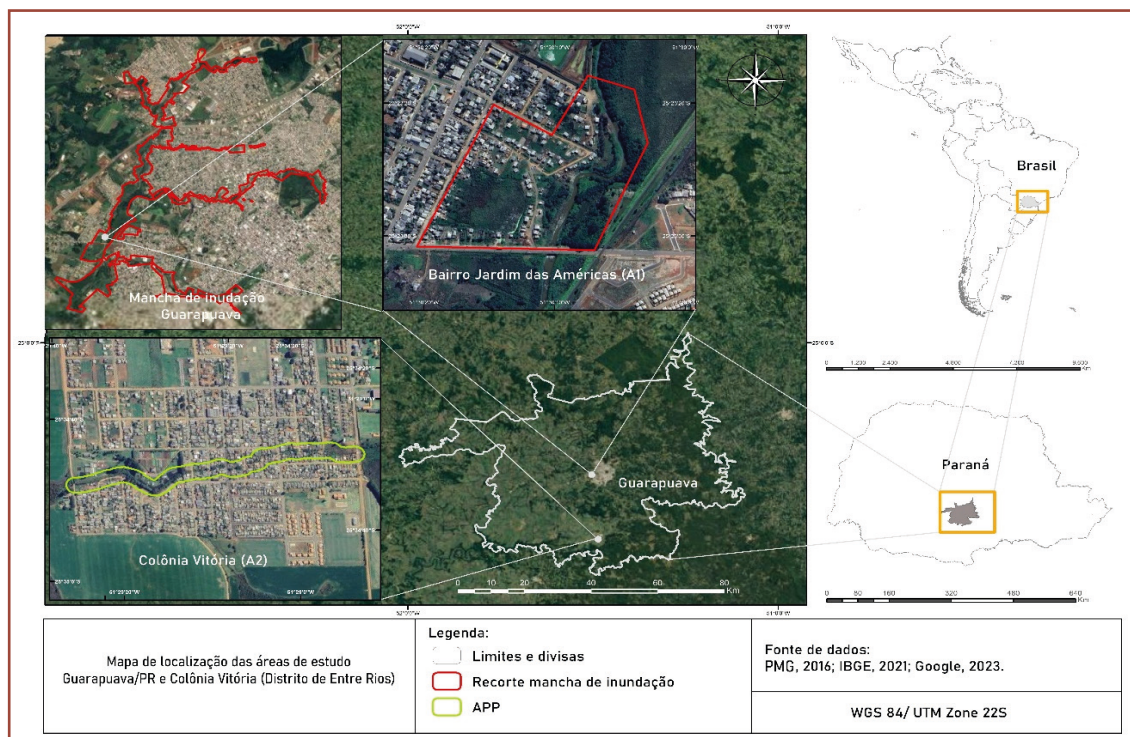
Áreas de estudo

O estudo foi desenvolvido na cidade de Guarapuava (PR), em duas áreas que requerem atenção a desastres associados à inundação. A primeira área (A1), em mancha de inundação localizada no bairro Jardim das Américas, com um tamanho de 12,32 ha, situada na planície de inundação do Rio Cascavel (Figura 1). E uma segunda área (A2), localizada na Colônia Vitória, distrito de Entre Rios, Área de Preservação Permanente (APP), com

extensão de 6,53 ha, associada ao Rio Pioko, um afluente da Bacia do Rio Jordão (Figura 1).

O município de Guarapuava está situado na Região Centro-Sul do estado do Paraná e possui 190.342 habitantes, com densidade demográfica de 57,48 hab/km² (IBGE, 2022).

Figura 1 – Mapa de localização das áreas de estudo



Fonte: Elaborado com base em PMG (2016), IBGE (2022) e Google Earth (2023a, 2023b).

A distribuição espacial da pobreza em Guarapuava reflete as características típicas da urbanização em países subdesenvolvidos, em que uma parcela significativa da população pobre se concentra nas áreas periféricas (LIMA, 2013). O bairro Jardim das Américas, localizado na porção oeste da área urbana do município, e a “Vila dos Brasileiros”, no distrito de Entre Rios, exemplificam essa dinâmica, uma vez que são ocupados em sua maioria por pessoas pobres, com baixo poder aquisitivo.

Segundo Gomes (2010), Jardim das Américas (A1) concentra um grande número de pessoas em situação de pobreza, com baixa escolaridade e, em grande parte, empregadas em subempregos, com salários muito abaixo da média municipal, como na coleta de resíduos sólidos recicláveis. De acordo com Lima (2013), o preço mais acessível da terra, em comparação com outros bairros, é o fator principal que levou as pessoas a se fixarem nessa área periférica da cidade. Há ainda nessa região a presença de “banhados”, solos hidromórficos

e turfas, características que têm implicações para o planejamento urbano e a gestão de riscos, especialmente em relação a inundações, já que influenciam a dinâmica hidrológica e são áreas hidrológicamente sensíveis.

A segunda área (A2) está situada na Colônia Vitória, distrito de Entre Rios, ocupada, em parte, por pessoas de baixa renda – assalariadas da Cooperativa Agrária Agroindustrial – e, principalmente, por pessoas em situação de pobreza. O distrito de Entre Rios é composto por cinco núcleos urbanos, povoados por um grupo de descendentes de comunidades alemãs, os suábios do Danúbio, que estavam refugiados na Áustria desde o final da Segunda Guerra Mundial e migraram para o Brasil (ELFES, 1971). Na Colônia Vitória, existe uma distinção entre a área habitada por descendentes alemães, conhecida como “Vila dos Alemães”, e a região habitada predominantemente por brasileiros, a denominada “Vila dos Brasileiros” (STEFENON; SILVA, 2005). Esta última abriga o recorte espacial do estudo, definido a partir da APP atrelada ao Rio Pioko.

A ocupação dessas áreas expõe sua população a uma situação de vulnerabilidade socioambiental, na qual, enquanto os indivíduos contribuem direta e indiretamente para a degradação ambiental, enfrentam condições precárias de vida e de moradia, além de estarem expostos a eventos hidrometeorológicos extremos. Essa realidade resulta em uma capacidade reduzida de resiliência diante das adversidades de eventos de inundação.

Dados cartográficos

Os dados cartográficos utilizados foram arquivos *shapefile* da área de mancha de inundação extrema da cidade (porção do bairro Jardim das Américas) (A1) e *buffer* de 30 metros da APP do Rio Pioko, na Colônia Vitória (A2), que foram elaborados e cedidos pela Prefeitura Municipal de Guarapuava (PMG, 2016, 2021). Demais arquivos referentes às divisões territoriais (América Latina, Brasil, estado do Paraná, município de Guarapuava) foram obtidos em formato *shapefile* da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do mapeamento atualizado, realizado no ano de 2021.

No processo de identificação visual de edificações, foram utilizadas duas imagens captadas por métodos diferentes. Primeiramente, foram obtidas imagens de satélite disponíveis no Google Earth, com resolução de 12 metros, sendo que, no momento da aquisição dos dados, o *software* datou as imagens mais recentes para o mês de abril de 2023. Adicionalmente, foi gerado um ortomosaico, com resolução de 22 centímetros, a partir de um levanta-

tamento aerofotogramétrico com VANT, realizado em novembro de 2023, a 80 metros de altura, nos dois recortes espaciais de estudo.

Modelos Digitais do Terreno (MDT) do satélite ALOS PALSAR, com resolução de 12,5 metros, também foram utilizados no formato TIFF para definição das áreas de contribuição.

Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos consistiram-se no mapeamento de uso e cobertura da terra em dois períodos temporais, em abril e em novembro de 2023; e na sobreposição cartográfica, utilizando-se o *software* QGIS.

Esses mapeamentos foram realizados por meio de interpretação visual das imagens obtidas na plataforma do Google Earth (abril/2023) e em voo com VANT (novembro/2023). O mapeamento consistiu na geração manual dos arquivos *shapefiles* para as seguintes classes de cobertura da terra: “edificações” e “arruamento”. O Quadro 1, a seguir, demonstra a comparação metodológica entre a obtenção das imagens com VANT e as imagens de satélite do Google Earth para a identificação de edificações, destacando as principais características de cada uma das fontes.

Quadro 1 – Principais características das fontes de dados de imagens obtidas com VANT e do Google Earth

| Crítérios | Imagens obtidas com VANT | Imagens do Google Earth |
|-----------------------------------|---|--|
| Resolução espacial | 22 centímetros | 12 metros |
| Atualização de imagens | Pode ser programada de acordo com condições meteorológicas favoráveis | É variável, dependendo do local e do tipo de coleta (a atualização da plataforma pode ser realizada com imagens obtidas ao longo de dias ou meses) |
| Custo | Necessidade de equipamento, custo da operação e processamento | Gratuito ou de baixo custo, acessível |
| Necessidade de equipe qualificada | Requer pessoal treinado para operação e interpretação dos dados | Facilidade de uso, não exige habilidades técnicas avançadas |
| Área de cobertura | Limitada, podendo exigir múltiplos voos | Cobertura global, abrangendo diversas regiões |
| Aplicações de alta precisão | Alta precisão para análises detalhadas | Limitações na resolução para aplicações que exigem detalhes |
| Disponibilidade | Depende do planejamento de voos e idas a campo | Acesso rápido e imediato às imagens |

Fonte: elaboração própria.

A maior limitação no mapeamento utilizando imagens disponibilizadas no Google Earth foi a resolução espacial, que dificulta a diferenciação dos telhados das residências que se encontram muito próximas, o que levou à construção de polígonos que agruparam, por vezes, mais de uma residência (Figura 2 e Figura 3).

Apesar das limitações, optou-se por utilizar as imagens para evidenciar, sobretudo, as edificações que foram adicionadas e/ou suprimidas. Destaca-se então a potencialidade de usar essas imagens para identificar alterações no contexto temporoespacial da ocupação das áreas por edificações.

Figura 2 – Imagem obtida com VANT **Figura 3** – Imagem do Google Earth



Fonte: VANT (2023a).

Fonte: Google Earth (2023a).

Dessa forma, para a identificação espacial de áreas edificadas que foram suprimidas e/ou adicionadas ao longo do período, realizou-se a sobreposição dos mapeamentos referentes aos diferentes períodos, adotando um padrão de hachura para representar o mês de abril de 2023 e uma cor sólida para o mês de novembro do mesmo ano. A fim de quantificar as mudanças na paisagem, realizou-se o cálculo das áreas correspondentes a cada uma das classes de cobertura do solo. Assim, foram determinadas as áreas totais ocupadas por edificações e arruamentos e, com base nesses valores, a extensão da área impermeabilizada.

A obtenção da área de contribuição nas áreas de estudo deu-se através da utilização de dados de MDT do satélite ALOS PALSAR, por meio de modelagem em Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o intuito de identificar e delimitar as regiões que contribuem para o escoamento de água nas áreas de investigação.

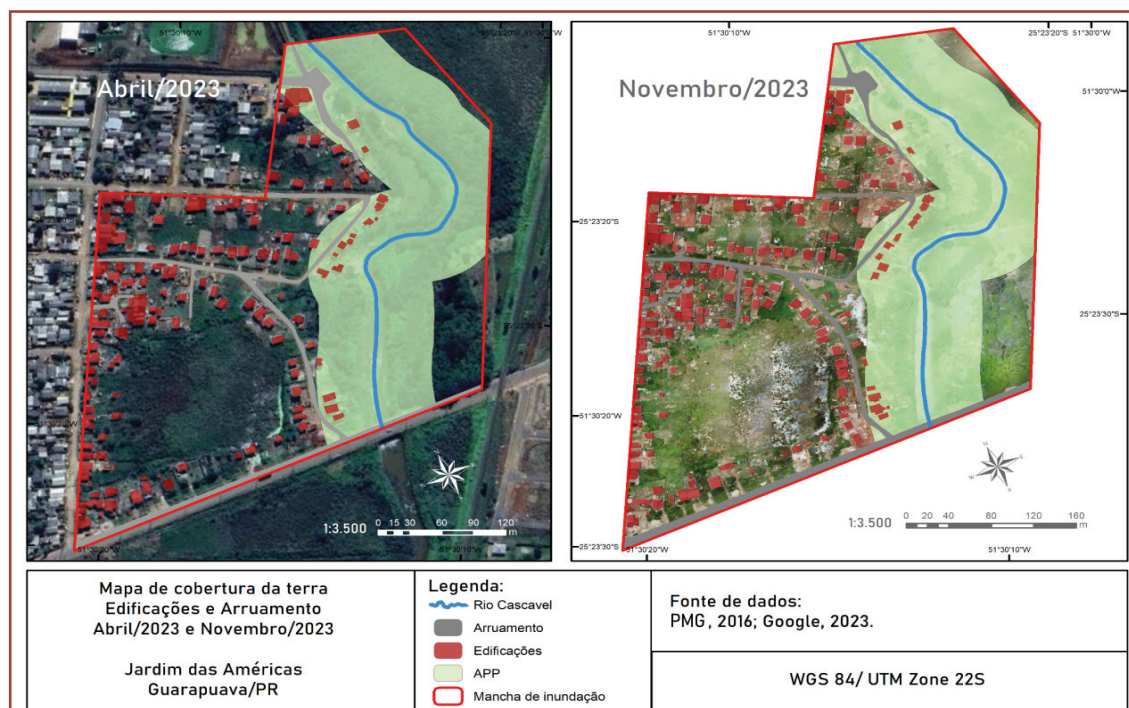
Além disso, trabalhos de campo foram conduzidos em ambos os recortes temporais de estudo, visando à coleta de informações sobre as características socioambientais, bem como à observação dos processos naturais e

das atividades humanas. Adicionalmente, foram efetuados registros fotográficos como parte integrante das atividades de campo para caracterização das áreas de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira área (A1), foram identificadas 148 edificações em abril de 2023 e 176 em novembro do mesmo ano, sinalizando um aumento de 28 construções no recorte temporal de seis meses. Na Figura 4, constam as edificações mapeadas em A1, no bairro Jardim das Américas, em que, dos 38,18% da área total, 4,70 ha correspondem à APP do Rio Cascavel.

Figura 4 – Mapeamento de edificações e arruamentos em abril/2023 e em novembro/2023 no recorte de estudo A1



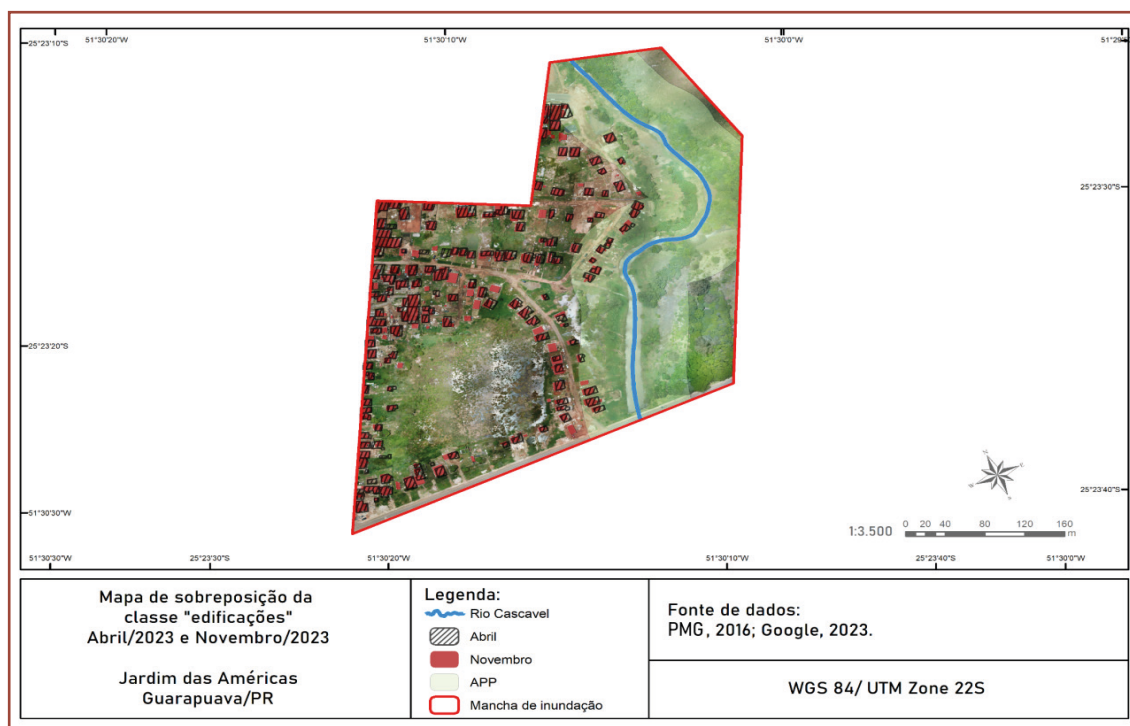
Fonte: Elaborado com base em PMG (2016) e Google Earth (2023a, 2023b).

Com relação ao total de área construída, no mapeamento do mês de abril, identificou-se uma área de 0,96 ha, enquanto no de novembro, 0,95 ha. Percebeu-se uma diminuição na área construída quando comparados os dois mapeamentos, mesmo com o aumento no número de polígonos mapeados. Isso pode estar relacionado à resolução espacial ou à qualidade da imagem utilizada, visto que as imagens obtidas com VANT, em novembro, apresentam uma resolução espacial superior às imagens obtidas no Google Earth, em abril. Quanto maior a resolução espacial, maior o nível de detalhe no mapeamento.

A soma das áreas de edificações e arruamentos, em abril, foi de 1,55 ha, enquanto em novembro, de 1,60 ha. Isso indica um acréscimo de 3,23%, ou seja, de 0,05 ha (403,81 m²). Os dados do mapeamento indicaram que 13% da região A1, em novembro, estava impermeabilizada por construções e/ou arruamentos.

Na Figura 5, observa-se que houve incremento nas residências mapeadas em novembro de 2023, quando comparado ao mapeamento de abril. Isso aponta para uma intensificação e expansão urbana. Além disso, o método de mapeamento com VANT, realizado em novembro, tem precisão e resolução maior, o que pode ter impactado na identificação das edificações. Contudo, apesar das limitações, ele é indicativo dos locais onde foram construídas novas edificações e que precisam ser averiguadas com maior atenção pelo poder público municipal.

Figura 5 – Mapa de sobreposição da classe de uso da terra “edificações” em abril/2023 e em novembro/2023 no recorte de estudo A1



Fonte: Elaborado com base em PMG (2016) e Google Earth (2023a, 2023b).

A maioria das habitações na A1 é de madeira e palafita (Figura 6 e Figura 7). A escolha por esta última forma de construção é motivada pelo objetivo de minimizar os impactos dos frequentes eventos de inundação que ocorrem na área. Na Figura 7, é possível observar área aterrada com resíduos sólidos de construções. Trata-se de uma prática comum dos habitantes locais

na A1, para aumentar a altitude e cobrir a parte úmida do terreno, uma vez que essa região é constituída por áreas turfosas permanentemente saturadas. Esse tipo de aterramento possibilita aos moradores a construção, de maneira irregular, de moradias sobre o terreno, mesmo em área que, segundo o Plano Diretor da Cidade (PMG, 2016), é considerada inapropriada para loteamento e construção.

Figura 6 – Edificação na mancha de inundação (bairro Jardim das Américas)



Fonte: acervo dos autores (2023).

Figura 7 – Aterramento para construção em área de perigo de inundação



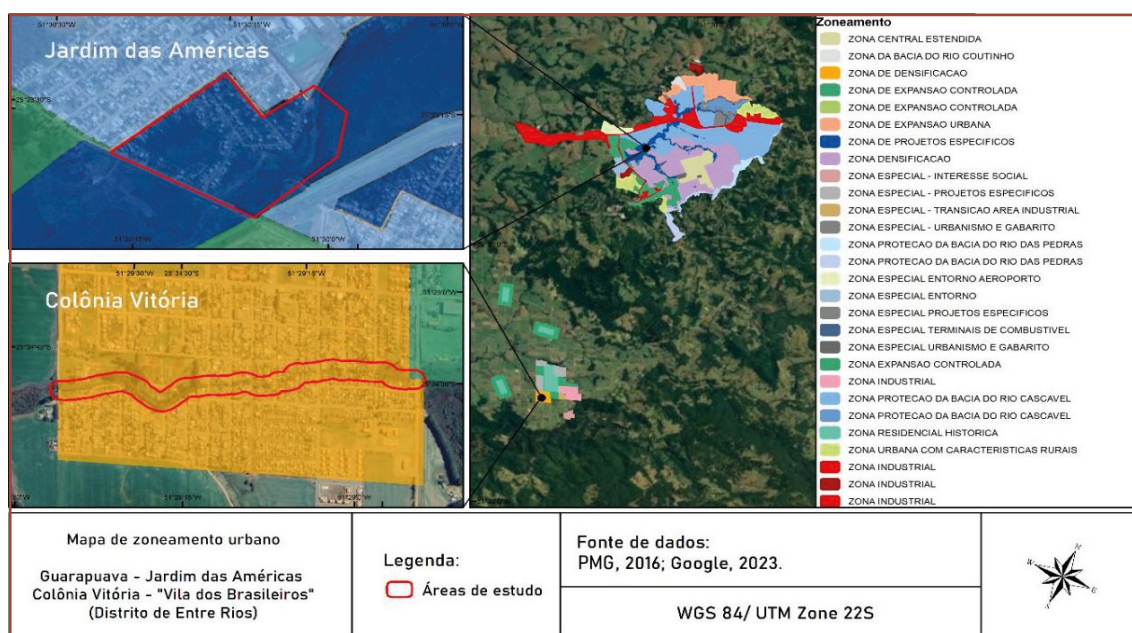
Fonte: acervo dos autores (2023).

Em campo, observou-se que, devido à proibição e à restrição para construção de moradias nesses lugares, os moradores recorrem a práticas inadequadas para obtenção de água e eletricidade, como a instalação de fios (“gatos”) em locais impróprios, que muitas vezes expõem os moradores a riscos – pela falta de saneamento básico – e a acidentes.

Nesse contexto, além das ocupações irregulares e das condições estruturais inadequadas de edificações, a ausência de saneamento básico aumenta a vulnerabilidade dos moradores a desastres. Saneamento básico envolve um conjunto de serviços essenciais, como abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais – todos esses serviços são praticamente inexistentes nessas áreas. A falta dessas infraestruturas urbanas tem como consequência a poluição do solo e da água, causada pelo armazenamento inadequado de materiais recicláveis próximo às residências, pelo lixo espalhado nas ruas e nas margens dos rios, que dificultam o fluxo da água, e também pelo esgoto que é despejado diretamente nos cursos d’água.

Essa área é delimitada pela Prefeitura Municipal de Guarapuava como sujeita à inundação do Rio Cascavel, fazendo parte da Zona Especial - Projetos Específicos (Figura 8), estabelecida por meio da Lei Complementar nº 69/2016 (GUARAPUAVA, 2016). Essa legislação orienta a implementação de parques lineares em áreas que correm risco de inundação, conforme previsto pelo Conselho do Plano Diretor de Guarapuava (Concidade).

Figura 8 – Mapa de zoneamento urbano do município de Guarapuava

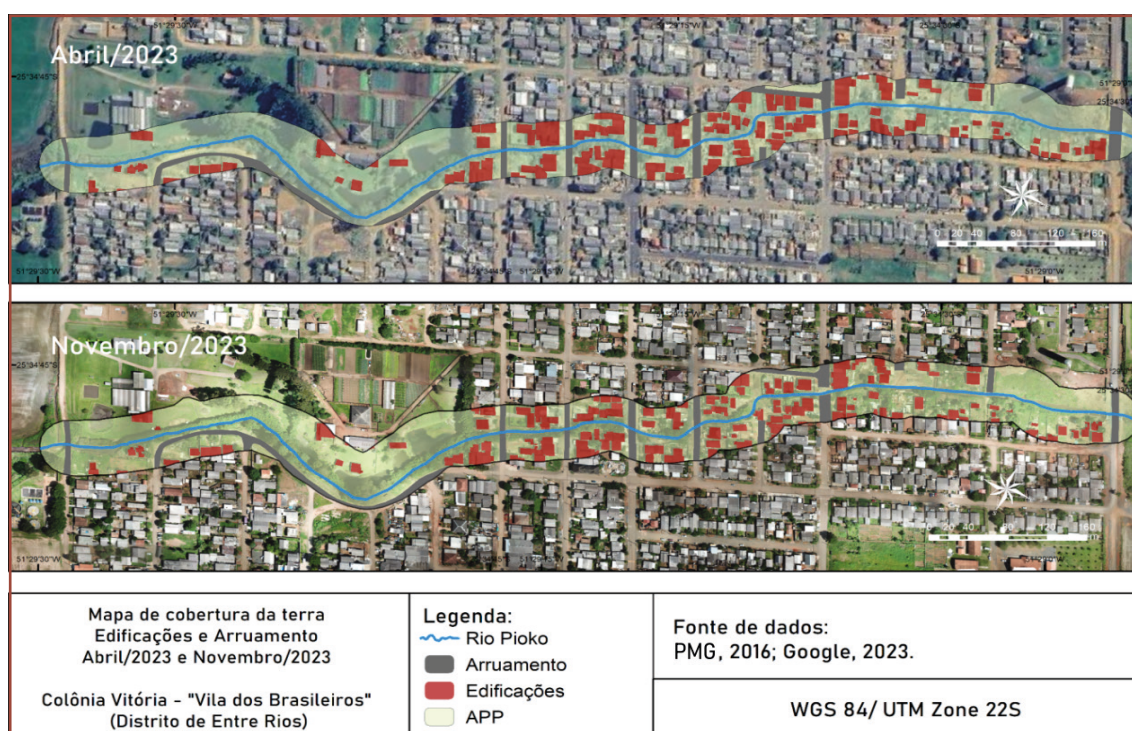


Fonte: Elaborado com base em PMG (2016) e Google Earth (2023a, 2023b).

O disciplinamento do uso e da ocupação do solo na A1 se fundamenta na necessidade de mitigar os potenciais danos associados às inundações. A proposição da implementação do parque linear e da realocação das pessoas que atualmente residem nessa área pode garantir a segurança da população diante das condições de perigo e de vulnerabilidade existentes.

Na segunda área (A2), foram mapeadas 111 edificações em abril de 2023 e 122 em novembro do mesmo ano, representando um aumento de 11 edificações no período (Figura 9). Cabe ressaltar que o acréscimo no número de edificações amplia o risco de desastres, uma vez que mais pessoas passam a ficar expostas ao perigo. Isso destaca a ineficácia das ações existentes atualmente para modificar a realidade e também a necessidade da implementação de medidas mais abrangentes e efetivas por parte dos órgãos competentes, para que o número de indivíduos expostos diminua nesses locais – ao invés de aumentar –, gerando uma redução do risco de desastres.

Figura 9 – Mapeamento de edificações e arruamentos em abril/2023 e em novembro/2023 no recorte de estudo A2



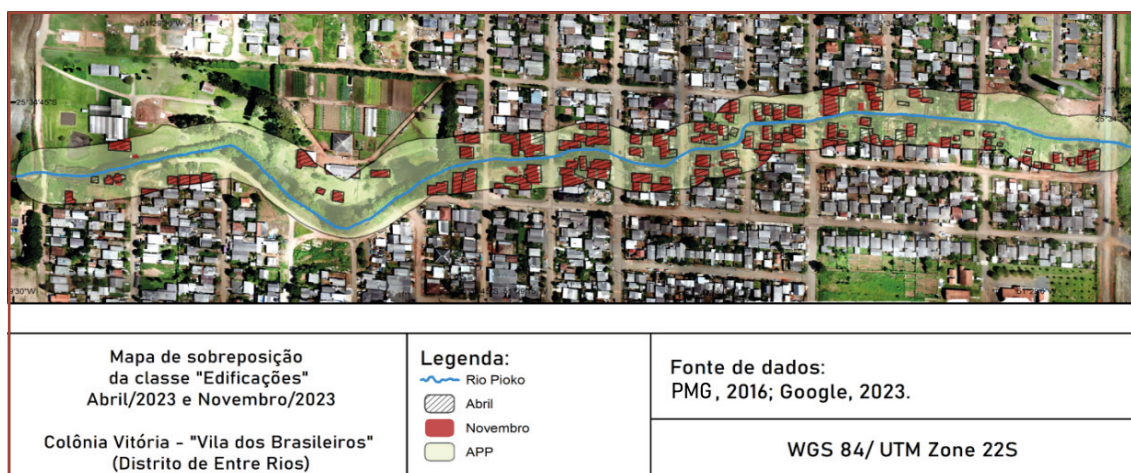
Fonte: Elaborado com base em PMG (2016) e Google Earth (2023a, 2023b).

Com relação ao total de área construída, o primeiro mapeamento, de abril, apresentou uma área construída de 1,28 ha, enquanto o segundo, de novembro, de 1,06 ha. Assim como na A1, na A2 houve uma diminuição na área construída, fato que pode estar relacionado, como já citado, à resolu-

ção e às escalas das imagens utilizadas. Portanto, destaca-se novamente que imagens obtidas com VANT são mais precisas do que as disponibilizadas no Google Earth, as quais devem ser tomadas apenas como indicativas.

As áreas com edificações e arruamentos em abril eram de 1,78 ha, enquanto em novembro somavam 1,65 ha, indicando um decréscimo de 0,13 ha (1.358 m²). A área total mapeada no segundo recorte mostra que cerca de 25% da APP estava impermeabilizada por construções e/ou arruamentos, região essa que deveria estar preservada. Na Figura 10, tem-se a sobreposição das residências/edificações mapeadas nos dois recortes temporais, com um incremento, do primeiro para o segundo, no número das edificações mapeadas.

Figura 10 – Mapa de sobreposição da classe de uso da terra “edificações” em abril/2023 e em novembro/2023 no recorte de estudo A2



Fonte: Elaborado com base em PMG (2016) e Google Earth (2023a, 2023b).

Na Figura 11, é possível observar uma ponte de madeira provisória construída pelos moradores locais para o atravessamento de pedestres, o que ocorreu após a destruição de uma ponte existente por uma inundação. Além disso, pode-se perceber que as edificações estão situadas muito próximas ao canal fluvial, o que aumenta a probabilidade de serem afetadas por inundações durante eventos adversos.

Na região A2, também foi constatada a prática de aterramento de solos úmidos para a construção de casas ou ruas. Nota-se a presença de infraestrutura de drenagem urbana, como manilhas para o escoamento da água (Figura 12), bueiros e vãos de pontes em ruas que atravessam cursos de água, o que pode impedir o fluxo de vazões e potencializar o represamento de água em determinados pontos durante picos de vazão.

Figura 11 – Ponte de atravessamento no Rio Pioko (Vila dos Brasileiros)



Fonte: acervo dos autores (2023).

Figura 12 – Manilha de drenagem em APP (Vila dos Brasileiros)



Fonte: acervo dos autores (2023).

Consta na Lei Complementar nº 69/2016, que dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo das áreas urbanas do município de Guarapuava (conforme mapa já mostrado na Figura 8), que a área relativa à Vila dos Brasileiros está inserida na Zona de Densificação, e esta é definida como:

Art. 17 - Zona de Densificação - ZD é aquela onde as condições do meio físico, a disponibilidade ou a proximidade de infraestrutura e a necessidade de diversificação e intensificação de uso possibilitam um adensamento maior do que em outras zonas (GUARAPUAVA, 2014).

Essa área é também compreendida pela Zona Especial da área de entorno do Aeroporto da Colônia Vitória (GUARAPUAVA, 2014). A normativa que rege o uso e a ocupação nesse local se refere à permissividade de uso do solo por residências unifamiliares e também à construção de reservatórios de água, cemitérios, praças, parques, áreas verdes, campos de esporte ou afins. Além disso, alguns usos podem ser permitidos por meio de análise prévia do Concelho, como os usos residenciais coletivos, comerciais, de serviços, industriais, culturais, educacionais, religiosos e de saúde, desde que não afetem o funcionamento do aeroporto próximo e não causem interferência no pouso e na decolagem das aeronaves.

Conforme estabelecido pelo Novo Código Florestal, em relação às APP em regiões urbanas consolidadas, os conselhos municipais de meio ambiente devem estabelecer as faixas marginais onde não é permitida a ocupação de áreas com risco de desastres. Somente é admitida a instalação de empreendimentos e atividades que atendam interesse social, utilidade pública ou que tenham baixo impacto ambiental (BRASIL, 2012b). Dessa forma, a legislação municipal de Guarapuava (Lei Complementar nº 69/2016) deve prever parâmetros mais restritivos quanto ao uso e à ocupação do solo nessa região, principalmente por se tratar de uma área com alto risco de desastre associado à inundação.

Para compreender integralmente a dinâmica hidrológica nas áreas em estudo, é crucial realizar análises que vão além do mapeamento do uso da terra, investigando a influência hidrológica na bacia hidrográfica. Uma dessas análises é o mapeamento da área de contribuição hidrológica. No recorte A1, essa área de contribuição é de 5.468,06 ha, com uso e cobertura do solo predominantemente urbanos e solos impermeabilizados.

A impermeabilização do solo constitui-se como um dos principais fatores contribuintes para um hidrograma com picos de vazão mais intensos, potencializando vazões máximas e mínimas. Esse cenário se torna mais evidente durante eventos de precipitação intensa, que levam ao aumento significativo do escoamento superficial e à potencialização dos picos máximos de vazão do rio, podendo estes serem, em média, duas vezes maiores na área quando comparados com picos de áreas rurais na cidade de Guarapuava (OLIVEIRA, 2011; GOMES, 2014). Esses fenômenos estão diretamente associados às ocorrências de inundações em áreas urbanas (TUCCI, 2005).

Durante levantamentos de campo na A1, foi constatada a presença de linha férrea em proximidade direta ao rio. Entre outros fatores, isso pode resultar em restrições ao fluxo hídrico durante fortes chuvas, ou seja, poderá

atuar como barreira ao fluxo da água, favorecendo assim um eventual transbordamento dela para as margens do Rio Cascavel.

Já a área de contribuição hidrológica na A2 estende-se por 369,32 ha do território da Colônia Vitória, a montante do Rio Pioko. Por estar em um contexto próximo ao rural, o uso da terra nessa região é dividido entre áreas urbanizadas e áreas voltadas para agricultura intensiva. O predomínio de uso agrícola na área de contribuição A2 possibilita resposta hidrológica mais lenta no regime fluvial do que em áreas com uso urbano. O uso intensivo da terra para agricultura, especialmente a de maquinário pesado, pode levar à compactação do solo, o que reduz a sua capacidade de absorção de água, aumentando o escoamento superficial (ALMEIDA *et al.*, 2016; QUIJANO; KUHN; NAVAS, 2020).

Dessa forma, essas práticas de uso e cobertura da terra podem contribuir para alterar o ciclo hidrológico natural de uma região, aumentando o perigo de inundações, pois a capacidade do solo de armazenar e absorver água é reduzida. Importante destacar que também são áreas que requerem atenção quanto ao planejamento do disciplinamento dos tipos de uso do solo, para que não venham a ser totalmente impermeabilizadas, potencializando, assim, o risco de desastres associados a inundações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocupação de áreas de perigo de inundação aumenta o risco de desastre, assim como a impermeabilização do solo na área de contribuição pode potencializar essa ameaça.

As duas regiões estudadas, no município de Guarapuava, que demandam atenção especial em função da ocorrência de desastre associado à inundação, apresentaram áreas impermeáveis por edificações e vias. Elas deveriam ser preservadas, pois são áreas sujeitas a inundações recorrentes, hidrológicamente sensíveis e destinadas à Área de Preservação Permanente (APP) dos rios Cascavel e Pioko. Em ambos os espaços, foram constatadas edificações próximas ao canal fluvial, expondo a população a uma situação de vulnerabilidade socioambiental. Além de estarem sujeitas a riscos de eventos hidrológicos extremos, essas áreas carecem, principalmente, de infraestrutura de saneamento básico, o que agrava as condições de vida e de moradia dos habitantes, que são precárias. Simultaneamente, essa ocupação contribui direta e indiretamente para a degradação ambiental, especialmente do solo e da água.

Nesse contexto, a fiscalização e o disciplinamento do uso do solo, especialmente em locais de risco e nos “vazios urbanos”, tornam-se essenciais para evitar o avanço da degradação ambiental e a exposição da população a desastres.

Torna-se necessário que o poder público municipal implemente nesses espaços medidas, estruturais e não estruturais, que considerem, além dos aspectos técnicos, os fatores ambientais, sociais e econômicos. Entre essas ações, destacam-se: o disciplinamento do uso do solo em áreas sensíveis; a prevenção de parâmetros legais mais restritivos quanto ao uso e à ocupação de tais áreas – aliados ao Plano Diretor e ao Plano de Drenagem –; a fiscalização rigorosa, por parte da prefeitura municipal; e a criação de parques lineares e reservatórios/lagos de amortecimento de cheias, priorizando a preservação das APPs e a manutenção de espaços verdes na área de contribuição.

Essas medidas, embora tecnicamente viáveis e fundamentais, podem ter consequências sociais complexas, como a necessidade de evitar a ocupação irregular de regiões suscetíveis a inundações, tendo que realocar as populações já residentes nesses locais, garantindo qualidade de vida e mitigando os riscos de desastres.

A implementação dessas medidas exige disponibilidade de um corpo técnico qualificado, viabilidade política e recursos financeiros, o que muitas vezes torna o processo complexo e demorado. Diante das mudanças climáticas e da intensificação de eventos extremos, cabe então ao poder público municipal aprimorar os sistemas de monitoramento e alerta contra inundações. Paralelamente, é necessário avançar gradualmente na execução de ações que busquem reduzir os conflitos socioambientais nessas áreas de risco, promovendo a segurança e o bem-estar das populações afetadas, além de garantir a proteção do meio ambiente.

De acordo com os mapeamentos de uso e cobertura da terra de ambos os recortes temporoespaciais, notou-se um decréscimo nas áreas totais impermeabilizadas, em especial devido a uma melhor resolução espacial das imagens obtidas com o VANT, no segundo recorte, o que interfere na qualidade da interpretação e, portanto, no produto final. Para o mapeamento de abril, o primeiro recorte, no qual foi utilizada a imagem do Google Earth, identificou-se um menor número de residências e uma maior quantidade de áreas edificadas, o que pode ser atribuído à limitação da resolução espacial das imagens utilizadas, dificultando a distinção entre os telhados das residências que se encontram em proximidade, assim levando a uma generalização na identificação.

Por fim, conclui-se que o mapeamento e o monitoramento da dinâmica temporal e espacial de uso e cobertura da terra podem contribuir para a elaboração e o aprimoramento de métodos e medidas de planejamento e gestão dessas áreas de risco, ações fundamentais para a redução de danos decorrentes de desastres associados à inundação, na medida em que possibilitam procedimentos de fiscalização mais rápidos e eficientes em espaços com restrições de usos. Também geram conhecimento para a tomada de decisões, visando à diminuição da vulnerabilidade, da exposição de pessoas e da infraestrutura ao perigo. ●

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado aos autores, que contribuiu para o desenvolvimento deste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, W. S. de *et al.* Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1110-1119, set. 2016.

ASSEFA, T. H. Flood risk assessment in Ethiopia. **Civil and Environmental Research**, v. 10, n. 1, p. 35-40, 2018.

ATLAS DIGITAL DE DESASTRES NO BRASIL. **Mapa interativo**. 2023. Disponível em: <http://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/mapa-interativo.xhtml>. Acesso em: 4 jul. 2024.

BRASIL. Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 abr. 2012a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 4 jul. 2024.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 maio 2012b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 4 jul. 2024.

BRASIL. Medida Provisória n. 547, de 11 de outubro de 2011. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 out. 2011. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/mpv/547.htm. Acesso em: 4 jul. 2024.

BROWN, A. **Drones in disaster management: enhancing resilience and response**. Berlim: Springer, 2020.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres**: desastres naturais. Brasília: Imprensa Nacional, 1996.

DEFESA CIVIL DO PARANÁ. **Relatório de ocorrências**. 2023. Disponível em: https://www.sisd.c.pr.gov.br/sdc/publico/relatorios/ocorrencias_geral.jsp. Acesso em: 4 jul. 2024.

ELFES, A. **Suábios no Paraná**. Curitiba: [s.n.], 1971.

EM-DAT. Emergency Event Database. **2022: disasters in numbers**. 2023a. Disponível em: https://www.cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT_report.pdf. Acesso em: 4 jul. 2024.

EM-DAT. Emergency Event Database. **EM-DAT focuses on major disasters**. 2023b. Disponível em: <https://www.emdat.be>. Acesso em: 4 jul. 2024.

FENG, B.; ZHANG, Y.; BOURKE, R. Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. **Natural Hazards**, v. 106, n. 1, p. 613-627, mar. 2021.

GOMES, E. de S. **A dinâmica hidrológica fluvial em bacias hidrográficas com diferentes taxas de impermeabilização do solo em Guarapuava/PR**. 2014. 171 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2014.

GOMES, M. de F. V. B. Desigualdade socioambiental no espaço urbano de Guarapuava. **RA'EGA – O Espaço Geográfico em Análise**, v. 20, p. 95-105, 2010.

GOOGLE EARTH. **Levantamento aerofotogramétrico**: bairro Jardim das Américas. Guarapuava, abr. 2023a. Fotografia aérea. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-25.39077858,-51.50395357,1012.07237001a,450.58110727d,35y,3.57261847h,0.19730365t,0r/data=OgMKATA>. Acesso em: 4 jul. 2024.

GOOGLE EARTH. **Levantamento aerofotogramétrico**: “Vila dos Brasileiros”, Colônia Vitória, Distrito de Entre Rios. Guarapuava, abr. 2023b. Fotografia aérea. Disponível em: <https://earth.google.com/web>. Acesso em: 4 jul. 2024.

GUARAPUAVA. Lei Complementar n. 38, de 30 de abril de 2013. Institui o Código Ambiental do Município de Guarapuava. Câmara Municipal de Guarapuava. **Boletim Oficial**. Guarapuava, 30 abr. 2013.

GUARAPUAVA. Lei Complementar n. 47, de 19 de agosto de 2014. Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação das áreas urbanas do Distrito de Entre Rios. Câmara Municipal de Guarapuava. **Boletim Oficial**. Guarapuava, 19 ago. 2014.

GUARAPUAVA. Lei Complementar n. 69, de 21 de dezembro de 2016. Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo, das áreas urbanas do Município de Guarapuava. Câmara Municipal de Guarapuava. **Boletim Oficial**. Guarapuava, 21 dez. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Organic Trading, 2006.

LIMA, L. de A. **Constituição do território a partir do movimento de trabalhadores do bairro Jardim das Américas – Guarapuava/PR**. 2013. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2013.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. São José dos Campos: Inpe, 2008.

NG, J. L. *et al.* Analysing the variability of non-stationary extreme rainfall events amidst climate change in East Malaysia. **AQUA: Water Infrastructure, Ecosystems and Society**, v. 73, n. 7, p. 1494-1509, 2024.

OLIVEIRA, E. D. de. **Impactos da urbanização na geometria hidráulica de canais fluviais da bacia hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava/PR**. 2011. 177 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2011.

PMG. Prefeitura Municipal de Guarapuava. **Plano Diretor 2016/2026**. Guarapuava, 2016. Disponível em: <https://concidade.guarapuava.pr.gov.br/concidade/pages/plano-diretor-home>. Acesso em: 4 jul. 2024.

PMG. Prefeitura Municipal de Guarapuava. **Plano Municipal de Drenagem: Produto 02 – Relatório Técnico I**. Guarapuava: Funpar, 2021. Disponível em: https://www.guarapuava.pr.gov.br/wp-content/uploads/2022/11/PRODUTO-02_Relat%C3%B3rio-T%C3%A9cnico-I-_Guarapuava.pdf. Acesso em: 4 jul. 2024.

QUIJANO, L.; KUHN, N. J.; NAVAS, A. Effects of interrill erosion on the distribution of soil organic and inorganic carbon in different sized particles of Mediterranean Calcisols. **Soil and Tillage Research**, v. 196, n. 104461, fev. 2020.

ROBAINA, L. E. de S.; OLIVEIRA, E. L. de A. Bases conceituais para o estudo de áreas de risco em ambientes urbanos. *In*: ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R. (org.). **Desastres naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2013. p. 24-35.

SANDINK, D. Urban Flooding, Homeowner Hazard Perceptions, and Climate Change. **Public Sector Digest**, Ontario, p. 35-39, jan. 2009.

SMITH, J. **Natural Disasters and Remote Sensing of the Environment**. Berlim: Springer, 2018.

STEFENON, D. L.; SILVA, M. da. Colônia Vitória - Guarapuava/PR: identidade e território. **Formação** (online), v. 2, n. 12, p. 73-85, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades; Global Water Partnership; World Bank; Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

VANT. Veículo Aéreo Não Tripulado. **Levantamento aerofotogramétrico**: bairro Jardim das Américas. Guarapuava, 10 nov. 2023a. Fotografia aérea.

VANT. Veículo Aéreo Não Tripulado. **Levantamento aerofotogramétrico**: "Vila dos Brasileiros", Colônia Vitória, Distrito de Entre Rios. Guarapuava, 1 dez. 2023b. Fotografia aérea.

VESTENA, L. R. **Desnaturalização dos desastres**: em busca de comunidades resilientes. Curitiba: CRV, 2017.

VESTENA, L. R.; ALMEIDA, D. E. F. de; GEFFER, E. Análise espacial e temporal da distribuição dos alagamentos e inundações na cidade de Guarapuava, Paraná. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 24923-24941, maio 2020.

XU, T. *et al.* Urban flooding resilience evaluation with coupled rainfall and flooding models: a small area in Kunming City, China as an example. **Water Science & Technology**, v. 87, n. 11, p. 2820-2839, 2023.

YANG, Q. *et al.* Research progress of urban floods under climate change and urbanization: a scientometric analysis. **Buildings**, v. 11, n. 628, 2021.

ZHANG, W. *et al.* Urbanization exacerbated the rainfall and flooding caused by hurricane Harvey in Houston. *Nature*, v. 563, n. 7731, p. 384-388, 2018.

CONTRIBUIÇÕES DE AUTORIA

Leandro Redin Vestena: Concepção e estruturação geral do artigo; definição dos materiais e métodos; revisão e refinamento geral da redação do artigo.

Rebeka Aparecida Almeida dos Santos: Redação da sessão de materiais e métodos; elaboração dos mapas e produtos cartográficos; desenvolvimento dos resultados e discussões; redação das conclusões.

Fabiula Eurich Machado: Redação da introdução; participação no desenvolvimento de matérias e métodos; elaboração de parte dos resultados e discussões; redação de parte das discussões e conclusões.

Jaime Frajuca Lopes: contribuição com parte da escrita da introdução e aplicação de métodos.

EDITOR DO ARTIGO

Cláudio Luiz Zanotelli.

Artigo recebido em: 18/07/2024

Artigo aprovado em: 07/11/2024

Artigo publicado em: 18/11/2024