

DESAFIOS DO PLANEJAMENTO URBANO FRENTE À CRISE CLIMÁTICA: ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO PARA CIDADES DO VALE DO TAQUARI - RIO GRANDE DO SUL (NATUREZA, CRISE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS)

Izabele Colusso

Universidade do Vale do Taquari (Univates) | izabele.colusso@univates.br

Marcelo Arioli Heck

Universidade do Vale do Taquari (Univates) | marcelo.heck@univates.br

Tassiele Francescon

Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Metropolitano (SEDUR) | tassiele-francescon@sedur.rs.gov.br

Josiane Scotton

Universidade do Vale do Taquari (Univates) | josiane.scotton@univates.br

Aline Scheibe

Universidade do Vale do Taquari (Univates) | aline.scheibe@univates.br

Sessão Temática 06: Natureza, crise ambiental e mudanças climáticas

Resumo: As enchentes recorrentes no sul do Brasil expõem a vulnerabilidade de áreas urbanas a desastres naturais, exigindo estratégias eficazes de gestão de riscos. Este estudo aborda a metodologia de mapeamento de áreas de risco em sete municípios do Vale do Taquari, no Rio Grande do Sul, região severamente impactada pelos eventos climáticos de 2023 e 2024. Destaca-se o caso do município de Arroio do Meio, onde bairros inteiros foram afetados e milhares de domicílios ficaram comprometidos. A pesquisa ressalta a importância da integração de dados ambientais, urbanos e sociais para a elaboração de políticas públicas de ordenamento territorial. Os resultados obtidos reforçam a relevância do zoneamento de risco para a revisão de planos diretores e o ordenamento territorial, contribuindo para a mitigação de desastres, a segurança da população e o planejamento urbano integrado. Esse processo busca oferecer uma base sólida que contribua para a prevenção e redução da vulnerabilidade a desastres, além de promover a resiliência das cidades afetadas.

Palavras-chave: Zoneamento de risco; Gestão de desastres; Planejamento territorial; Inundações.

URBAN PLANNING CHALLENGES FACING THE CLIMATE CRISIS: ZONING RISK AREAS FOR CITIES IN THE TAQUARI VALLEY - RIO GRANDE DO SUL

Abstract: The recurrent floods in southern Brazil expose the vulnerability of urban areas to natural disasters, requiring effective risk management strategies. This study addresses the methodology for mapping risk areas in seven municipalities in the Vale do Taquari, Rio Grande do Sul, a region severely impacted by the climatic events of 2023 and 2024. The case of Arroio do Meio is highlighted, where entire neighborhoods were affected and thousands of households were compromised. The research emphasizes the importance of integrating environmental, urban, and social data in the formulation of public policies for territorial planning. The results obtained reinforce the relevance of risk zoning for the revision of master plans and territorial planning, contributing to disaster mitigation, population safety, and integrated urban planning. This process seeks to provide a solid foundation that contributes to the prevention and reduction of vulnerability to disasters, as well as promoting the resilience of the affected cities.

Keywords: Risk zoning; Disaster management; Territorial planning; Floods

DESAFÍOS DE LA PLANIFICACIÓN URBANA FRENTE A LA CRISIS CLIMÁTICA: ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO PARA LAS CIUDADES DEL VALLE DEL TAQUARI - RIO GRANDE DO SUL

Resumen: Las inundaciones recurrentes en el sur de Brasil exponen la vulnerabilidad de las áreas urbanas a los desastres naturales, lo que requiere estrategias eficaces de gestión de riesgos. Este estudio aborda la metodología de mapeo de áreas de riesgo en siete municipios del Valle de Taquari, en Río Grande del Sur, región gravemente afectada por los eventos climáticos de 2023 y 2024. Se destaca el caso del municipio de Arroio do Meio, donde barrios enteros fueron afectados y miles de hogares quedaron comprometidos. La investigación resalta la importancia de integrar los datos ambientales, urbanos y sociales en la formulación de políticas públicas de ordenamiento territorial. Los resultados obtenidos refuerzan la relevancia del zonificado de riesgos para la revisión de los planes directores y el ordenamiento territorial, contribuyendo a la mitigación de desastres, la seguridad de la población y la planificación urbana integrada. Este proceso busca proporcionar una base sólida que contribuya a la prevención y reducción de la vulnerabilidad a los desastres, así como a promover la resiliencia de las ciudades afectadas.

Palabras clave: Zonificación de riesgos; Gestión de desastres; Planificación territorial; Inundaciones

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta o estudo e desenvolvimento da metodologia utilizada para o zoneamento das áreas de risco nas cidades do Vale do Taquari, localizado no Rio Grande do Sul, região fortemente impactada pelos eventos climáticos de setembro e novembro de 2023, além de maio de 2024.

O Corede¹ Vale do Taquari é composto por um conjunto de 36 municípios localizados na região central do Estado do Rio Grande do Sul, grande parte deles às margens do Rio Taquari. A história da região é marcada pela colonização de imigrantes alemães, italianos e açorianos no século XIX (AGOSTINI; GREVE, 2009). Geograficamente, o Vale do Taquari está situado a cerca de 117 km de Porto Alegre, na porção central do estado. A ocupação dessa área foi motivada, sobretudo, pela fertilidade de suas terras e pelas várzeas do Rio Taquari e de seus afluentes, que facilitaram tanto o escoamento da produção quanto a comunicação com a capital (AGOSTINI; GREVE, 2009).

Atualmente, o Vale do Taquari possui uma população de 352.797 habitantes, distribuída em uma área de aproximadamente 4.825,81 km² (IBGE, 2024a). Em 2021, o PIB per capita da região alcançou R\$49.496,39, enquanto o Produto Interno Bruto (PIB) superou R\$19 bilhões. Desse total, a indústria representava 33%, o setor de serviços 41%, a agropecuária 13% e a administração pública outros 13% (RIO GRANDE DO SUL, 2021).

No contexto dos recentes eventos climáticos, dados do último Boletim da Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul apontam que 478 municípios foram afetados em maio de 2024 (RIO GRANDE DO SUL, 2024). No Vale do Taquari, Arroio do Meio, Colinas, Cruzeiro do Sul, Encantado, Estrela, Muçum e Roca Sales são os municípios que compõem este estudo, onde bairros inteiros foram arrasados e residências foram destruídas pela chuva e pela força da enxurrada.

Em números, no Município de Arroio do Meio, 48,2% da população foi afetada, resultando no comprometimento de 6.066 endereços, o que representa 51,6% do total de endereços do Município. Em Colinas, 49,6% dos habitantes foram impactados, afetando 667 endereços (MUP RS²). Cruzeiro do Sul teve bairros inteiros devastados, como Passo de Estrela, onde a maior parte das residências foram destruídas; neste município 41,4% da população local foi atingida, somando um total de 3.010 endereços atingidos. Já em Encantado, 35,1% da população sofreu com as enchentes, com um total de 4.309 endereços afetados. Em Estrela, 37,5% da população foi impactada, com 6.814 endereços atingidos, enquanto em Roca Sales 54,5% dos habitantes foram afetados, comprometendo

3.221 endereços. Por fim, destaca-se a cidade de Muçum que registrou graves danos, com 79,1% da população atingida, contabilizando 2.199 endereços (MUP RS).

Diante dos desastres ocorridos, nota-se que uma grande parte das áreas urbanas consolidadas dos municípios do Vale do Taquari foi afetada, tornando indispensável a reavaliação de seu zoneamento urbano. Nesse contexto, o mapeamento das áreas de risco, juntamente com estudos para identificar ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidades e riscos, torna-se um instrumento essencial para a prevenção e mitigação de desastres. Essas ações são de responsabilidade conjunta de todos os entes federativos: União, estados, Distrito Federal e municípios (BRASIL, 2012).

Em cumprimento a suas atribuições, o Governo do Estado do Rio Grande do Sul, deu início a um estudo e mapeamento das áreas de risco nos municípios do Vale do Taquari, oferecendo assessoria técnica e metodológica para a elaboração do Plano de Reconstrução e a revisão dos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano (PDDUs) de sete municípios: Arroio do Meio, Colinas, Cruzeiro do Sul, Encantado, Estrela, Muçum e Roca Sales (RIO GRANDE DO SUL, 2024).

Para o mapeamento das áreas de risco no contexto das cidades, é essencial abordar as questões ambientais, urbanas e sociais de forma integrada para entender a realidade de cada município, bem como da região, pois é na análise do espectro do direito à cidade que as ocupações humanas em áreas de risco – áreas sujeitas a enchentes, inundações e deslizamentos – ganham visibilidade. Os impactos desses eventos prejudicam não apenas os moradores, que vivem em condições incompatíveis com o direito à moradia digna, mas também impõem custos sociais e econômicos a toda a população urbana. Esses custos envolvem desde operações de remoção e reassentamento, controle e mitigação de riscos, até os efeitos negativos que a ocupação irregular causa no meio ambiente, no saneamento básico e nos serviços públicos em geral (RIO GRANDE DO SUL, Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul, 2024).

Neste contexto, a gestão de risco de desastres cumpre um importante papel como um processo sistemático de uso de políticas administrativas, organização, habilidades e capacidades operacionais para implantar políticas e fortalecer as capacidades de enfrentamento a fim de reduzir o impacto negativo. É realizada, na maior parte do tempo, em períodos de normalidade, com medidas de prevenção e preparação para que a ocorrência do desastre seja menos impactante e a resposta e reconstrução sejam mais eficazes (UFSC, 2011).

Conforme descrito no Manual de Capacitação Básica em Defesa Civil³, a identificação de riscos começa com o levantamento de dados históricos sobre a frequência de desastres, o que permite identificar as ameaças e vulnerabilidades existentes. As ameaças, que podem ser naturais ou causadas pelo homem, variam conforme a área analisada, e sua interação com as vulnerabilidades locais é essencial para o mapeamento de riscos.

Assim, dado que o Vale do Taquari está situado em uma área vulnerável a deslizamentos e inundações do Rio Taquari com eventos frequentes, e que recentemente foi atingido severamente pelos episódios climáticos (setembro e novembro de 2023 e maio de 2024), se faz fundamental a identificação e o mapeamento de riscos na região, processo que permitirá que os municípios reavaliem seu planejamento, integrando as áreas de risco nas políticas de ordenamento territorial e uso do solo.

Neste contexto, o presente estudo busca apresentar a metodologia adotada para a realização do mapeamento de riscos nos municípios do Vale do Taquari após o evento de maio de 2024, bem como os resultados obtidos. Para isso, está dividido em três partes: a apresentação do zoneamento de risco, a metodologia desenvolvida e os resultados obtidos para o Município de Arroio do Meio.

O ZONEAMENTO DE RISCO

O mapeamento das áreas de risco e os estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidades e risco de desastre são instrumentos de prevenção e minimização de desastres, de competência de todos os entes federados: União, estados, Distrito Federal e municípios (BRASIL, 2012). Nesse contexto, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) foi instituída pela Lei nº 12.608 de 2012 tendo como uma de suas diretrizes a prioridade às ações preventivas relacionadas à minimização de desastres (art. 4º, inciso III) (BRASIL, 2012). A lei, em seu artigo 1º traz as seguintes definições:

V - desastre: resultado de evento adverso, de origem natural ou induzido pela ação humana, sobre ecossistemas e populações vulneráveis que causa significativos danos humanos, materiais ou ambientais e prejuízos econômicos e sociais; (Incluído pela Lei nº 14.750, de 2023).

[...]

VII - plano de contingência: conjunto de procedimentos e de ações previsto para prevenir acidente ou desastre específico ou para atender emergência dele decorrente, incluída a definição dos recursos humanos e materiais para prevenção, preparação, resposta e recuperação, elaborado com base em hipóteses de acidente ou desastre, com o objetivo de reduzir o risco de sua ocorrência ou de minimizar seus efeitos; (Incluído pela Lei nº 14.750, de 2023).

VIII - prevenção: ações de planejamento, de ordenamento territorial e de investimento destinadas a reduzir a vulnerabilidade dos ecossistemas e das populações e a evitar a ocorrência de acidentes ou de desastres ou a minimizar sua intensidade, por meio da identificação, do mapeamento e do monitoramento de riscos e da capacitação da sociedade em atividades de proteção e defesa civil, entre outras estabelecidas pelos órgãos do Sinpdec; (Incluído pela Lei nº 14.750, de 2023).

[...]

XIII - risco de desastre: probabilidade de ocorrência de significativos danos sociais, econômicos, materiais ou ambientais decorrentes de evento adverso, de origem natural ou induzido pela ação humana, sobre ecossistemas e populações vulneráveis; (Incluído pela Lei nº 14.750, de 2023).

Em complemento, o artigo segundo do Decreto nº 10.692, de 2021 define deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas, áreas de risco e plano de contingência, conforme descrito a seguir:

Art. 2º Para fins do disposto neste Decreto, considera-se:

I - deslizamentos de grande impacto - os movimentos gravitacionais de massa, caracterizados pelo escorregamento de materiais sólidos, solos, rochas, vegetação ou materiais de construção ao longo de terrenos inclinados, com probabilidade de provocar danos humanos e materiais relevantes, além de graves prejuízos econômicos e sociais em decorrência da exposição de comunidades vulneráveis;

II - inundações bruscas - os transbordamentos de água da calha normal de rios, de lagos e de açudes e o volume de água que escoar na superfície de terrenos caracterizados pela grande magnitude e pela rápida evolução, com probabilidade de provocar danos humanos e materiais relevantes, além de graves prejuízos econômicos e sociais em decorrência da exposição de comunidades vulneráveis;

III - áreas de risco - as áreas suscetíveis à ocorrência de desastres, caracterizadas pela relevância dos elementos expostos a danos humanos, materiais e prejuízos econômicos e sociais; e

IV - plano de contingência de proteção e defesa civil - o conjunto de medidas preestabelecidas destinadas a responder a desastres de forma planejada e intersetorialmente articulada, com o objetivo de minimizar os seus efeitos (BRASIL, 2021).

As áreas de risco são, portanto, aquelas áreas suscetíveis à ocorrência de desastres, caracterizadas pela relevância dos elementos expostos a danos humanos, materiais e prejuízos econômicos e sociais. E quando se trata de investigar situações de riscos e desastres, algumas informações se destacam por sua relevância na compreensão das dinâmicas territoriais, das transformações no uso e na ocupação do solo e dos impactos ambientais (BRASIL, 2021).

Os mapeamentos de riscos se configuram, então, como importantes instrumentos de planejamento e prevenção, sendo estratégicos para indicar: suscetibilidade (áreas que apresentam predisposição natural para ocorrência de processos físicos, como uma inundação, que podem se tornar ameaças); aptidão geotécnica à urbanização (as potencialidades e as limitações dos terrenos para sua ocupação urbana com segurança); a setorização e graus de Risco (delimitação dos espaços territoriais sujeitos a riscos e análise da potencialidade de ocorrência por meio dos respectivos graus de risco) (BRASIL, 2021).

No contexto das cidades, envolve essencialmente as questões ambientais, urbanas e sociais, sendo importante considerar todas elas para a compreensão da realidade do município e da região quando do mapeamento das áreas de risco. Neste escopo, as leis vigentes cumprem importante papel de orientação.

FUNDAMENTAÇÃO LEGAL

As inundações e deslizamentos registrados em várias áreas do Vale do Taquari evidenciam desafios de ordem ambiental, social e econômica. Apesar de esses eventos serem fenômenos naturais na região, os seus impactos são amplificados por um modelo de urbanização que demonstra falhas ao desconsiderar, de maneira eficaz, os riscos associados a desastres naturais. Isso reforça a urgência de adotar uma abordagem integrada para o planejamento do uso e ocupação do solo.

A Lei nº 12.608/2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) é um marco importante nesse contexto. Ao lado dos Planos de Contingência, esta política promoveu importantes alterações na política de desenvolvimento urbano, concretizada no Estatuto da Cidade, incorporando a ideia de prevenção no planejamento e organização das cidades (RIO GRANDE DO SUL, Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul, 2024), incluindo novos requisitos para os planos diretores dos municípios e incorporando os artigos 42-A e 42-B que exigem a inclusão de diretrizes para a gestão de riscos e desastres nas estratégias urbanísticas e têm o objetivo de assegurar que os planos diretores considerem os riscos de desastres, integrando estratégias de proteção e defesa civil ao planejamento urbano. Visando, com isso, assegurar que as cidades se preparem para lidar com eventos adversos, minimizando os impactos e protegendo a população e o meio ambiente. Textos legais como este são um passo importante para enfrentar os desafios das cidades brasileiras frente a desastres naturais, mas é importante que haja uma aplicação prática eficaz e um comprometimento contínuo com a proteção e a segurança das comunidades.

A Lei coloca como responsabilidade dos Municípios o dever de constante vigilância pelo controle do uso e ocupação do solo urbano de modo a evitar ou mitigar a exposição da

população a riscos de desastres, e de normatização, seja pela obrigatoriedade de elaboração do Plano Diretor, seja pela ampliação do seu conteúdo mínimo, ou ainda na necessidade de delimitação dessas áreas na expansão do perímetro urbano, traçando um olhar permanente sobre a redução de riscos de desastres na gestão das cidades, conhecendo suas áreas de risco e definindo as estratégias, de uso do solo, para evitar ou conter ocupações nestes locais (RIO GRANDE DO SUL, Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul, 2024).

Tendo reflexos também em outros instrumentos da política de desenvolvimento urbano, como a Lei nº 6.766/79, Lei do parcelamento do solo, que passa a exigir para aprovação do projeto de parcelamento nos Municípios inseridos no cadastro nacional com áreas suscetíveis a desastres, o atendimento aos requisitos constantes na carta geotécnica de aptidão à urbanização, sendo igualmente vedada, em quaisquer municípios, a aprovação de projetos em áreas definidas no Plano Diretor ou legislação correlata como não edificáveis (RIO GRANDE DO SUL, Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul, 2024).

Nesse sentido, a nota técnica número 1 de 2023, da Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento (BRASIL, 2023), atualiza os critérios e indicadores para a identificação dos municípios mais suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, enxurradas e inundações para serem priorizados nas ações da União em gestão de riscos e de desastres naturais, utilizando como base os dados históricos de desastres das últimas décadas, mapeamentos atuais e informações do Censo Demográfico 2022, como segue:

- a) Atlas de Desastres e Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID, de 1991 a 2022 (Sedec/MIDR);
- b) Atlas de Vulnerabilidade a Inundações (ANA, 2014);
- c) Base Territorial Estatística de Áreas de Risco – BATER (Cemaden/MCTI – IBGE);
- d) Cartas de Risco Geológico – Setorizações Áreas de Risco Alto e Muito Alto a Movimentos de Massa e Inundações, Escala detalhe 1:2.000 (SGB-CPRM/MME);
- e) Dados de dias com chuvas superiores a 50 mm em todos os municípios do Brasil, período de 1981-2022 (Cemaden/MCTI)
- f) Dados de Adaptação à Mudança do Clima (SMC/MMA);
- g) Dados relativos aos Planos Municipais de Risco (SNP/MCID);
- h) Dados relativos aos planos municipais de drenagem e saneamento básico, (SNSA/MCID);
- i) Informações do Censo 2022 – nome do município, nome do estado, código de identificação e população total (IBGE, 2022).
- j) Municípios monitorados para inundações ribeirinhas (SGB-CPRM/MME);

l) Municípios monitorados para movimento de massa e processos hidrológicos (Cemaden/MCTI); e

m) Municípios apoiados com obras do PAC e seus respectivos valores para macrodrenagem e contenção de encostas (MCID) (BRASIL, 2023).

A partir disso, no anexo 1 da nota, é apresentada a lista dos 1.942 municípios brasileiros mais suscetíveis a ocorrências de deslizamentos, enxurradas e inundações para serem priorizados nas ações da União em gestão de risco e de desastres naturais, onde encontra-se listado o Município de Arroio do Meio, para o qual os tipos de riscos identificados são enxurrada e inundação (BRASIL, 2023).

As referidas Leis apresentadas neste título, entre outras, orientam o mapeamento das áreas de risco nos municípios brasileiros. A partir delas, foi elaborada a metodologia utilizada para o mapeamento das áreas de risco nos municípios do Vale do Taquari no Rio Grande do Sul, apresentada no título a seguir.

METODOLOGIA

Para o mapeamento das áreas de risco nos municípios do Vale do Taquari foram consideradas as especificidades locais, bem como as características físicas e ambientais da região. Esta seção de metodologia encontra-se dividida em duas partes: a metodologia para identificação das áreas suscetíveis à inundação e identificação das zonas preliminares de arraste; e a metodologia para identificação das áreas com suscetibilidade a movimentos de massa. A partir deste conjunto de informações, será possível, então, definir as zonas de risco.

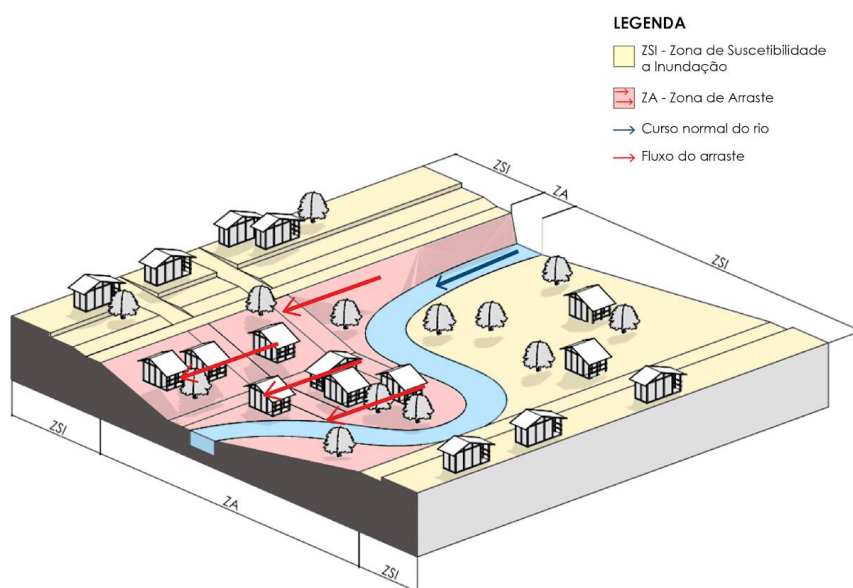
ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES E ZONAS PRELIMINARES DE ARRASTE

No que tange o zoneamento de risco para áreas suscetíveis às inundações, faz-se necessário destacar que em locais com ocorrência frequente destes fenômenos, o zoneamento deve considerar diferentes magnitudes de inundação, das mais frequentes às inundações raras. A ZSI (Zona de Suscetibilidade à Inundação) é uma área que apresenta maior risco de alagamentos devido a fatores como topografia, uso do solo, tipo de solo e condições climáticas.

Nesse contexto, ao analisar o conjunto de características físicas da Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas e a localização do Vale do Taquari na porção média-baixa da bacia, observa-se que, com a ocorrência de chuvas intensas e volumosas, resultam em enxurradas. Esse tipo de fenômeno tem acentuadas características de velocidade e energia de escoamento da água, gerando um efeito de arraste em algumas áreas que se propagam, onde os maiores impactos ocorrem meandros erosivos do recurso fluvial.

Desta forma, para a região do Vale do Taquari, se faz necessário trabalhar também com a segmentação de Zoneamento de Arraste. Logo, as Zonas de Arraste (ZA) são definidas como áreas adjacentes às margens erosivas de zonas meândricas, ou seja, regiões de ocorrência de curvas acentuadas (Figura 1). Nas Zonas de Arraste, quando da ocorrência de enxurradas, ocorre a desfragmentação da paisagem que compõe a linha de corte do fenômeno.

Figura 1: Zoneamento de tipos de risco para áreas suscetíveis à inundação.



Nota: Na figura, é possível visualizar uma simulação do perfil das áreas inundáveis em um ambiente urbano. Em amarelo, observa-se a espacialização da Zona de Suscetibilidade a Inundação (ZSI) que abrange toda a área inundável; em vermelho, a Zona de Arraste (ZA) que é uma área inserida na área inundável e onde ocorre a desfragmentação da paisagem.

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

Neste contexto, foram construídas as etapas metodológicas para a modelagem das áreas inundáveis. Primeiramente, para a execução da modelagem e das simulações foram utilizados dados de vazão, níveis, condições de contorno, batimetria, topobatimetria (seções que integram a batimetria do canal com a topografia da planície de inundação) para todas as seções transversais, parâmetro de atrito (coeficiente de rugosidade) em cada seção transversal e um MDE (Modelo Digital de Elevação) no pós-processamento para o espalhamento da inundação em um plano 2D. As seções topobatimétricas utilizadas no estudo foram obtidas a partir do projeto Taquari Antas, desenvolvido pelo IPH-UFRGS⁴ e Univates⁵ em 2015. Cabe destacar que variações das condições hidráulicas podem ocorrer devido às mudanças de declividade do fundo do canal, presença de pontes, ilhas e obstruções;

alargamentos ou estreitamentos da seção transversal, dentre outros motivos (MONTE et al, 2016), o que demonstra a complexidade do trabalho neste contexto.

Quanto às condições do modelo hidrológico, no software de modelagem hidrodinâmica HEC-RAS, a simulação da propagação do escoamento pode ser realizada considerando o fluxo em 1D e 2D. No fluxo 1D, o HEC-RAS permite que o regime de escoamento ocorra em regime permanente ou não permanente. Em 2D somente é possível realizar as simulações em regime não permanente. Em cada um desses casos, o HEC-RAS aplica diferentes equações matemáticas para obtenção dos resultados. No presente estudo, a modelagem foi realizada com fluxo 1D, em regime de escoamento permanente e não permanente. Esta ferramenta possibilita a análise da influência da obstrução do fluxo na margem (representando a ocupação do solo), observando tanto a largura quanto a elevação da linha d'água em cada seção transversal, permitindo a simulação das áreas de maior e menor risco.

A execução da modelagem hidrodinâmica com fluxo não permanente 2D para a cidade de Arroio do Meio foi realizada com base no manual hidráulico do HEC-RAS (USACE-RAS, 2016b). A primeira etapa da modelagem envolveu a inserção dos dados de entrada no modelo (DEM, declividade do canal, rugosidade, batimetria, seções transversais, infraestruturas, vazão, entre outras), utilizando os valores máximos de vazões obtidos por diferentes estações fluviométricas ao longo do rio Taquari para calibração do modelo. Os resultados foram avaliados através das simulações das lâminas de inundação, além do uso de imagens de satélite como Planet e Sentinel para validação da mancha de inundação.

Um dos parâmetros essenciais para a modelagem hidrodinâmica é o ajuste do coeficiente de rugosidade de Manning (n). Inicialmente, foram considerados os valores definidos por Chow (1959), sendo 0,04 para o canal principal dos cursos de água naturais e 0,3 para margens dos cursos de água no modelo. Após uma etapa de calibração manual, buscando a melhor representação das variações das características de uso do solo em Arroio do Meio, foram definidos os valores de 0,03 para o canal principal e 0,2 para as margens.

Para os eventos de inundações simulados na primeira etapa de modelagem 2D, foram considerados os dados de vazão arbitrados com base nos valores máximos de vazão das estações localizadas a montante, na seção de Muçum. A condição de jusante inserida foi a declividade da linha de energia, igualada à declividade do fundo do canal do Rio Taquari. Foi utilizado um valor de declividade de 0,0003 m.m⁻¹, obtido através dos dados disponibilizados pelas seções topobatimétricas utilizadas nesse estudo até a região da barragem eclusa de Bom Retiro do Sul (AGROSIG; FEENG, 2016).

Já para a representação da superfície na modelagem hidrodinâmica, foi utilizado o Modelo Digital de Terreno (MDT) ANADEM (LAIPÉLT et al., 2024) desenvolvido pela Agência Nacional

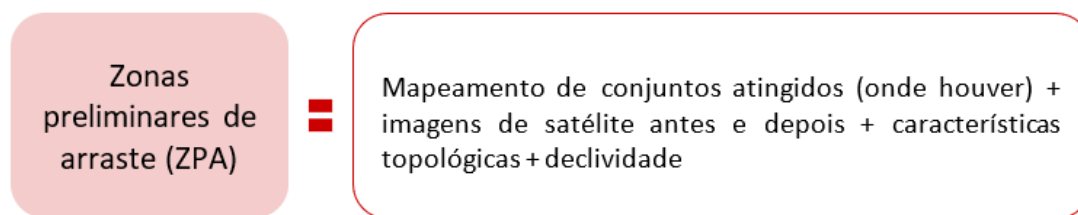
de Águas (ANA) em parceria com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). O MDT remove o efeito da vegetação a partir do produto Copernicus GLO DEM, com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado pela Agência Espacial Europeia (ESA). Além disso, foi realizado um ajuste nos valores de elevação do canal principal do MDT com dados de topobatimetria disponíveis, para melhorar a representação do escoamento ao longo do trecho do rio simulado. Adicionalmente, os resultados do modelo foram comparados com informações obtidas de manchas de inundação registradas por imagens de satélite, visando uma delimitação mais precisa da cota máxima da mancha de inundação de 02 de maio de 2024.

Já para a definição das zonas preliminares de arraste, foram cruzados um conjunto de variáveis, sendo as condições meândricas, considerando flancos de erosão e sedimentação da calha principal, declividade, além dos mapeamentos de conjuntos da região atingida.

O mapeamento de conjunto é uma metodologia utilizada para elaboração de material gráfico para compor Planos de Trabalho orientados pela portaria 998 de 5 de abril de 2022, do Ministério do Desenvolvimento Regional (BRASIL, 2022). Esses planos são cadastrados para solicitação de recursos junto ao governo federal para novas unidades habitacionais, as quais, se aprovado plano de trabalho, devem ser implementadas em áreas sem risco. Os planos de trabalho devem apresentar os danos relacionados à habitação, classificando as unidades habitacionais atingidas em destruídas, interditadas ou adjacentes. Esse mapeamento contempla imagens de satélite anteriores ao evento e ortomosaicos registrados após o evento.

Logo, para a definição das zonas de arraste, foram realizadas análises por meio de imagens de satélite anteriores e após os eventos de setembro de 2023 e ortomosaicos coletados após os eventos, bem como, associadas a características topológicas meândricas, de declividade e condições das estruturas danificadas (edificações destruídas e danificadas observadas nos mapeamentos de conjunto), sendo geradas dessa forma, as zonas preliminares de arraste (ZPA) em cada um dos sete municípios atingidos. Destaca-se que a variável de maior relevância, são as variáveis meândricas, pois nessas regiões, a maior tendência é a ocorrência de fluxos contínuos, de maior velocidade de escoamento, gerados a partir de precipitações intensas e/ou volumosas.

Figura 2: Composição das zonas preliminares de arraste.



Nota: Composição do mapeamento das zonas preliminares de arraste para metodologia aplicada aos municípios do Vale do Taquari.

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

Ressalta-se que estas são zonas preliminares, demarcadas a partir dos dados e informações disponíveis até o momento e que para definição das zonas definitivas de arraste, os dados mencionados serão cruzados com a modelagem hidrodinâmica que ilustrará a velocidade atingida, evidenciando em caráter mais aproximado a caracterização do arraste.

A partir disso, para a definição do zoneamento de risco do Município de Arroio do Meio, somam-se às áreas suscetíveis à inundação e zonas preliminares de arraste, as áreas suscetíveis a movimentos de massa.

ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA

Para a elaboração dos mapas de suscetibilidade a movimentos de massa (deslizamentos, escorregamentos, tombamentos de rocha, queda de blocos, corrida de materiais, espraçamento), foram identificados os locais onde ocorreram e as características físicas de cada movimento, a partir de cicatrizes de movimentos de massa. A principal fonte de informações consultada é a base de dados existente, desenvolvida pela equipe da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, intitulada "Mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa decorrentes do acumulado de chuva no RS entre 27/04 e 13/05 de 2024" (ANDRADES FILHO & MEXIAS, 2024). Além disso, foram observados de forma complementar, os registros fotográficos de movimentos de massa após a ocorrência do evento climático de maio de 2024.

Por meio dessa base de dados, gerou-se uma base de pontos dos locais onde ocorreram as rupturas de cada movimento de massa para os sete municípios do Vale do Taquari que fazem parte do estudo, totalizando 887 registros. A etapa seguinte consistiu na identificação das características físicas de cada movimento de massa, realizando uma intersecção entre a base de pontos de ruptura dos movimentos de massa e as bases com as características físicas dos municípios, adquirindo, com isso, as informações necessárias para cada movimento de massa. As classes de suscetibilidade serão determinadas tomando como base a informação de declividade, que, segundo Santos (2015), Sampaio e Robaina (2019) e Araújo et al. (2022), configura o critério de maior relevância em relação aos movimentos de massa.

Como resultado do cruzamento entre os pontos de registro de movimento de massa e a base de declividade, foram discriminadas 21 classes, que vão de 0% a >100% de declividade. Dessa intersecção entre as bases foi possível identificar a frequência dos movimentos de massa para cada classe e verificar o comportamento de acordo com os diferentes percentuais de declividade. Observou-se que em declividades menores (abaixo de 20%) e maiores (acima de 75%) as frequências de movimentos de massa são menores, sendo possível perceber um comportamento com maiores eventos entre 25% e 75%, com o seu pico de eventos nas classes de 35% a 60%.

Para suavizar a frequência da base de declividade, que apresentou comportamento bimodal, foi adotado um filtro de média móvel. Em seguida, foi realizada a classificação das áreas Sem Suscetibilidade, Baixa Suscetibilidade, Média Suscetibilidade e Alta Suscetibilidade, em relação aos movimentos de massa. A partir disso, as classes de suscetibilidade foram definidas conforme apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 1: Exemplo de uma tabela que pode ser utilizada

Classes de Suscetibilidade	Declividades
Sem suscetibilidade	De 0 a 10%
Baixa suscetibilidade	De 10 a 25% e >75%
Média suscetibilidade	De 25 a 35% e de 60 a 75%
Alta suscetibilidade	De 35 a 60%

Nota: Tabela de classificação das suscetibilidades a movimentos de massa, conforme metodologia apresentada.
Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

A partir da metodologia apresentada, que identificou as áreas suscetíveis à movimentos de massa, bem como aquelas suscetíveis a inundação, além das zonas preliminares de arraste, no título a seguir estão apresentados os resultados obtidos para o Município de Arroio do Meio.

RESULTADOS OBTIDOS

Este título apresenta os resultados obtidos para Arroio do Meio, município selecionado para exemplificar a aplicação da metodologia desenvolvida.

O MUNICÍPIO DE ARROIO DO MEIO

Conforme publicação do IBGE (2021), Arroio do Meio está situada na Microrregião Lajeado-Estrela. A população do município é de 21.958 habitantes, com densidade demográfica de 139,78 habitantes por quilômetro quadrado, segundo o Censo do IBGE de 2022.

Arroio do Meio está localizado às margens do Rio Taquari, a 122 km de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, e tem uma área aproximada de 157 km² (Figura 3). Tem como limítrofes os municípios de Lajeado e Estrela ao Sul, Colinas e Roca Sales ao Leste, Encantado e Capitão ao Norte, e Marques de Souza e Travesseiro a Oeste. O principal acesso ao município se dá pela ERS 130, que o liga ao sul com Lajeado e ao norte com Encantado e Roca Sales.

Figura 3: Localização e articulação do Vale do Taquari - relação entre Arroio do Meio, Lajeado e Porto Alegre.



Nota: Localização do Município de Arroio do Meio no estado do Rio Grande do Sul, em relação à capital Porto Alegre e também ao Município de Lajeado.

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

O nome "Arroio do Meio" tem origem na presença de três arroios no seu território: o Grande, o Forqueta (Rio Forqueta) e o Arroio do Meio, que está localizado entre os dois primeiros. A colonização do município começou principalmente com imigrantes de origem alemã e italiana, que se estabeleceram na área a partir da década de 1860 (PREFEITURA MUNICIPAL ARROIO DO MEIO, 2024). Arroio do Meio foi oficialmente elevado à categoria de município por meio do decreto nº 5.759, de 28 de novembro de 1934, antes disso fazia parte dos municípios de Lajeado e Encantado. A instalação oficial do município ocorreu no dia 2 de janeiro de 1935 (PREFEITURA MUNICIPAL ARROIO DO MEIO, 2024).

A maior parte da área urbanizada do município está concentrada ao longo das áreas de menor altitude e nas regiões planas disponíveis, principalmente às margens dos rios e arroios,

regiões de inundação, já que a expansão da cidade foi limitada no sentido Norte e Oeste devido ao aumento acentuado da declividade.

Assim como diversos municípios do Vale do Taquari, Arroio do Meio tem enchentes frequentes, contando com mais de 10 grandes cheias desde 1873. Até então, a maior cheia havia ocorrido em 1941, quando o rio Taquari atingiu a cota 34 metros no município, impacto também sentido na região metropolitana de Porto Alegre (ARROIO DO MEIO, 2024). Em 1990, o município enfrentou outra grande inundação, na qual o rio atingiu a cota de 32 metros, e forçou o deslocamento de mais de 442 famílias (PREFEITURA MUNICIPAL ARROIO DO MEIO, 2024; KREUTZ et al, 2020).

Dados de eventos de inundação mais recentes confirmam que em 2010 uma forte enxurrada fez com que o Rio Forqueta transbordasse, devastando extensas áreas agrícolas e causando falta de energia elétrica e água potável (KREUTZ et al, 2020). Já em setembro de 2023, a cheia atingiu a cota 35,70, o maior nível da história até então, que levou o município a decretar “estado de calamidade pública”, com a evacuação de grande parte da população em áreas de risco (PREFEITURA MUNICIPAL ARROIO DO MEIO, 2024).

Por fim, em maio de 2024, o rio superou a marca de 2023, atingindo a cota 39,60 metros (PREFEITURA MUNICIPAL ARROIO DO MEIO, 2024), quando 48,2% da população foi atingida, mais de 10.500 pessoas, segundo dados do Mapa Único do Plano Rio Grande (MUP RS). Nestas precipitações a cidade teve um acumulado de chuva de 500 mm, uma diferença significativa de mais de 1/4 do volume da média anual que é de 1700 a 1800 mm (EMATER/RS-ASCAR, 2024). As chuvas intensas tiveram consequências diversas, como a queda da histórica Ponte de Ferro (COSTA, J., 2024), um ponto turístico local que conecta os municípios de Arroio do Meio e Lajeado. Outra ponte, localizada na ERS-130, sobre o Rio Forqueta, principal via de ligação entre Arroio do Meio, Lajeado e o restante da região e estado também desabou, o que prejudicou a mobilidade urbana, especialmente na região alta do Vale do Taquari. Além disso, diversas residências, edificações comerciais e industriais foram afetadas e muitas completamente destruídas.

Em termos de características físicas e ambientais, o Município apresenta altitudes que variam entre 18 e 547 metros. Destaca-se, neste contexto, o Morro Gaúcho que apresenta altitude elevada, bem como outros pontos a noroeste do território municipal. Em contraste, as menores altitudes se encontram principalmente às margens do Rio Taquari e Rio Forqueta, no centro, leste e sul do território.

Quanto às declividades, verifica-se que o maior percentual de área do município tem inclinação entre 0 e 9,99%, o que se apresenta como positivo para o potencial de ocupação do território. Já as áreas com maiores percentuais de declividade, acima de 30%, somam pouco

mais de 21% do território. Observa-se que o relevo mais acidentado está na região norte e noroeste. Já a região sul do território e parte da região leste, ao longo dos rios, configura-se como áreas de baixas declividades.

Em termos legislativos, em conformidade com o disposto na Lei Federal nº 12.608/2012 o município de Arroio do Meio criou em 2013, através da Lei Nº 3.207, a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil - COMPDEC e o Fundo Municipal de Proteção e Defesa Civil - FUNPDEC do Município, com a finalidade de atender a comunidade nas ações de Defesa Civil nas fases: preventiva, socorro assistencial e recuperativa, para garantir a execução das ações que compreendem os aspectos globais de prevenção de desastres, preparação para emergências e desastres, respostas aos desastres e reconstrução e recuperação originada por desastres.

Outras legislações atuais do município abordam aspectos relacionados ao risco. Conforme estabelecido no Plano Diretor Municipal, instituído pela Lei Municipal Nº 3.888 de 17 de dezembro de 2020, mais especificamente no que se refere à questão habitacional:

Art. 27. Para a consecução da Política Municipal de Habitação deverão ser adotadas as seguintes diretrizes:

I - Democratizar o acesso ao solo urbano e a oferta de terras, a partir da disponibilidade de imóveis públicos e da utilização de instrumentos do Estatuto da Cidade;

II - Coibir as ocupações em áreas de risco e não edificáveis;

III - Elaborar o Plano Municipal de Habitação;

IV - Garantir a sustentabilidade social, econômica e ambiental nos programas habitacionais, por intermédio das políticas de desenvolvimento econômico e de gestão ambiental;

V - Promover a qualificação urbanística e regularização fundiária dos assentamentos habitacionais precários e irregulares;

VI - Assegurar o apoio e o suporte técnico às iniciativas individuais ou coletivas da população para produzir ou melhorar a moradia;

VII - Promover a remoção de famílias que estejam residindo em áreas de risco, em locais de interesse ambiental ou em locais de interesse urbanístico e garantir alternativas habitacionais para essas famílias;

VIII - Recuperar as áreas de preservação ambiental, ocupadas por edificações, não passíveis de urbanização e regularização fundiária;

Art. 28. O Plano Municipal de Habitação deverá conter, no mínimo:

I - O diagnóstico das condições de moradia no Município.

II - O cadastro das áreas de risco, áreas ocupadas e ocupações irregulares. [...] (ARROIO DO MEIO, 2020).

Além disso, refere-se brevemente à questão do risco às inundações e deslizamentos no que tange ao zoneamento, conforme Art. 87 e Art. 96:

Art. 87. As Zonas Especiais são parcelas de área urbana ou rural instituídas pelo Plano Diretor ou definidas em lei municipal, destinadas à:

I - Definir áreas para assentamentos e empreendimentos urbanos e rurais de interesse social;

II - Demarcar os territórios ocupados pelas comunidades tradicionais, tais como as indígenas, quilombolas, ribeirinhas e extrativistas, de modo a garantir a proteção de seus direitos;

III - Demarcar as áreas sujeitas a inundações e deslizamentos, bem como as áreas que apresentem risco à vida e à saúde; [...]

Art. 96. Cada ZEIS proposta deverá possuir um Plano de Urbanização estabelecido pelo Poder Executivo Municipal, que deverá conter, no mínimo:

[...]

XX - Os projetos e as intervenções necessárias a recuperação de áreas degradadas,

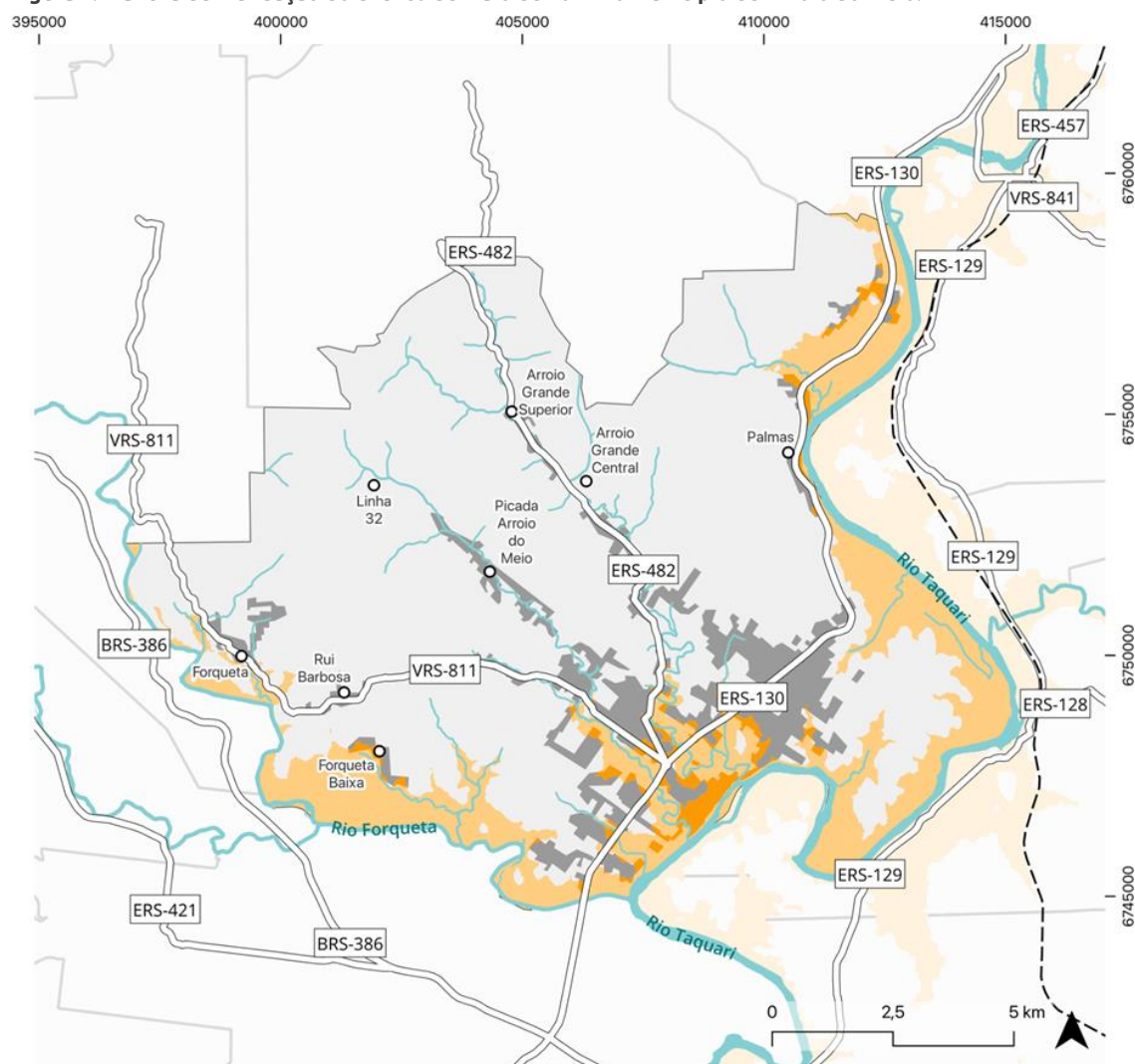
eliminação de situações de risco, estabilização de taludes e de margens de córregos se for o caso; [...] (ARROIO DO MEIO, 2020).

Até o evento de maio de 2024, o município de Arroio do Meio ainda não contava com um zoneamento específico para identificar as áreas de risco em seu território. Nesse cenário, com o objetivo de promover um desenvolvimento urbano mais seguro e fundamentado em metodologias que auxiliem o planejamento territorial em locais com potenciais zonas de risco, são apresentados a seguir os resultados obtidos no mapeamento dessas áreas no município.

ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES E ZONAS PRELIMINARES DE ARRASTE EM ARROIO DO MEIO

Quando considerado o evento de maio de 2024 no Município de Arroio do Meio, verifica-se que as áreas urbanizadas da sede do município, bem como das comunidades de Palmas, Forqueta Baixa e Forqueta foram afetadas pelas inundações. Adicionalmente, observa-se que as áreas de suscetibilidade à inundação no município são de acentuada expressividade, uma vez que comprometem acessos importantes, como é o caso da ERS-130 que cruza o Município no sentido norte-sul e é atingida em vários pontos de sua extensão. Aspectos que podem ser observados no mapa da figura 4.

Figura 4: Mancha de inundação do evento de maio de 2024 no município de Arroio do Meio.



LEGENDA:

- | | |
|--|---------------------------------|
| ■ Áreas urbanizadas | — Rodovias estaduais e federais |
| ■ Suscetibilidade à inundação | - - Ferrovias |
| ■ Área urbanizada diretamente afetada pela inundação | ■ Hidrografia |
| ○ Núcleos urbanos isolados | |

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

De forma complementar, na figura 5 é possível visualizar de forma esquemática o nível que a água atingiu na inundação de maio de 2024 na área central da cidade de Arroio do Meio.

Figura 5: Corte esquemático de situação de inundação em área urbana de Arroio do Meio em maio de 2024.

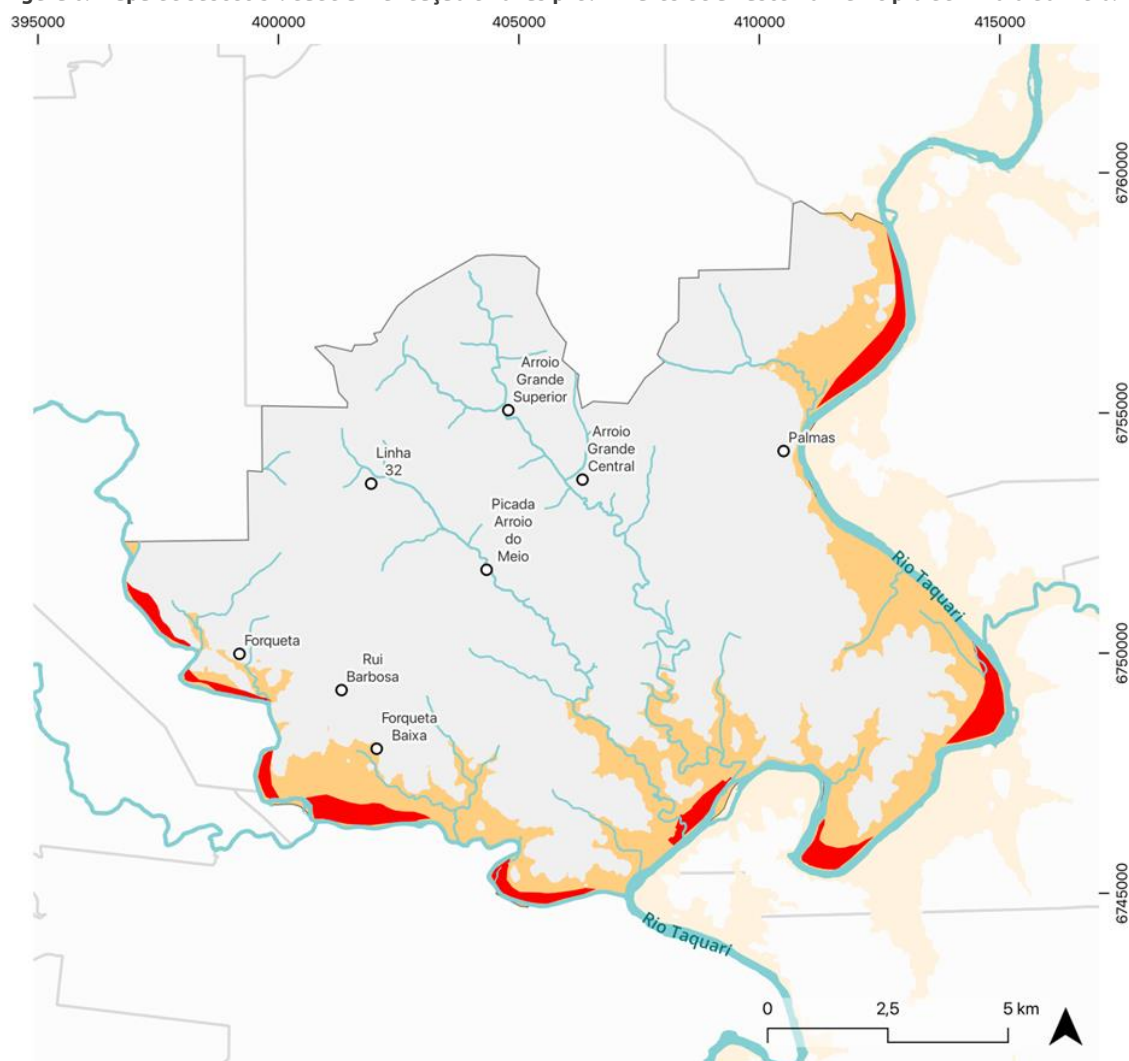


Nota: É possível observar na imagem o Rio Taquari e sua proximidade com a área urbanizada de Arroio do Meio, bem como a Zona preliminar de arraste para o evento de maio de 2024, que se sobrepõem a grande parte da área urbanizada e trata-se do local onde houve maior destruição.

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

Já o mapa da figura 6 apresenta, de forma complementar, as zonas preliminares de arraste que representam 3,15% da área total do Município. É possível observar que as zonas preliminares de arraste se concentram ao longo do Rio Taquari e do Rio Forqueta e apresentam dimensões consideráveis, atingindo a área urbana do Município e se aproximando de comunidades rurais. Já a mancha de suscetibilidade à inundação se estende ainda mais sobre a malha urbana consolidada de Arroio do Meio, bem como sobre diversas comunidades rurais como é o caso de Palmas, Forqueta e Forqueta Baixa.

Figura 6: Mapa de suscetibilidade à inundação e zonas preliminares de arraste no município de Arroio do Meio.



LEGENDA:

- | | |
|---|---|
| Suscetibilidade à inundação | Rodovias estaduais e federais |
| Zonas preliminares de arraste | Ferrovia |
| Núcleos urbanos isolados | Hidrografia |

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

Em uma aproximação com a sede urbana do Município (Figura 7), é possível observar a sobreposição da mancha de inundação com a área urbanizada do Município, bem como a demarcação das zonas preliminares de arraste identificadas, que são 3 ao longo da mancha urbanizada, uma delas de menor proporção, próxima ao Rio Forqueta, ao sul da sede urbana, onde não houveram edificações atingidas. Uma segunda área maior a leste da sede urbana, em uma ponta de terra que avança sobre o Rio Taquari, onde também não houve edificações atingidas. E a terceira delas, inserida na malha urbana, região central da cidade e localizada ao longo da Rua Campos Sales. Esta área e seu entorno apresentam maior densidade urbana no município, ou seja, um grande número de estabelecimentos foi atingido. Pontos

importantes do Município como a prefeitura municipal e o Hospital São José estão muito próximos das áreas atingidas. Além disso, vias importantes como a Rua Marechal Floriano Peixoto e a Presidente Vargas, mais próximas ao Rio Taquari foram afetadas, bem como a ERS-130 que teve o seu fluxo interrompido.

Figura 7: Mapa de suscetibilidade à inundação e zonas preliminares de arraste na sede urbana de Arroio do Meio.



LEGENDA:

- Zonas preliminares de arraste
- Suscetibilidade à inundação
- Hidrografia
- Rodovias
- Vias

- Pontos de referência**
- ① Prefeitura Municipal
 - ② Ponte de Ferro
 - ③ Parque Municipal Pérola do Vale
 - ④ Neugebauer Alimentos
 - ⑤ Hospital São José

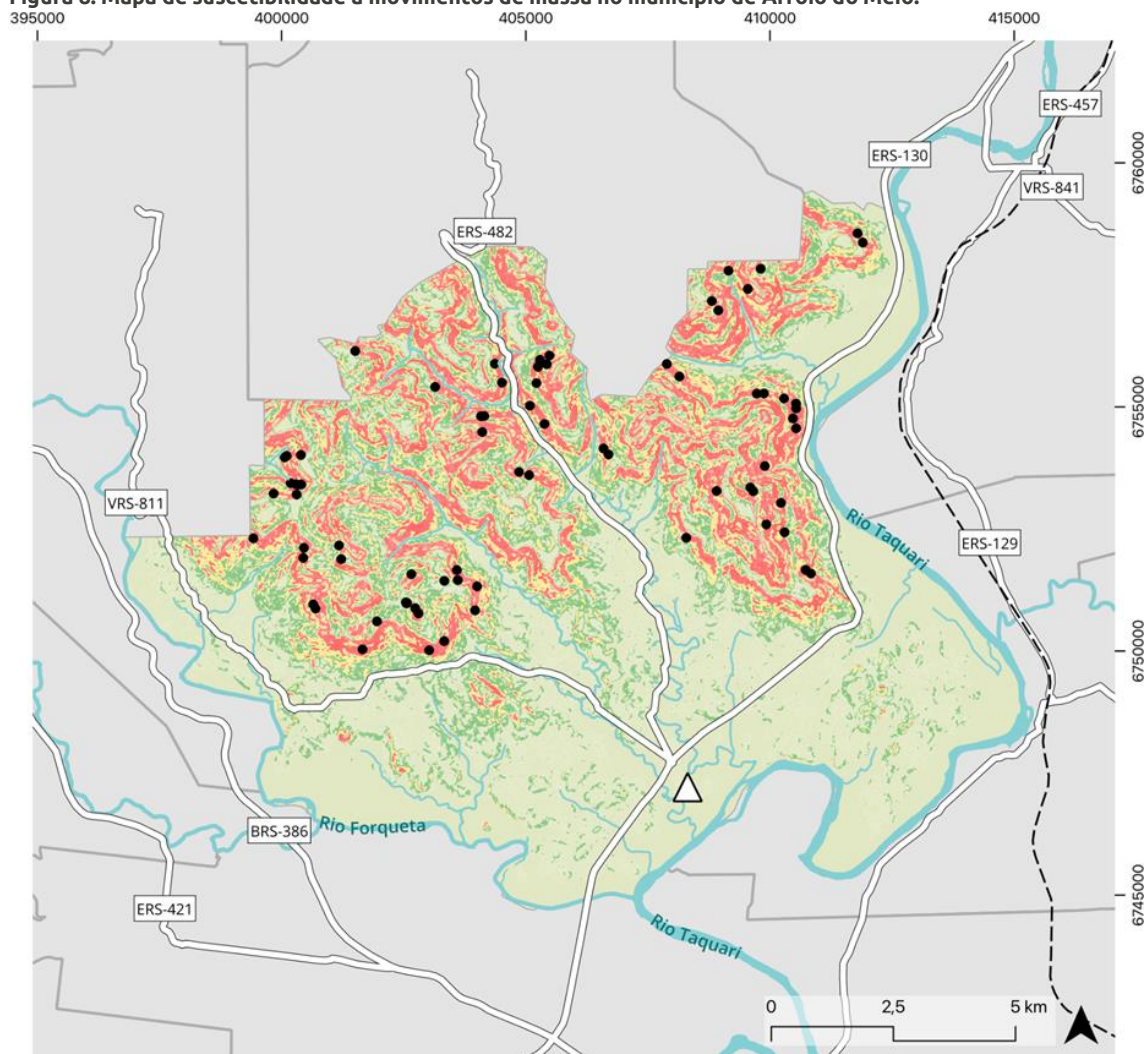
Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

A partir dos mapas apresentados, fica evidente a dimensão dos efeitos das cheias no município. Em complemento, para o mapeamento de riscos, é necessário considerar também as áreas suscetíveis a movimentos de massa.

ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA EM ARROIO DO MEIO

A partir da metodologia apresentada anteriormente para mapeamento de movimentos de massa, foram identificadas em Arroio do Meio a ocorrência de 75 cicatrizes de movimentos de massa. Com as classes de suscetibilidade definidas, foi possível elaborar o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa, apresentado na figura 8, onde é possível observar que no município de Arroio do Meio as áreas com alta (de 35 a 60%) e média (declividade entre 25 a 35% e de 60 a 75%) suscetibilidade a movimentos de massa estão concentradas ao norte do território do Município, mais distantes da sede urbana, que está ao sul junto ao Rio Taquari. Já a porção centro/sul do território municipal não apresenta suscetibilidade (declividade entre 0 a 10%) para movimentos de massa, além de algumas áreas em menor proporção que se configuram como de baixa suscetibilidade (declividade entre 10 a 25% e >75%). Cabe destacar que a suscetibilidade a movimentos de massa nas regiões de análise é condicionada a vários fatores físicos e geotécnicos em análise, com destaque para os fatores de declividade combinado à ocorrência de chuvas raras e saturação de umidade nos solos da região.

Figura 8: Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa no município de Arroio do Meio.



LEGENDA:

Suscetibilidade a movimentos de massa

Alta Suscetibilidade

Média Suscetibilidade

Baixa Suscetibilidade

Sem Suscetibilidade

• Pontos de ruptura dos movimentos de massa (2024)

△ Sede municipal

— Rodovias estaduais e federais

-- Ferrovia

■ Hidrografia

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

Já na figura 9, é possível observar uma aproximação com a sede urbana de Arroio do Meio e seu entorno imediato, onde verificam-se algumas manchas pontuais de alta e média suscetibilidade de movimento de massa ao norte da Rua Dona Rita, região de ocupação urbana mais dispersa e em desenvolvimento. Além disso, algumas manchas de baixa suscetibilidade podem ser observadas ao longo da sede urbana consolidada, sendo permeadas por pequenos pontos de média suscetibilidade, que devem ser observados caso a caso. As demais áreas não possuem suscetibilidade a movimentos de massa.

Figura 9: Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na sede urbana de Arroio do Meio.



LEGENDA:

Suscetibilidade a movimentos de massa

- Alta Suscetibilidade
- Média Suscetibilidade
- Baixa Suscetibilidade

Pontos de referência

- ① Prefeitura Municipal
- ② Ponte de Ferro
- ③ Parque Municipal Pérola do Vale
- ④ Neugebauer Alimentos
- ⑤ Hospital São José

— Rodovias

— Vias

— Hidrografia

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

A partir destes estudos, foi possível identificar as áreas vulneráveis com o objetivo de fornecer a orientação geral das áreas de risco no município, fornecendo um diagnóstico fundamental para embasar as políticas públicas de curto prazo necessárias para uma reconstrução com segurança socioambiental. Os estudos utilizaram dados secundários, fazendo uso da ampla base de dados existentes, incluindo mapeamentos municipais e das distintas instâncias

governamentais, bem como pareceres e estudos técnicos oficiais, incorporando o mapeamento de áreas de inundação, tipo de solo e áreas de movimento de massa.

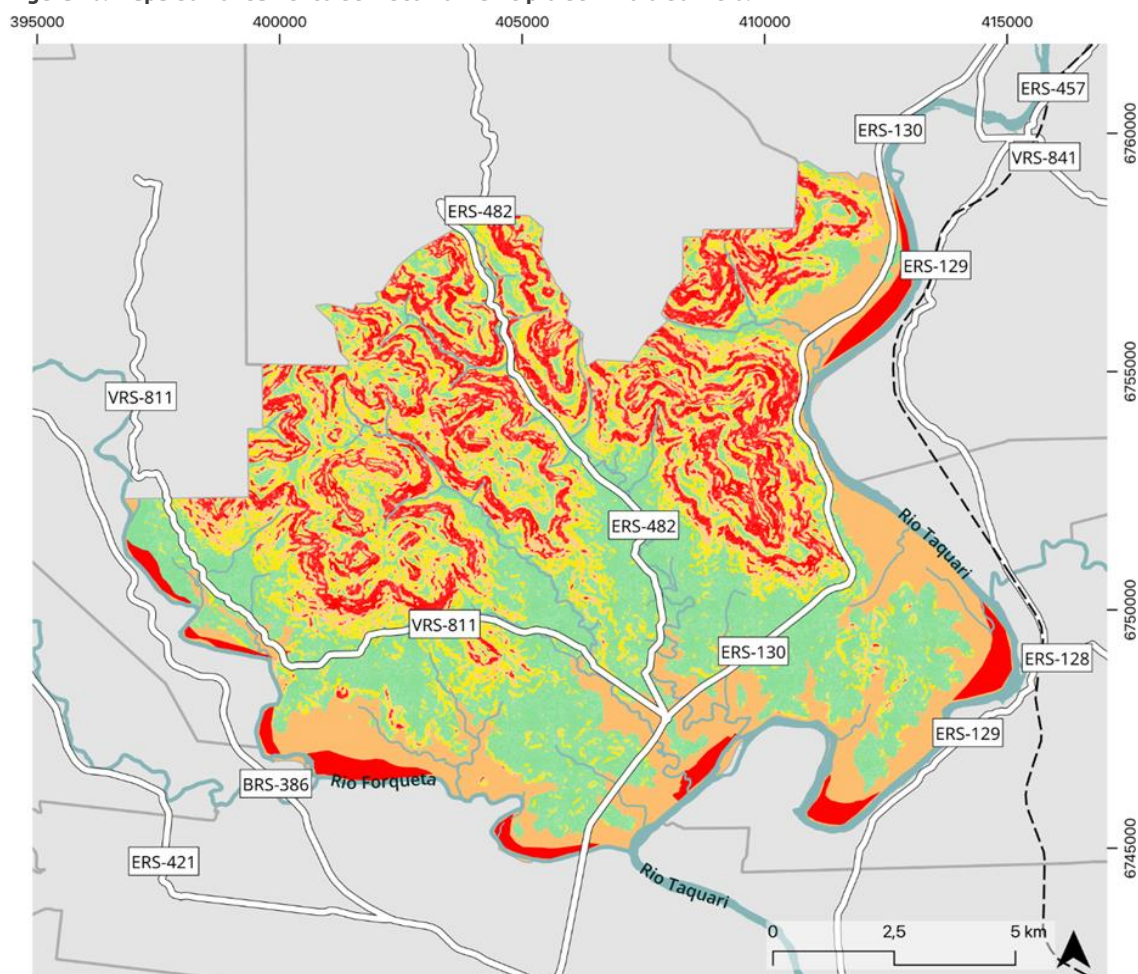
Verificou-se que, com relação a suscetibilidade à ocorrência de inundações e enxurradas, apresenta-se em regimes frequentes no Município de Arroio do Meio, decorrentes da dinâmica natural do Rio Taquari. Em 2024, no entanto, além das inundações e enxurradas, foram observados a ocorrência de deslizamentos e movimentos de massa no município. Sob essa perspectiva, foram gerados os mapas de suscetibilidade a partir das características conhecidas e entendendo que estas estão condicionadas a ocorrência a partir do registro de chuvas intensas na região.

ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO NO MUNICÍPIO DE ARROIO DO MEIO

A partir dessa leitura, neste item são apresentados os mapas de zonas de risco para o Município de Arroio do Meio, incluindo as áreas suscetíveis às inundações, zonas preliminares de arraste e movimentos de massa. As resultantes deste estudo consistem em um primeiro passo importante para a compreensão geral do ambiente, das suscetibilidades e condições iniciais de zoneamento de riscos, bem como para a determinação de diretrizes de ocupação do território. A classificação das zonas de risco está dividida em 4 categorias, sendo: alto risco (cor vermelha), médio risco (cor laranja), baixo risco (cor amarela) e sem risco (cor verde).

A zona de alto risco se define pela zona preliminar de arraste somada à zona de alta suscetibilidade a movimentos de massa. A zona de médio risco considerou a zona de suscetibilidade à inundação somada a zona de média suscetibilidade a movimentos de massa. A zona de baixo risco considerou a zona de baixa suscetibilidade a movimentos de massa, enquanto a zona sem risco é a zona que não apresenta suscetibilidade nem à inundação e nem a movimentos de massa. Assim, os mapas a seguir apresentam as zonas de risco para o município de Arroio do Meio como um todo (Figura 10) e uma aproximação com a sede urbana (Figura 11), respectivamente.

Figura 10: Mapa do Zoneamento de Risco no município de Arroio do Meio.



LEGENDA:

Classificação de zona de risco

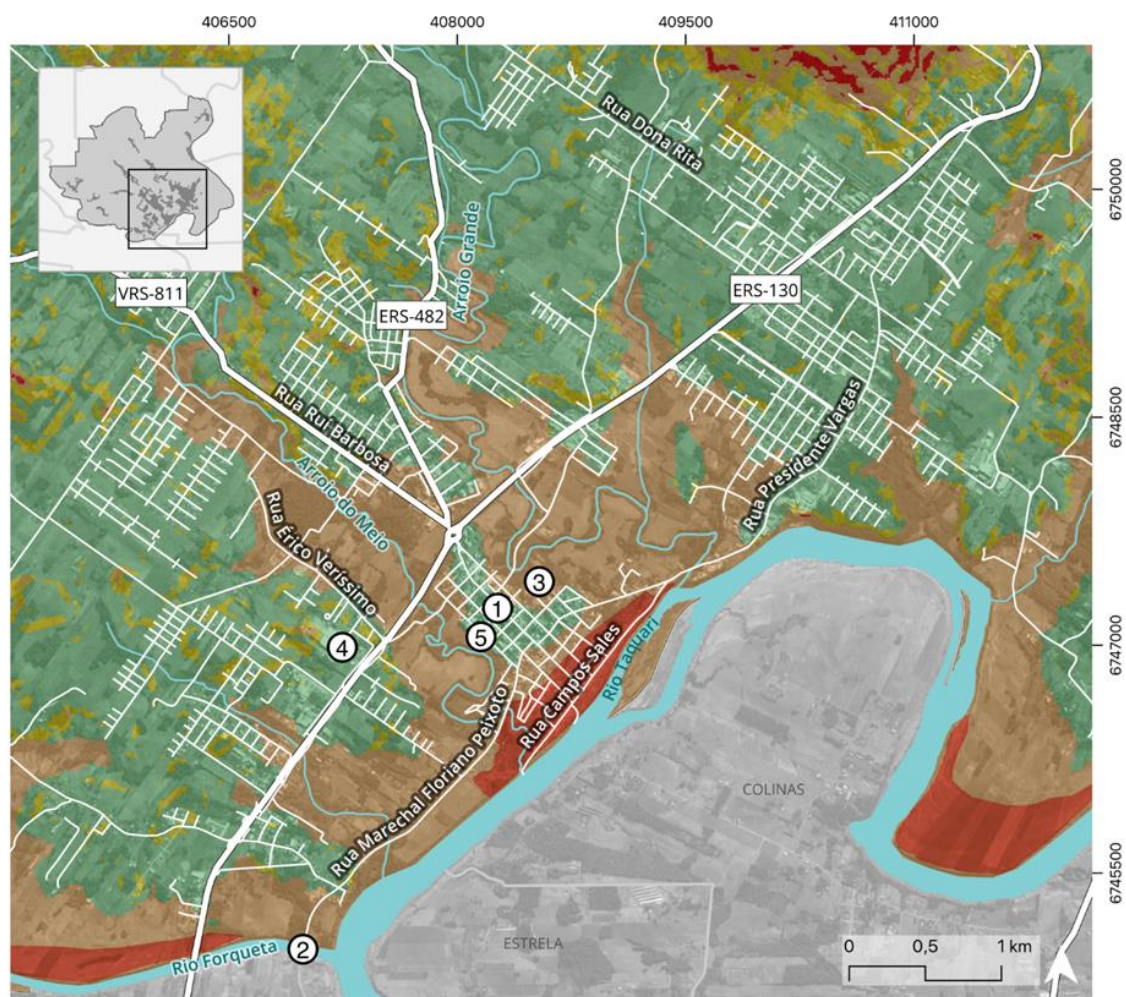
- Alto Risco (zona de arraste e zona de alta suscetibilidade a movimentos de massa)
- Médio Risco (zona de inundação e zona de média suscetibilidade a movimentos de massa)
- Baixo Risco (zona de baixa suscetibilidade a movimentos de massa)

- Sem Risco (sem suscetibilidade a inundações ou a movimentos de massa)
- Hidrografia
- Núcleos urbanos isolados
- Rodovias estaduais e federais
- Ferrovia

Nota: A classificação das zonas de risco está dividida em 4 categorias, sendo: alto risco (cor vermelha), médio risco (cor laranja), baixo risco (cor amarela) e sem risco (cor verde).

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

Figura 11: Mapa do Zoneamento de Risco na sede urbana de Arroio do Meio.



LEGENDA:

Classificação de zonas de risco

- Alto Risco
- Médio Risco
- Baixo Risco
- Sem Risco

Pontos de referência

- ① Prefeitura Municipal
- ② Ponte de Ferro
- ③ Parque Municipal Pérola do Vale
- ④ Neugebauer Alimentos
- ⑤ Hospital São José

— Rodovias

— Vias

— Hidrográfico

Nota: A classificação das zonas de risco está dividida em 4 categorias, sendo: alto risco (cor vermelha), médio risco (cor laranja), baixo risco (cor amarela) e sem risco (cor verde).

Fonte: Elaborado pela Equipe de Planejamento Territorial Univates.

Verifica-se, neste contexto, que 17,14% do território municipal de Arroio do Meio é caracterizado como área de alto risco, já as áreas de médio risco somam 31,04% do território, as áreas de baixo risco 16,92% e as áreas sem risco 34,88% do território. Características de extrema importância a serem consideradas para o planejamento do desenvolvimento urbano do município, visando garantir a segurança da população e a proteção do meio ambiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Zoneamento de Risco apresentado é um instrumento fundamental para o planejamento urbano, servindo como base estratégica para nortear o uso e ocupação do solo, especialmente em cenários de vulnerabilidade climática e geotécnica. Apesar de ser uma metodologia preliminar, ele aponta caminhos importantes para proteger comunidades de eventos extremos, como inundações, enxurradas e deslizamentos, e para evitar que ocupações em áreas inadequadas intensifiquem os impactos negativos de tais fenômenos.

A categorização das zonas de risco oferece subsídios concretos para a formulação de políticas públicas, permitindo que gestores identifiquem áreas prioritárias para intervenções e direcionem esforços para zonas seguras e sustentáveis. Além disso, sua integração com outros instrumentos de planejamento, como o Plano Diretor e o Código de Obras e Edificações, é indispensável para viabilizar soluções urbanísticas adequadas que considerem a dinâmica socioeconômica e ambiental do território.

No curto prazo, é necessário suspender aprovações de novos loteamentos e construções em áreas classificadas como de alto e médio risco, enquanto soluções técnicas mais robustas e regulamentações específicas são desenvolvidas. No longo prazo, o zoneamento de risco pode funcionar como uma ferramenta central para orientar a expansão urbana, promovendo o equilíbrio entre crescimento econômico, segurança habitacional e preservação ambiental.

O Zoneamento de Risco, ao estabelecer áreas vulneráveis e orientar o uso e ocupação do solo, é um instrumento essencial no planejamento urbano para reduzir os impactos de eventos naturais, como inundações, que, ao interagir com a ocupação inadequada, se tornam um risco significativo. Esse risco demanda análise criteriosa de custo-benefício para determinar medidas estruturais e não estruturais mais apropriadas.

A prevenção, com foco em estratégias não estruturais como o zoneamento e práticas extensivas, como melhorias na drenagem urbana e na cobertura vegetal, emerge como a abordagem mais eficaz, é menos onerosa, promove o uso racional do espaço urbano e reduz os prejuízos causados pela ocupação irregular, especialmente em áreas ainda não edificadas. Integrado ao planejamento territorial, o Zoneamento de Risco permite ações preventivas que otimizam os recursos disponíveis, priorizam a segurança dos habitantes e tornam as cidades mais resilientes e ambientalmente equilibradas, cumprindo, assim, sua função legal e social.

Além de proteger vidas e reduzir danos materiais, o zoneamento de risco contribui para a criação de cidades mais resilientes, que estejam preparadas para enfrentar desafios climáticos crescentes. Ele também fortalece a governança territorial, promovendo uma

ocupação do solo que seja não apenas mais segura, mas também mais eficiente e inclusiva, alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável.

Por fim, destaca-se que essa abordagem também promove uma maior conscientização social sobre a importância de respeitar os limites naturais, estimulando práticas urbanísticas que conciliam desenvolvimento e segurança. Assim, o zoneamento de áreas de risco é uma ferramenta essencial para a construção de cidades mais organizadas, protegidas e preparadas para enfrentar os desafios climáticos e geológicos futuros.

REFERÊNCIAS

AGOSTINI, Cíntia; GREVE, Gustavo. **Plano estratégico regional do Vale do Taquari**. Lajeado, 2009. Disponível em: <https://www.univates.br/media/bdr/planejamento-estrategico.pdf>. Acesso em: 12 set. 2024.

AGROSIG, FEENG. **Relatório técnico final topobatimétrico no trecho do Rio Taquari compreendido entre a cidade de Encantado-RS e a barragem de Bom Retiro do Sul-RS: Levantamento, consolidação e processamento de dados para determinação das seções.** 1. Porto Alegre: [s. n.], 2016.

ANDRADES FILHO, C.O. & MEXIAS, L.F.S. **Mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa decorrentes do acumulado de chuva no RS entre 27/04 e 13/05 de 2024**. Nota Técnica Conjunta IGEO/CEPSRM - 04/2024, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 18 jul. 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/igeo/wp-content/uploads/2024/07/Nota-Tecnica-Conjunta-04-2024-.pdf>. Acesso em: 12 set. 2024.

ARAÚJO, R.C.; MEDEIROS, P. R.; SILVA, R.J.S.; LUCENA, R.L. **Mapeamento da Suscetibilidade a Movimentos de Massa no Estado de Alagoas, Brasil**. Cadernos do LOGEPA, João Pessoa, v. 10, n. 1, (Jan-Jun) p. 2-21, 2022.

ARROIO DO MEIO. **Lei Municipal Nº 3.888, de 17 de dezembro de 2020**. Institui o Plano Diretor de Arroio do Meio. Arroio do Meio, 2020.

ARROIO DO MEIO. **Lei Municipal Nº 3.207 de 26 de agosto de 2013**. Cria a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil - COMPDEC e o Fundo Municipal de Proteção e Defesa Civil - FUMPDEC do município de Arroio do Meio, RS e dá outras providências. Arroio do Meio, 2013.

BRASIL. **Caderno Técnico de Gestão Integrada de Riscos e Desastres**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/Caderno_GIRD10_.pdf. Acesso em: 06 de ago. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 10.692 de 03 de maio de 2021**. Institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos. Brasília, 2021.

BRASIL. **Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1979.

BRASIL. **Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001.

BRASIL. **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; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2012.

BRASIL. **Nota Técnica nº 1/2023/SADJ-VI/SAM/CC/PR de 2023**. Atualização dos critérios e indicadores para a identificação dos municípios mais suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, enxurradas e inundações para serem priorizados nas ações da União em gestão de risco e de desastres naturais. Casa Civil Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento Secretaria Adjunta VI - Recursos Hídricos. Brasília, 2023.

BRASIL. **Portaria Nº 998, de 5 de abril de 2022**. Dispõe sobre as diretrizes e os procedimentos para transferência de recursos da União para reconstrução de unidades habitacionais destruídas por desastres, provenientes de situação de emergência ou de estado de calamidade pública reconhecidos pelo Ministério do Desenvolvimento Regional no âmbito da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022.

COSTA, J. **Ponte de ferro de Arroio do Meio é destruída, diz prefeito**. Disponível em: <https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/cidades/ponte-de-ferro-de-arroio-do->

meio-%C3%A9-destru%C3%ADda-por-enchente-diz-prefeito-1.1489799. Acesso em: 16 ago. 2024.

EMATER/RS-ASCAR. Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024. **Boletim Evento Adverso nº 01**, maio 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf>. Acesso em: 18 set 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Região intermediária, Região imediata, Mesorregião, Microrregião**. IBGE, Divisão Territorial Brasileira - DTB, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Áreas urbanizadas do Brasil: 2019**. Coordenação de Meio Ambiente, Rio de Janeiro, Brasil, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos - CNEFE**. Censo Demográfico 2022: notas metodológicas n. 04/2024: Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos - CNEFE; Nota metodológica 04/2024; Nota metodológica n. 04; Notas explicativas: Censo 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

KREUTZ, M. R.; SCHNEIDER, P.; MACHADO, N. T. G.; SANTOS, P. D.; SCHNEIDER, F. **Arroio do Meio : entre rios e povos**. 2. ed. – Lajeado : Editora Univates, 2020.

LAIPALT, L., ANDRADE, C. D.; COLLISCHONN, W.; TEIXEIRA, A. A.; DIAS DE PAIVA, R. C.; RUHOFF, A. **ANADEM: A Digital Terrain Model for South America**. Remote Sensing 16, no. 13: 2321. <https://doi.org/10.3390/rs16132321>

MONTE, B. *et al.* **Hydrological and hydraulic modelling applied to the mapping of flood-prone areas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [s.l.], v. 21, n. 1, p.152-167, 25 fev. 2016. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p152-167>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARROIO DO MEIO. **História e Povoamento**. Carla Jaqueline Schroeder - Coordenadora Técnica do Museu Público Municipal de Arroio do Meio. Disponível em: <https://arroiodomeio.rs.gov.br/pagina/id/2/?historia-do-municipio.html>. Acesso em: 15 ago. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Boletim Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS – 20/8.**

Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-20-8>. Acesso em: 11 nov. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Cartilha: O Uso e Ocupação do Solo em Áreas de Risco ou Suscetíveis a Desastres.** Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul, Centro de Apoio da Ordem Urbanística e Questões Fundiárias. Porto Alegre, 2024. Disponível em: https://www.mprs.mp.br/media/areas/urbanistico/arquivos/cartilha_areas_risco_atualizada.pdf. Acesso em: 01 ago. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Departamento de Economia e Estatística - DEE Dados, Ano-Base 2021.** Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão - SPGG. Porto Alegre, 2021. Disponível em: <http://deedados.planejamento.rs.gov.br/feedados>. Acesso em 20 de agosto de 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Termo de Referência - Contratação Emergencial de Assessoria Técnica e Metodológica para Elaboração do Plano de Reconstrução para os municípios do Vale do Taquari e revisão de Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano - Universidade do Vale do Taquari/UNIVATES.** Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Metropolitano - SEDUR. Porto Alegre, jun. 2024.

SAMPAIO, F. M. A. S; ROBAINA, L. E. S. **Susceptibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Taquari/Antas.** Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, n. 33, p. 85-105, jun. 2019.

SANTOS, D. M. **Zoneamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa, enxurradas e inundações no município de Marques de Souza, RS. 2015.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/51328839.pdf>. Acesso em: 24 Agosto 2024.

SIEDENBERG, D. R. **Condicionantes político-administrativos do desenvolvimento regional no RS - a experiência dos COREDES.** In: WITTMANN, M. L.; Ramos, M. P. (org.). Desenvolvimento regional: capital social, redes e planejamento. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, v. 1, p. 135-158, 2004.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Capacitação básica em Defesa civil: livro texto para educação à distância**. Brasília: Defesa Civil Nacional, 2011. Disponível em: <https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/Capacitação-Básica-em-Defesa-Civil-livro-texto.pdf>. Acesso em 01 de agosto de 2024.

USACE-RAS. **River Analysis System, HEC-RAS v5.0 – 2D Modeling User's Manual**. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2016b. 171 p.

¹ COREDEs – Conselhos Regionais de Desenvolvimento - Fóruns constituídos e órgãos legalmente instituídos no Estado do Rio Grande do Sul para discutir estratégias e propor políticas e ações voltadas ao desenvolvimento regional (SIEDENBERG, 2004, p.135).

² O Mapa Único do Plano Rio Grande (MUP RS) é o sistema integrado de mapeamento das áreas diretamente atingidas pelos fenômenos meteorológicos de abril e maio de 2024. O produto foi idealizado pela Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG), por meio dos Departamentos de Economia e Estatística (DEE) e de Planejamento Governamental (Deplan). Disponível em: <https://mup.rs.gov.br/>. Acesso em: 25 nov. 2024.

³ Capacitação básica em Defesa civil: livro texto para educação à distância. Brasília: Defesa Civil Nacional, 2011. Disponível em: <https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/Capacitação-Básica-em-Defesa-Civil-livro-texto.pdf>.

⁴ Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

⁵ Universidade do Vale do Taquari, instituição comunitária de ensino superior privada, sem fins lucrativos, localizada em Lajeado, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.