

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC

MAIKO ALEXANDER BINDEMANN RICHTER

AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E ESTRATÉGIAS DE
GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES POR CÂMERAS: NOVAS
ABORDAGENS EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

JOINVILLE

2024

MAIKO ALEXANDER BINDEMANN RICHTER

**AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E ESTRATÉGIAS DE
GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES POR CÂMERAS: NOVAS
ABORDAGENS EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas – CCT, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Romero Monteiro

Coorientadora: Profa. Dra. Virgínia Grace Barros

JOINVILLE

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Richter, Maiko Alexander Bindemann
Avaliação do monitoramento hidrológico e estratégias de
gestão de riscos e desastres por câmeras : Novas
abordagens em proteção e defesa civil / Maiko Alexander
Bindemann Richter. -- 2024.
111 p.

Orientador: Leonardo Romero Monteiro
Coorientadora: Virgínia Grace Barros
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2024.

1. Desastres hidrológicos. 2. Monitoramento. 3. Proteção e
Defesa Civil. 4. Sistemas de alerta. 5. Câmeras. I. Monteiro,
Leonardo Romero . II. Barros, Virgínia Grace . III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. IV. Título.

MAIKO ALEXANDER BINDEMANN RICHTER

**AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E ESTRATÉGIAS DE
GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES POR CÂMERAS: NOVAS
ABORDAGENS EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas – CCT, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Romero Monteiro

Coorientadora: Profa. Dra. Virgínia Grace Barros

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Romero Monteiro

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membros:

Profa. Dra. Franciele Maria Vanelli

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Prof. Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira

Universidade da Região de Joinville - Univille

Joinville, 31 de janeiro de 2024

Aos colegas profissionais do Sistema
Nacional de Proteção e Defesa Civil.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e discernimento durante esta jornada.

A minha esposa, Mayara, pelo incentivo, amor e opiniões sinceras. És minha morada, amor, orgulho e inspiração.

Aos meus pais, Wolfgang (*in memoriam*) e Elke, pela dedicação, amor e ensinamentos que serviram de alicerce na caminhada até aqui.

Ao meu irmão, Andreas, pelas responsabilidades assumidas quando a vida foi mais dura.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leonardo Romero Monteiro, pela confiança depositada, incentivos, ensinamentos e conhecimentos repassados.

A minha coorientadora, Profa. Dra. Virgínia Grace Barros, desde a longínqua graduação, pela parceria, projetos, ensinamentos e inspiração.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pela oportunidade e conhecimentos adquiridos.

À Defesa Civil de Joinville, pelas experiências, pelos amigos que tive a oportunidade de cultivar, pelos profissionais que aprendi a admirar e por me apresentar a vida real.

Por fim, aos meus amigos, colegas de trabalho, pelo apoio e colaboração nos momentos mais difíceis neste processo.

Meu muito obrigado a todos!

RESUMO

Dentre os desastres que mais causam prejuízos econômicos e perdas humanas no mundo atualmente estão as inundações, as enxurradas e os alagamentos. A gestão de riscos e desastres hidrológicos pode ser aperfeiçoada através da adoção de ferramentas e tecnologias emergentes que devem ser avaliadas individualmente para cada localidade. O Marco de Sendai, acordo internacional para a redução do risco de desastres, ressalta a relevância da inovação e tecnologia na fortificação da resiliência e na capacidade de reação diante de vários perigos. Este acordo promove a adoção de soluções tecnológicas para monitoramento, alerta precoce, avaliação de riscos e melhoria das estratégias de mitigação em escalas local, nacional, regional e global. Neste sentido o monitoramento hidrológico baseado em câmeras tem ganhado atenção nos últimos anos, principalmente devido à possibilidade de monitorar outras vertentes da gestão urbana ao mesmo tempo. O presente trabalho tem como objetivo avaliar uma abordagem de gestão de riscos e desastres hidrológicos, centrada na utilização de câmeras de monitoramento. Como metodologia foi adotada a abordagem de pesquisa fundamentada em um estudo de caso, avaliando o parque de câmeras de monitoramento da cidade de Joinville, SC, Brasil. Os critérios para avaliação foram a viabilidade de implantação, a localização de instalação dos pontos de monitoramento, as características dos equipamentos, as informações geradas pelas imagens, a integração do monitoramento por câmeras com outras ferramentas já utilizadas no município e o potencial de otimizar os protocolos operacionais e de alertas. Os resultados deste estudo apontaram a viabilidade positiva da implantação de câmeras de monitoramento, especialmente diante de prejuízos substanciais causados por desastres hidrológicos, ultrapassando 100 milhões de reais nas últimas décadas no município. Investimentos em ações de monitoramento e medidas preventivas são cruciais para mitigar esses impactos negativos. A análise revelou a importância da localização estratégica dos pontos monitorados, alinhada com áreas suscetíveis a desastres, validando o planejamento inicial. A implementação de protocolos operacionais específicos, baseados nos dados das câmeras, aprimorou a capacidade de resposta e auxiliou na promoção de uma abordagem proativa na gestão de riscos e de desastres. A combinação de

tecnologias e estratégias operacionais demonstrou eficácia no enfrentamento de dos perigos hidrometeorológicos, apontando para a necessidade de integração com inteligência artificial para otimizar a detecção e resposta em tempo real, além de facilitar a alocação de recursos de emergência.

Palavras-chave: Desastres hidrológicos; Monitoramento; Proteção e Defesa Civil; Sistemas de alerta; Câmeras.

ABSTRACT

Among the disasters that cause the most economic damage and human losses in the world today are floods and flash floods. Hydrological risk and disaster management can be improved through the adoption of emerging tools and technologies that must be assessed individually for each location. The Sendai Framework, the international agreement for disaster risk reduction, highlights the relevance of innovation and technology in strengthening resilience and in the ability to react in the face of various hazards. This agreement promotes the adoption of technological solutions for monitoring, early warning, risk assessment and improvement of mitigation strategies at local, national, regional, and global scales. In this sense, camera-based hydrological monitoring has gained attention in recent years, mainly due to the possibility of monitoring other aspects of urban management at the same time. The present work aims to evaluate an approach to hydrological risk and disaster management, centered on the use of monitoring cameras. As a methodology, the research approach based on a case study was adopted, evaluating the monitoring camera park in the city of Joinville, SC, Brazil. The criteria for evaluation were the feasibility of implementation, the location of the installation of the monitoring points, the characteristics of the equipment, the information generated by the images, the integration of camera monitoring with other tools already used in the city, and the potential to optimize operational and alert protocols. The results of this study pointed to the positive feasibility of implementing monitoring cameras, especially in the face of substantial losses caused by hydrological disasters, exceeding 100 million reais in recent decades in the city. Investments in monitoring actions and preventive measures are crucial to mitigate these negative impacts. The analysis revealed the importance of the strategic location of the monitored points, aligned with areas susceptible to disasters, validating the initial planning. The implementation of specific operational protocols, based on the data from the cameras, improved responsiveness and helped to promote a proactive approach to risk and disaster management. The combination of technologies and operational strategies has been shown to be effective in dealing with hydrometeorological hazards, pointing to the need for integration with artificial intelligence to optimize real-time detection and response, as well as facilitate the allocation of emergency resources.

Keywords: Hydrological disasters; Monitoring; Civil Protection and Defense; Warning systems; Cameras.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de atuação da Defesa Civil a partir da Lei 12.608/2012.....	23
Figura 2 - Relação entre os planejamentos para desenvolvimento de um plano de contingências.	34
Figura 3 - Eixos básicos de um sistema de monitoramento e alerta.	41
Figura 4 – Fluxograma metodológico.	56
Figura 5 - Território de Joinville, área de estudo.	61
Figura 6 - Pontos de monitoramento destinados à Defesa Civil Municipal.....	63
Figura 7 - Ranking das cidades brasileiras em relação aos danos humanos...	65
Figura 8 - Mancha de inundação oficial para o Município de Joinville.....	66
Figura 9 - Distribuição dos pontos de monitoramento de acordo com a tipologia.	68
Figura 10 - Porcentagem de pontos de monitoramento por tipo de processo. .	69
Figura 11 - Imagens das tipologias de processos monitorados. alagamento (A), enxurrada (B) e inundação (C).	70
Figura 12 - Caracterização de um ponto de monitoramento.	71
Figura 13 - Visualização dos pontos em diferentes condições.....	72
Figura 14 - Plataforma para gerenciamento do monitoramento.	73
Figura 15 - Imagem de via interrompida durante evento hidrológico.....	74
Figura 16 - Análise temporal de evento de inundação de via pública na Rua São Paulo, bairro Floresta	75
Figura 17 - Régua linimétrica pintada em locais de monitoramento.	76
Figura 18 - Imagens registradas em distâncias inferiores a 3 metros.	76
Figura 19 - Exemplo de local necessário para aplicação para determinação de vazão e velocidade de escoamento.	78
Figura 20 - Integração entre órgãos de resposta a desastres.....	80
Figura 21 - Imagem de monitoramento por radar meteorológico.	82
Figura 22 - Banhista em área de enxurrada.....	82
Figura 23 - Monitoramento simultâneo em pontos distintos em uma mesma bacia.	83
Figura 24 - Rede de pluviômetros instalados na cidade de Joinville/SC.	83
Figura 25 - Monitoramento em área de risco de enxurrada.	85
Figura 26 - Estágios operacionais do PLANCON.....	86

Figura 27 - Ocorrência identificada nas câmeras de monitoramento e despachadas para atendimento pelo Corpo de Bombeiros.....	87
Figura 28 - Monitoramento em áreas distantes e que podem isolar comunidades.	88
Figura 29 - Protocolo para transporte público em dias de alagamentos.	89
Figura 30 - Agentes de trânsito interrompendo o fluxo de automóveis em vias alagadas.....	90
Figura 31 - Monitoramento em terminais urbanos.....	90
Figura 32 - Exemplo de área alagada que será notificada na plataforma <i>Waze</i>	91
Figura 33 - Lançamento da informação na plataforma <i>Waze</i>	92
Figura 34 - Visualização de vias inundadas no aplicativo <i>Waze</i> pelo usuário convencional.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evolução legislativa em Proteção e Defesa Civil de 1943 até 2023	24
Quadro 2 - Fases da Gestão de Riscos e Desastres.	29
Quadro 3 - Tipificação dos desastres conforme Classificação e Codificação Brasileira de Desastres	37
Quadro 4 - Exemplo de aplicações de cidades inteligentes	45
Quadro 5 - Comparação de pesquisas relacionadas ao monitoramento hidrológico utilizando IA	53
Quadro 6 - Produtos técnicos para gestão de riscos elaborados pelo SGB.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CEIC	Centro Integrado de Comando
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos de Desastres
CEPED	Centro Universitário de Pesquisa e Estudos Sobre Desastres
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CONPDEC	Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
COR	Centro de Operações do Rio de Janeiro
CRED	<i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i>
DC	Defesa Civil
DL	<i>Deep Learning</i>
ECP	Estado de Calamidade Pública
EM-DAT	<i>Emergency Disasters Data Base</i>
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
FUNCAP	Fundo Especial para Calamidades Públicas
GEACAP	Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas
GRD	Gestão de Riscos e Desastres
HSC	<i>Horizon Scanning Centre</i>
IA	Inteligência Artificial
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
LSPIV	<i>Large-Scale Particle Image Velocimetry</i>
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
ML	<i>Machine Learning</i>
NEdNet	<i>National Education Network</i>
NMH	Núcleo Municipal de Hidrometeorologia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PDF	<i>Portable Document Format</i>
PIV	<i>Particle Image Velocimetry</i>

PLANCON	Plano de Contingências
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
RAHS	<i>Risk Assessment and Horizon Scanning</i>
S2ID	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SaaS	<i>Software as Service</i>
SE	Situação de Emergência
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção Civil
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIMGeo	Sistema Municipal de Geoprocessamento
SINDEC	Sistema Nacional de Defesa Civil
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SMS	<i>Short Message Service</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNDRR	<i>United Nations Office for Disaster Risk Reduction</i>
UNISDR	<i>United Nations International Strategy for Disaster Reduction</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2.	OBJETIVOS.....	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos	19
1.3.	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL NO BRASIL	21
2.2	GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES	28
2.2.1	Gestão de riscos	30
2.2.2	Gestão de desastres	32
2.3	COMPETÊNCIAS MUNICIPAIS NA GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES	35
2.4	DESASTRES HIDROLÓGICOS	36
2.5	SISTEMA DE MONITORAMENTO E ALERTA.....	40
2.6	CIDADES INTELIGENTES E GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES	42
2.6.1	TICs e novas abordagens em proteção e defesa civil	48
3	METODOLOGIA.....	56
3.1	ETAPAS DA PESQUISA	56
3.1.1	Viabilidade de implantação	56
3.1.2	Avaliação da localização dos pontos de monitoramento	58
3.1.3	Análise das características dos equipamentos e instalação	59
3.1.4	Avaliação das imagens geradas	59
3.1.5	Integração com outras ferramentas de monitoramento	60
3.1.6	Otimização de protocolos operacionais e de alerta	60
3.2	ESTUDO DE CASO	60
3.2.1	Parque de câmeras.....	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4.1	VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO	64
4.2	AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO	68
4.3	CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÃO.....	71

4.4	AVALIAÇÃO DAS IMAGENS GERADAS	74
4.5	INTEGRAÇÃO COM OUTRAS FERRAMENTAS DE MONITORAMENTO	80
4.6	PROTOCOLOS OPERACIONAIS E DE ALERTAS.....	85
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
	REFERÊNCIAS.....	95

1 INTRODUÇÃO

A criação da *Civil Defense Service* (Serviço de Defesa Civil) após os ataques sofridos entre 1940 e 1941 na Segunda Guerra Mundial, aponta a Inglaterra como o primeiro país a efetivar medidas organizadas para a segurança de sua população civil. Seguindo o modelo britânico, em 1942, o governo brasileiro criou o Serviço de Defesa Passiva Antiaérea, que depois teve suas finalidades alteradas ao longo das décadas até a configuração atual de Proteção e Defesa Civil (Rocha *et al.*, 2023; Londe *et al.*, 2023). Historicamente, as estratégias de gerenciamento de risco de desastres no Brasil se concentraram, essencialmente, no período do impacto e pós-impacto (Joner *et al.*, 2021). Hoje, a Proteção e Defesa Civil é compreendida como o conjunto de ações de prevenção, de preparação, de resposta e de recuperação destinado a evitar ou reduzir os riscos de acidentes ou desastres (Brasil, 2023a).

Desde 1988, a Defesa Civil no Brasil está organizada sob a forma de um sistema. No entanto, foi a partir da publicação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – aprovada pela Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012 – que a Gestão de Riscos de Desastres passou a compreender três etapas distintas e inter-relacionadas: ações de prevenção, de mitigação e de preparação (CEPED/UFSC, 2019), evidenciando-se sua importância institucional para a gestão de risco de desastres. Entende-se que a gestão de riscos de desastres pode ser definida como a aplicação de políticas e estratégias que visam prevenir novos riscos, reduzir os riscos existentes e gerir os riscos residuais, contribuindo para o fortalecimento da resiliência das cidades e para a redução das perdas por desastres (UNISDR, 2017).

Dentre os desastres que mais causam prejuízos econômicos e perdas humanas no mundo, atualmente, estão as inundações, enxurradas e alagamentos (Kastali *et al.*, 2021). De acordo com CRED (2020), neste século, os desastres hidrológicos foram responsáveis por mais de 100 mil óbitos e prejuízos financeiros estimados em US\$ 650 bilhões em todo o planeta. No contexto brasileiro, a falta de programas e políticas para gerenciar riscos e reduzir danos amplifica as perdas. Isso inclui a ausência de ferramentas de recuperação, fortalecimento e restauração de atividades econômicas em regiões

e comunidades impactadas, principalmente por eventos hidrológicos, que são os mais comuns e causadores de prejuízos e danos (Castro e Alvim, 2022).

Estudar formas de mitigar os riscos associados às inundações e fornecer uma resposta rápida durante esses eventos é fundamental para garantir a redução de perdas humanas, danos e prejuízos econômicos e ambientais (Munawar *et al.*, 2022). Uma estratégia complementar de redução de riscos consiste em sistemas de alerta, que são capazes de proporcionar redução aos danos causados pelos fenômenos hidrológicos, porém diversos fatores influenciam na sua eficácia, tais como: tempo de antecedência e confiabilidade do alerta e preparo dos envolvidos quanto às ações a serem tomadas na situação de aviso (Priest *et al.*, 2011).

Atualmente, o foco de muitos sistemas de gestão de risco de inundação está, principalmente, na previsão de inundações e na criação de mapas para determinar as áreas propensas à ocorrência desses desastres (Bhola *et al.*, 2020; Munawar *et al.*, 2022). Estudos relacionados a estes temas são comumente encontrados na literatura (e.g.: Nanditha e Mishra, 2021; Asititike *et al.*, 2022; Alipour *et al.*, 2022; Antwi-Agyakwa *et al.*, 2023), no entanto, há escassez de análises de tecnologias usadas para a detecção de ocorrências, identificação de áreas realmente afetadas e de como a população pode agir em momentos de desastres, buscando a autoproteção (Bentivoglio *et al.*, 2022; Jain *et al.*, 2018).

O Marco de Sendai, acordo internacional para a redução do risco de desastres, ressalta a relevância da inovação e tecnologia no fortalecimento da resiliência e na capacidade de resposta diante de vários perigos. Este acordo promove a adoção de soluções tecnológicas para monitoramento, alerta precoce, avaliação de riscos e melhoria das estratégias de mitigação em escalas local, nacional, regional e global (UNDRR, 2015). Cidades inteligentes têm utilizado amplamente a inteligência artificial e o sensoriamento remoto na gestão de mobilidade (Barros *et al.*, 2021), comunicação e segurança (Jan *et al.*, 2022; Rathore *et al.*, 2021; Mishra *et al.*, 2020).

Para minimizar os perigos e fornecer uma resposta mais adequada em momentos de emergências, várias medidas devem ser tomadas pelas autoridades de gestão de desastres antes de eventos hidrológicos críticos (Munawar *et al.*, 2022). Entre elas investir, desenvolver, manter e fortalecer

sistemas de alerta focados nas pessoas, para vários perigos e multissetoriais, mecanismos de comunicação de emergência e risco de desastres, tecnologias sociais e sistemas de telecomunicações de monitoramento de perigos (UNDRR, 2015).

1.1. JUSTIFICATIVA

O aumento da frequência e da intensidade das inundações, associada ao crescimento populacional e à expansão urbana em áreas suscetíveis, é uma realidade no município de Joinville, localizado no norte de Santa Catarina (SC), que desde a sua fundação em 1851 apresenta registros dessas ocorrências (Capioli e Vieira, 2019). A Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações para Joinville/SC (IPT, 2014) aponta que 13,9% da área urbanizada possui suscetibilidade alta para inundações. Este cenário é composto por uma componente a mais além das chuvas fortes, uma vez que por ser uma cidade litorânea a combinação de marés, astronômica e meteorológica, é frequente e pode aumentar em até 80% o valor das cotas de alagamento (Joinville, 2011).

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, instituída pela Lei Federal nº 12.608 (Brasil, 2012) elenca como um dos seus objetivos o monitoramento dos eventos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, e outros potencialmente causadores de desastres. Em 2023, através da Lei Federal nº 14.750 (Brasil, 2023a), foi incluída entre as competências dos Municípios a necessidade de produzir alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres, inclusive por meio de sirenes e mensagens via telefonia celular, para cientificar a população e orientá-la sobre padrões comportamentais a serem observados em situação de emergência. Assim como, realizar o monitoramento em tempo real das áreas classificadas como de risco alto e muito alto a desastres.

Abordagens tradicionais no campo do monitoramento e previsão de eventos hidrológicos, voltadas à Proteção e Defesa Civil, utilizam-se de rede de estações hidrometeorológicas compostas por sensores de medição e equipamentos de transmissão de dados (Jan *et al.*, 2022). Embora os sensores de medição do nível da água sejam um dos mais comuns para implementação, a detecção do nível da água baseada em câmeras tem ganhado atenção nos

últimos anos (Arshad *et al.*, 2019). Para Jan *et al.* (2022), isto ocorre, pois, uma rede baseada em câmeras também pode servir como sistemas de vigilância e, da mesma forma, a infraestrutura existente de câmeras de vigilância também pode ser usada para realizar o monitoramento de inundações e outros desastres, o que é benéfico em uma cidade inteligente.

A respeito disso, é necessário otimizar recursos, especialmente, através do emprego de tecnologias integradas. Para Acemoglu e Restrepo (2019), a combinação estratégica de tecnologias pode catalisar transformações positivas em diversos setores. Sarker *et al.* (2020) ressaltam que é cada vez mais reconhecido que tecnologias específicas podem ajudar a melhorar cada fase da gestão de desastres, principalmente em países onde os recursos humanos e financeiros possuem limitações.

Em 2022, foi iniciada a implementação de um robusto projeto de segurança e monitoramento na cidade de Joinville/SC. Um parque composto por 1728 câmeras foi instalado em 470 pontos estratégicos, inicialmente destinado aos órgãos de segurança pública, trânsito e defesa civil. Essa extensa rede de vigilância fortalece a segurança local, e também abre novas possibilidades para a gestão urbana inteligente, proativa e inovadora no monitoramento de eventos hidrológicos.

Com base no exposto, o presente trabalho visa avaliar uma abordagem de gestão de riscos e desastres, centrada na utilização de tecnologia de câmeras de monitoramento, com o propósito de aprimorar a detecção precoce de desastres hidrológicos, o levantamento de dados, como nível, ocorrência e duração do evento, a análise de padrões e a coordenação de respostas, visando reduzir impactos negativos e otimizar a segurança em situações de desastres hidrológicos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é avaliar uma abordagem de gestão de riscos e desastres hidrológicos, centrada na utilização de tecnologia de câmeras de monitoramento.

1.2.2 Objetivos Específicos

O objetivo geral da pesquisa será atendido através dos seguintes objetivos específicos:

- a) diagnosticar a viabilidade de implantação da solução proposta;
- b) avaliar os critérios para determinação da localização geográfica de instalação dos pontos de monitoramento;
- c) identificar oportunidades de melhorias nas instalações e configurações do sistema;
- d) avaliar as informações fornecidas pela atual configuração do parque de câmeras e o potencial para geração de dados;
- e) identificar as ferramentas de monitoramento existentes no município de Joinville visando a integração de sistemas e otimização de protocolos operacionais de emergência.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo é composto por cinco capítulos, sendo esta Introdução o primeiro deles que inclui a apresentação da justificativa e os objetivos do trabalho.

O Capítulo 2 consiste na Revisão Bibliográfica, que inicia com a apresentação da Proteção e Defesa Civil no Brasil. Em seguida são apresentados os conceitos relacionados à gestão de riscos e de desastres e as competências municipais na gestão dessas abordagens. São conceituados também os desastres hidrológicos e suas tipologias de acordo com a classificação brasileira de desastres. O capítulo ainda aborda os conceitos e ferramentas de sistemas de monitoramento e alerta. Finalizando o capítulo são apresentadas novas abordagens na gestão urbana e no monitoramento de eventos hidrológicos com vistas ao uso de tecnologias de informação.

No Capítulo 3 define-se a metodologia de trabalho. A metodologia está dividida em sete partes, que compõem a sequência das atividades realizadas: revisão bibliográfica, diagnóstico para necessidade de implantação, determinação da localização dos pontos de monitoramento, análise das

características dos equipamentos e instalação, avaliação das imagens geradas, integração com outras ferramentas de monitoramento, otimização de protocolos operacionais e de alerta. Ainda neste capítulo se apresenta a área de estudo.

O Capítulo 4 apresenta os Resultados e Discussão com base na avaliação do parque de câmeras instalado no município de Joinville/SC. O Capítulo 5 apresenta as Considerações Finais que levam ao fechamento do presente trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Revisão Bibliográfica divide-se em seis itens: Proteção e Defesa Civil no Brasil, Gestão de Riscos e Desastres, Competências Municipais na Gestão de Riscos e Desastres, Desastres Hidrológicos, Sistema de Monitoramento e Alerta e, Cidades Inteligentes e Gestão de Riscos e Desastres.

2.1 PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL NO BRASIL

Atualmente a Proteção e Defesa Civil é compreendida como o conjunto de ações de prevenção, de preparação, de resposta e de recuperação destinado a evitar ou reduzir os riscos de acidentes ou desastres (Brasil, 2023a). Ao longo da história, a ideia de Proteção e Defesa Civil tem suas raízes em iniciativas governamentais voltadas para a salvaguarda de populações vulneráveis a ameaças de ataques militares e eventos catastróficos. Os três períodos emblemáticos que moldaram a origem desse conceito são a Primeira Guerra Mundial, a Segunda Guerra Mundial e o período Pós-Guerra Fria (Londe *et al.*, 2023). No Brasil, a primeira proposta de Defesa Civil foi inspirada no modelo britânico *Civil Defense Service*, quando em 1942 o governo brasileiro criou o Serviço de Defesa Passiva Antiaérea, após a ocorrência de ataques a navios mercantes, perpetrado por submarinos alemães e italianos, durante a Segunda Guerra Mundial e que vitimaram 56 pessoas (Rocha *et al.*, 2023).

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, o país criou o Conselho de Segurança Nacional, que gerenciou os assuntos relativos à defesa civil até a década de 1960. Nesta década, graves desastres foram registrados no Brasil. Entre eles uma seca severa no Nordeste, em 1960, e uma grande enchente em 1966 no Estado do Rio de Janeiro (Rocha *et al.*, 2023). O então Estado da Guanabara, como era conhecido na época, organizou, por meio do Decreto Estadual nº. 1.373, de 19 de dezembro de 1966, a Comissão Central de Defesa do Estado. Neste decreto foram estabelecidos mecanismos para a mobilização de diversos órgãos que estariam envolvidos nos atendimentos aos atingidos pelo desastre (Oliveira e Hora, 2015).

Para CEPED/UFSC (2014), nas décadas de 1960 e 1970, em virtude do aumento no número de desastres, houve a consolidação da defesa civil no Brasil.

Estes movimentos iniciais foram impulsionados pelos estados brasileiros, com destaque para: a Guanabara (1966), Rio Grande do Sul (1970), Paraná e Minas Gerais (1972), Santa Catarina (1973) e São Paulo (1976). Dado esses avanços em níveis estaduais, o Brasil passou a formular diversos atos legais federais tratando sobre o tema. Sendo que até 1988, o país teve sua Defesa Civil voltada para realizar somente ações de resposta a desastres (Rocha *et al.*, 2023).

Com o advento da Constituição de 1988, fixou-se que o planejamento e a promoção da defesa permanente contra calamidades é de competência da União. No mesmo ano foi organizado pela primeira vez o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC), integrando órgãos públicos e entidades privadas interessadas na temática, em todo o território nacional. Naquela ocasião, definiu-se a expressão “defesa civil” e se dividiram as situações de anormalidade em duas: o estado de calamidade pública e a situação de emergência (Veiga Junior *et al.*, 2020).

O SINDEC foi reorganizado em duas ocasiões, sendo a primeira no ano de 1993 e posteriormente no ano de 2005. Nesta última houve a expansão das ações de defesa civil e a ampliação da cultura de prevenção de desastres. Além disso criou-se o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos de Desastres (CENAD), com objetivo de preparação para respostas a emergências e desastres em nível nacional (Rocha *et al.*, 2023).

Como visto, embora o sistema normativo brasileiro já possuísse dispositivos legislativos que abordassem a temática dos desastres, o marco legal definitivo sobre essa questão consagrou-se em 2012, por meio da Lei Federal nº 12.608. Esta Lei representou um significativo avanço na estruturação do sistema brasileiro de proteção e defesa civil, sendo reconhecida como um ponto crucial para sua consolidação. Abrangendo décadas de boas práticas ela instituiu:

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 e dá outras providências (Brasil, 2012).

Impulsionada sobremaneira pelos desastres ocorridos em Santa Catarina em 2008, e na região serrana do Rio de Janeiro em 2011, a referida lei abrange as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas

à Proteção e Defesa Civil (Figura 1), promovendo a integração de políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, infraestrutura, educação, além de outras políticas setoriais, visando promover o desenvolvimento sustentável (Rodrigues, 2020; Rocha *et al.*, 2023).

Figura 1 - Ciclo de atuação da Defesa Civil a partir da Lei 12.608/2012.



Fonte: CEPED/UFSC (2019)

Como mencionado anteriormente, a formação da Defesa Civil no Brasil foi impulsionada por diversos eventos que moldaram sua estrutura. A progressão legislativa do assunto, abrangendo Portarias, Decretos e Leis, de 1943 a 2023, desempenhou um papel crucial no cenário atual, estabelecendo a base legal para a história da Defesa Civil no país. Parte desta progressão é demonstrada no Quadro 1.

Quadro 1 - Evolução legislativa em Proteção e Defesa Civil de 1943 até 2023 (continua)

Legislação	Descrição
Decreto-Lei nº 5.861, de 1943	Modificou a denominação de Defesa Passiva Antiaérea para Serviço de Defesa Civil, sob a supervisão da Diretoria Nacional do Serviço da Defesa Civil, do Ministério da Justiça e Negócios Interiores
Lei nº 3.742, de 1960	Reconheceu a necessidade de ressarcir prejuízos causados por desastres naturais, dispondo sobre os mecanismos federais para tal
Decreto nº 64.568, de 1969	Criou um Grupo de Trabalho para elaborar plano de defesa permanente contra calamidades públicas. Posteriormente, em 13 de outubro de 1969, através do Decreto-Lei nº. 950, foi instituído ao Ministério do Interior o Fundo Especial para Calamidades Públicas (FUNCAP), fixando a dotação de recursos para ações de resposta contra as calamidades públicas e outras providências
Decreto nº 67.347, de 1969	Criou o Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas (GEACAP), com pessoas preparadas para enfrentar situações extraordinárias decorrentes de desastres
Decreto-Lei nº 83.839, de 1979	Criou a Secretaria Especial de Defesa Civil, cuja finalidade era exercer em todo o território nacional, através do apoio de coordenadorias regionais de Defesa Civil, a coordenação das atividades relativas às medidas preventivas, assistenciais e de recuperação dos efeitos produzidos por fenômenos adversos de quaisquer origens, bem como aquelas destinadas a preservar o moral da população e o restabelecimento da normalidade da vida comunitária

Quadro 1 - Evolução legislativa em Proteção e Defesa Civil de 1943 até 2023 (continuação)

Legislação	Descrição
Decreto nº 97.274, de 1988	Instituiu a organização do Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC), incluindo pela primeira vez ações de prevenção como atribuições de defesa civil. O sistema tinha como objetivo planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades, conforme prevê o artigo 21, inciso XVIII, da Constituição Federal de 1988. Realizando a integração e atuação dos órgãos e entidades de planejamento, coordenação e execução das medidas de assistência às populações por fatores anormais e adversos, bem como de prevenção ou recuperação de danos em Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP). A partir de então, compreendeu-se que o trabalho da Defesa Civil como instituição estratégica deveria ser voltado também para a redução de riscos de desastres. Esta diretriz foi revogada por intermédio do Decreto Federal nº 895 de 16 de agosto de 1993, que reorganizou o SINDEC
Decreto nº 895, de 1993	Reorganizou o SINDEC e ampliou as atribuições e o número de órgãos federais no Conselho Nacional de Defesa Civil (CONDEC)
Lei nº 10.954, de 2004	Instituiu, no Programa de Resposta aos Desastres, o Auxílio Emergencial Financeiro
Decreto nº 5.376, de 2005	Atualizou novamente a estrutura, a organização e criou diretrizes para o funcionamento do SINDEC e do CONDEC, além de incrementar mais ações aos diversos órgãos componentes
Decreto s/nº, de 2009	Convocou a 1ª Conferência Nacional de Defesa Civil e Assistência Humanitária

Quadro 1 - Evolução legislativa em Proteção e Defesa Civil de 1943 até 2023 (continuação)

Legislação	Descrição
Decreto nº 7.257, de 2010	Regulamentou a MP 494/2010 para dispor sobre o SINDEC, sobre o reconhecimento de situação de emergência e ECP, sobre as transferências de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastres
Lei nº 12.340, de 2010	Convertiu em lei a MP 494/2010 sobre as transferências de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastres e sobre o FUNCAP
Decreto nº 7.505, de 2011	Alterou o decreto nº 7.257/2010 que regulamentava a MP 494/10 para dispor sobre o Cartão de Pagamento de Defesa Civil
Medida Provisória nº 547, de 2011	Instituiu o cadastro nacional de municípios com áreas propícias à ocorrência de escorregamentos de grande impacto ou processos geológicos correlatos
Lei nº 12.608, de 2012	Instituiu-se a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), modificando a nomenclatura dos Órgãos de Defesa Civil para Órgãos de Proteção e Defesa Civil
Portaria nº 526, de 2012	Tornou obrigatório o uso do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), visando qualificar as informações sobre a ocorrência de desastres no território nacional e dar transparência a essas informações, revogada pela Portaria nº 3.234, de 28.12.2020

Quadro 1 - Evolução legislativa em Proteção e Defesa Civil de 1943 até 2023 (continuação)

Legislação	Descrição
Lei nº 12.983, de 2014	Altera a Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, para dispor sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco e de resposta e recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil, e as Leis n.º 10.257, de 10 de julho de 2001, e 12.409, de 25 de maio de 2011, e revoga dispositivos da Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010
Instrução Normativa nº 36, de 2020	Estabelece procedimentos e critérios para o reconhecimento federal e para a declaração de situação de emergência ou ECP pelos municípios, estados e Distrito Federal, revogada pela Portaria nº 260, de 02 de fevereiro de 2022
Decreto nº 10.593, de 2020	Organiza o funcionamento do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil e dispõe sobre o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de Informações sobre Desastres
Portaria nº 3.234, de 2020	Reestrutura o funcionamento do processo administrativo eletrônico e digital do S2ID e a sua utilização, no âmbito da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, para a solicitação de reconhecimento de Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública e na transferência de recursos federais para as ações de resposta e de recuperação para estados e municípios afetados por desastres

Quadro 1 - Evolução legislativa em Proteção e Defesa Civil de 1943 até 2023 (conclusão)

Legislação	Descrição
Portaria nº 773, de 2021	Aprova a Norma de Defesa Civil (Normadec), que dispõe sobre os procedimentos e critérios técnicos para priorização de propostas de ações de prevenção para redução de riscos de desastres
Decreto nº 10.689, de 2021	Institui o Grupo de Apoio a Desastres (GADE), no âmbito do Ministério do Desenvolvimento Regional, para atuar nas diversas fases do desastre no território nacional
Decreto nº 10.692, 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
Portaria nº 260, de 2022	Estabelece procedimentos e critérios para o reconhecimento federal e para a declaração de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e Distrito Federal
Lei nº 14.750, de 12 de dezembro de 2023	Altera as Leis nº 12.608, de 10 de abril de 2012, e nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, para aprimorar os instrumentos de prevenção de acidentes ou desastres e de recuperação de áreas por eles atingidas, as ações de monitoramento de riscos de acidentes ou desastres e a produção de alertas antecipados.

Fonte: Adaptado de Rocha *et al.* (2023)

2.2 GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES

Cada vez mais se observa a construção, consolidação e institucionalização de novos paradigmas relacionados à Gestão de Riscos e Desastres (GRD), orientados para a prevenção, a sustentabilidade e a participação social. No Brasil, a Lei nº 12.608/2012, que estabelece a Política

Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC, impulsiona esse avanço, exigindo conhecimentos, estratégias e ferramentas para reduzir os riscos e a incidência de desastres no contexto nacional (Brasil, 2021b).

Conforme Lavell (2003), a gestão de riscos e desastres é um processo social complexo que visa reduzir, prevenir e controlar permanentemente os riscos de desastres, integrando-se para promover o desenvolvimento humano, econômico, ambiental e territorial. O Ministério do Desenvolvimento Regional (Brasil, 2021b), por meio do Caderno Técnico de Gestão Integrada de Risco e Desastres, define a GRD como um processo social contínuo, apoiado por estruturas institucionais e comunitárias, com o propósito de enfrentar vulnerabilidades e ameaças em um território.

De acordo com Araújo (2012), esses processos envolvem atividades relacionadas à esfera política e se subdividem em três fases distintas, mas que estão inter-relacionadas, conforme o Quadro 2. Os autores Vazquez e Santos (2021), apontam que a Gestão de Riscos e Desastres se divide em gestão de riscos, abrangendo as ações de prevenção/ mitigação e preparação, e em gestão de desastres, na qual são executadas as ações de resposta e recuperação.

Quadro 2 - Fases da Gestão de Riscos e Desastres.

Fase	Ações
Pré-desastre	- Prevenção / Mitigação; - Preparação;
Durante o desastre	- Resposta
Pós-desastre	- Recuperação

Fonte: Adaptado de Vazquez e Santos (2021).

Para Brasil (2021), ações essenciais para a GRD envolvem a formulação de políticas públicas e instrumentos legais; intervenções estruturais (obras e serviços, da engenharia tradicional e/ou de medidas não convencionais; intervenções não estruturais (ações contingenciais, educação para prevenção e resiliência, comunicação de risco, medidas de redução das vulnerabilidades) e o planejamento e preparação para o manejo dos desastres e para a reconstrução após os desastres.

2.2.1 Gestão de riscos

Com a criação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), a Gestão de Riscos passou a compreender três etapas distintas e inter-relacionadas: ações de prevenção, de mitigação e de preparação (CEPED/UFSC, 2019), evidenciando a sua importância institucional para a gestão de risco de desastres.

A Lei Federal nº 14.750, de 12 de dezembro de 2023, que alterou alguns conceitos contidos na PNPDEC, redefiniu os conceitos das ações de prevenção, que passou a vigorar com a seguinte descrição:

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.

Para Vazquez e Santos (2021), os termos prevenção e mitigação frequentemente se entrelaçam. No âmbito de desastres, a prevenção busca reduzir, enquanto a mitigação visa limitar os impactos adversos de ameaças e desastres. Ações inicialmente preventivas acabam por se transformar em ações de minimização dos desastres.

A mesma Lei inclui também a descrição de preparação:

IX - preparação: ações destinadas a preparar os órgãos do SINPDEC, a comunidade e o setor privado, incluídas, entre outras ações, a capacitação, o monitoramento e a implantação de sistemas de alerta e da infraestrutura necessária para garantir resposta adequada aos acidentes ou desastres e para minimizar danos e prejuízos deles decorrentes.

Entende-se que a gestão de riscos pode ser definida como a aplicação de políticas e estratégias que visam prevenir novos riscos, reduzir os riscos existentes e gerir os riscos residuais, contribuindo para o fortalecimento da resiliência das cidades e para a redução das perdas por desastres (UNISDR, 2017).

A concepção de risco abrange várias aplicações, podendo ser percebida de maneiras distintas, independente de intuição, aparência ou restrições.

Algumas pessoas enfrentam o risco diariamente, sem meios para evitá-lo ou superá-lo, independentemente da definição de risco utilizada para descrever a situação (Garcia; Viana; Lima, 2023).

Para Macedo e Bressani (2013), as primeiras definições de risco originam-se das ciências naturais e geociências, onde o risco era inicialmente compreendido como a probabilidade de um processo físico prejudicial ocorrer, destacando-se o perigo, a ameaça ou o evento físico desencadeador do desastre. Assim, foi estabelecido que o risco de desastres é a relação entre a probabilidade de ocorrência de um processo físico gerador de danos e as consequências de seu impacto na vida de pessoas ou comunidades.

De acordo com a *United Nations Office For Disaster Risk Reduction - UNDRR* (2023a), o risco de desastre consiste em um evento possível com potencial de causar danos e prejuízos, em função das ameaças, condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade de enfrentamento. A equação (1) expressa a relação simultânea e interconectada dessas variáveis e define tais conceitos. Para Brasil (2021), a expressão apresentada pela equação (1) possibilita uma análise abrangente de uma condição de risco em um contexto específico temporal e espacial. Se eventos destrutivos ocorreram previamente, eles podem ser incorporados à avaliação da probabilidade de novas ocorrências, considerando características, grau de perigo, alcance do processo e uma análise das possíveis consequências.

$$R = \frac{P(fA) \times C(fV)}{g} \quad (1)$$

onde R corresponde aos riscos (de desastres), P é a probabilidade de ocorrência futura de determinado processo do meio físico que representa ameaça, fA é a ameaça, C corresponde às consequências danosas às pessoas e/ou aos bens em função da vulnerabilidade do meio exposto à ameaça, fV é a vulnerabilidade e g é a capacidade de gerenciamento do problema ou de resiliência diante de ameaça, seja do governo local, seja dos indivíduos, seja da comunidade exposta.

Brasil (2021) ainda cita ações essenciais ao gerenciamento dos riscos, dentre as quais destacam-se: apoio dos governos locais às comunidades em situação de risco; avaliações periódicas das situações de risco por meio de

mapeamentos; monitoramento e manutenção de sistemas de alerta e alarme; desenvolvimento de pesquisas técnico-científicas e medidas estruturais de redução de riscos.

Para Marchezini (2015), o foco nas consequências, e não nas causas, deixa de considerar o contexto socioambiental no qual ocorrem os desastres e a vulnerabilidade de pessoas, bens e infraestrutura atingidos. Para o autor, entender essa dimensão torna-se fundamental para identificar quais opções temos para reduzir tragédias que já estão anunciadas. Desenvolver a análise de riscos e desastres a partir da vulnerabilidade possibilitou compreender por que processos físicos similares resultam em danos mais extensos e consequências mais profundas em territórios economicamente desfavorecidos e socialmente menos organizados (Brasil, 2021b). A identificação de ameaças e vulnerabilidades pode impulsionar o desenvolvimento da disposição e capacidade do governo local e das comunidades em risco para agir diante do problema.

2.2.2 Gestão de desastres

Após a ocorrência do desastre, são empreendidas as ações operativas de gerenciamento de desastres. Assim como para demais conceitos e terminologias, diferentes instituições possuem suas definições relacionadas ao entendimento de Gestão de Desastres. Para a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – SEDEC (2017) a gestão de desastres pode ser compreendida como um processo amplo de planejar, coordenar e executar as ações de resposta e de recuperação. O desempenho nesta etapa é reflexo da preparação na fase da gestão de riscos.

Nesse sentido, o Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres (UNDRR), inclui as ações de preparação na fase de gerenciamento de desastres, definindo-a como processo de organização, planejamento e aplicação de medidas de preparação, resposta e recuperação de desastres (UNDRR, 2023b).

Analisando outros autores, percebe-se que este gerenciamento abrange um conjunto de ações e são desempenhadas por profissionais de diferentes áreas, focado em 5 eixos de atuação: atividades de socorro; atividades de

assistência à população, reabilitação de cenários, recuperar as áreas afetadas e reconstruir (Castro, 2007; Araújo, 2012; Pinheiro, 2015; Back, 2016).

Este conjunto de ações multidisciplinares e interdisciplinares que envolve diferentes instituições para atuarem no momento de maior intensidade do desastre são previstos em documentos chamados planos de emergência ou de contingência (Silva, 2023).

Dentro da gestão de desastres, o Plano de Contingências (PLANCON) é definido pelo Decreto Federal nº 10.593, de 24 de dezembro de 2020, que regulamenta a Lei Federal nº 12.608/2012 como:

Um conjunto de medidas preestabelecidas destinadas a responder a situação de emergência ou o estado de calamidade pública de forma planejada e intersetorialmente articulada, elaborado com base em hipóteses de desastre, com o objetivo de minimizar os seus efeitos (Brasil, 2020).

Abordagens internacionais sobre o tema convergem para o mesmo entendimento quanto à definição de plano de contingência podendo ser entendido como o documento que registra o planejamento elaborado a partir da percepção e análise de um ou mais cenários de risco de desastres e estabelece os procedimentos para ações de monitoramento, alerta, alarme, fuga, socorro, assistência às vítimas e estabelecimento de serviços essenciais (UNISDR, 2009; FEMA, 2010).

A agência americana FEMA (*Federal Emergency Management Agency*), em seu guia do desenvolvimento de planos de emergência (FEMA, 2010), elenca três níveis de planejamento a serem desenvolvidos. A Figura 2 esquematiza a relação entre os três níveis. No topo da pirâmide está o planejamento estratégico que se refere ao planejamento mais amplo e abrangente e está relacionado com os objetivos de longo prazo e com estratégias e ações para alcançá-los. Em complemento, no planejamento tático seu desenvolvimento se dá pelos níveis organizacionais intermediários, tendo como objetivo a utilização eficiente dos recursos disponíveis, com projeção em médio prazo, e fornece a estrutura para o planejamento operacional na base. Por sua vez o planejamento operacional é realizado para cada tarefa ou atividade, com foco nas atividades rotineiras, portanto os planos são desenvolvidos para períodos de tempo bastante curtos.

O autor reforça a necessidade de que essas três camadas de planejamento ocorram em todos os níveis de governo.

Figura 2 - Relação entre os planejamentos para desenvolvimento de um plano de contingências.



Fonte: Adaptado de FEMA (2010).

No Brasil, os elementos a serem considerados no Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil estão estabelecidos na Lei Federal nº 12.983, de 2 de junho de 2014, conforme artigo 3º, parágrafo 7º:

- I - indicação das responsabilidades de cada órgão na gestão de desastres, especialmente quanto às ações de preparação, resposta e recuperação;
- II - definição dos sistemas de alerta a desastres, em articulação com o sistema de monitoramento, com especial atenção dos radioamadores;
- III - organização dos exercícios simulados, a serem realizados com a participação da população;
- IV - organização do sistema de atendimento emergencial à população, incluindo-se a localização das rotas de deslocamento e dos pontos seguros no momento do desastre, bem como dos pontos de abrigo após a ocorrência de desastre;
- V - definição das ações de atendimento médico-hospitalar e psicológico aos atingidos por desastre;
- VI - cadastramento das equipes técnicas e de voluntários para atuarem em circunstâncias de desastres;
- VII - localização dos centros de recebimento e organização da estratégia de distribuição de doações e suprimentos.

Silva (2023) ressalta que o tempo gasto em planejamento de contingências é diretamente proporcional ao tempo economizado no atendimento aos desastres, evidenciando a importância de planos bem formulados.

2.3 COMPETÊNCIAS MUNICIPAIS NA GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES

As instituições de Proteção e Defesa Civil, em diferentes esferas (municipal, estadual e federal), são parte crucial na gestão de riscos e desastres no Brasil. Os desastres acontecem localmente, assim é fundamental que os órgãos municipais estejam preparados e estruturados para desempenhar ações preventivas, de resposta e de recuperação, atuando em parceria com outros órgãos locais e com a comunidade (Londe; Soreano; Coutinho, 2015).

Nogueira, Oliveira e Canil (2014) apontam que há uma disparidade em relação à vulnerabilidade institucional, política e técnica nos diversos contextos municipais e regionais no Brasil. Superar essas vulnerabilidades é um desafio para que as competências previstas na Lei nº 12.608/2012 sejam de fato realizadas em sua plenitude.

O Artigo 8º da lei supracitada descreve as responsabilidades atribuídas às municipalidades:

- I - executar a PNPDEC em âmbito local;
- II - coordenar as ações do SINPDEC no âmbito local, em articulação com a União e os Estados;
- III - incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal;
- IV - identificar e mapear as áreas de risco de desastres;
- V - promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas;
- V-A - realizar, em articulação com a União e os Estados, o monitoramento em tempo real das áreas classificadas como de risco alto e muito alto (Incluído pela Lei nº 14.750, de 2023);
- V-B - produzir, em articulação com a União e os Estados, alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres, inclusive por meio de sirenes e mensagens via telefonia celular, para cientificar a população e orientá-la sobre padrões comportamentais a serem observados em situação de emergência (Incluído pela Lei nº 14.750, de 2023);
- VI - declarar situação de emergência e estado de calamidade pública;
- VII - vistoriar edificações e áreas de risco e promover, quando for o caso, a intervenção preventiva e a evacuação da população das áreas de alto risco ou das edificações vulneráveis;
- VIII - organizar e administrar abrigos provisórios para assistência à população em situação de desastre, em condições adequadas de higiene e segurança;

- IX - manter a população informada sobre áreas de risco e ocorrência de eventos extremos, bem como sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres;
- X - mobilizar e capacitar os radioamadores para atuação na ocorrência de desastre;
- XI - realizar regularmente exercícios simulados, conforme Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil;
- XII - promover a coleta, a distribuição e o controle de suprimentos em situações de desastre;
- XIII - proceder à avaliação de danos e prejuízos das áreas atingidas por desastres;
- XIV - manter a União e o Estado informados sobre a ocorrência de desastres e as atividades de proteção civil no Município;
- XV - estimular a participação de entidades privadas, associações de voluntários, clubes de serviços, organizações não governamentais e associações de classe e comunitárias nas ações do SINPDEC e promover o treinamento de associações de voluntários para atuação conjunta com as comunidades apoiadas; e
- XVI - prover solução de moradia temporária às famílias atingidas por desastres.

Sugerindo uma articulação interfederativa, o artigo 9º atribui competências comuns à União, Estados e Municípios. Para Saito *et al.* (2021), a realidade dos municípios brasileiros, em especial aqueles de pequeno porte, tem sido a convivência com a escassez de recursos financeiros e humanos para o cumprimento de tais responsabilidades. Para os autores, há urgência na maior interação de instituições e atores locais para promover as ações e as diretrizes da PNPDEC.

2.4 DESASTRES HIDROLÓGICOS

Desastre pode ser conceituado de maneiras diferentes, porém complementares (WHO, 2019; UNDRR, 2023a; Brasil, 2023a). O Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, utiliza desde o ano de 2012, a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE (Quadro 3) para tipificar os desastres no Brasil.

Quadro 3 - Tipificação dos desastres conforme Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

Origem	Grupo	Exemplos
Naturais	Geológico	Movimentos de massa, erosão, terremoto, tsunami, erupções vulcânicas
	Hidrológico	Inundações, enxurradas, alagamentos
	Meteorológico	Ciclones, tempestades, vendavais, granizo, ondas de calor e de frio
	Climatológicos	Estiagens, incêndios florestais, baixa umidade do ar
	Biológico	Epidemias, infestações/ pragas
Tecnológicos	Substâncias radioativas	Poluição ambiental provocada por resíduos radioativos, desastres radioativos diversos
	Produtos perigosos	Contaminação da água, guerras, acidentes na utilização e transporte de produtos perigosos.
	Incêndios urbanos	Incêndios em indústrias, incêndios em residências
	Obras civis	Colapso de edificações, rompimento de barragens
	Transporte de passageiros e cargas não perigosas	Transporte rodoviário, ferroviário, aéreo, marítimo, aquaviário

Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

Os conceitos mais utilizados no Brasil focam na correlação entre ameaças e vulnerabilidades. A UNDRR (2023a) define desastre como:

Uma interrupção grave do funcionamento de uma comunidade ou sociedade em qualquer escala devido a eventos perigosos que interagem com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade, levando a um ou mais dos seguintes impactos: perdas humanas, materiais, econômicos e ambientais.

Já para a Lei Federal 14.750/2023, que altera a lei 12.608/2012, que instituiu a PNPDEC, desastre é o:

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.

Já a *World Health Organization* – WHO engloba o risco em sua conceituação, definindo o risco de desastres como a perda potencial de vidas, injúria ou bens destruídos ou danificados, que podem ocorrer a um sistema, sociedade ou comunidade em um período de tempo específico, determinado probabilisticamente em função do perigo, exposição, vulnerabilidade e capacidade (WHO, 2019).

Ao instituir o COBRADE, houve um alinhamento com as metodologias de classificação utilizadas pelo *Emergency Disasters Data Base* (EM-DAT), do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) e da WHO (Brasil, 2021b). No entanto, algumas diferenças permanecem, como ao não classificar os movimentos de massa úmida como desastre hidrológico.

Os desastres hidrológicos são os que mais geram prejuízos econômicos e perdas humanas no mundo atualmente (Kastali *et al.*, 2021). De acordo com o CRED (2020), neste século, este tipo de desastre foi responsável por mais de 100 mil óbitos e prejuízos financeiros estimados em US\$ 650 bilhões em todo o planeta.

Conforme Kobiyama *et al.* (2006), uma inundação se manifesta quando a dinâmica fluvial excede sua vazão normal, resultando no transbordamento das águas. Se o rio estiver completamente cheio, mas sem transbordar, caracteriza-se como enchente. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2007) define inundação como o extravasamento das águas do canal de drenagem para áreas marginais quando a enchente ultrapassa a cota máxima da calha principal do rio. No período de 1991 a 2022, o Brasil registrou 5.650 inundações, causando 623 óbitos e prejuízos de aproximadamente R\$ 24 bilhões (Brasil, 2023b).

Quanto aos alagamentos, são descritos como o acúmulo temporário de águas em uma área devido a problemas no sistema de drenagem, podendo ou não estar relacionados a processos fluviais (IPT, 2007). Segundo Castro (2003), os alagamentos no contexto urbano caracterizam-se pela dificuldade de

escoamento da água, resultando no acúmulo nas ruas. Entre 1991 e 2022, o Brasil registrou 1.526 alagamentos, com 121 óbitos e prejuízos superiores a R\$ 3 bilhões (Brasil, 2023b).

No que diz respeito às enxurradas, estas estão associadas a chuvas intensas e concentradas, elevando a água de forma abrupta e vigorosa, favorecendo o escoamento em regiões de relevo acidentado (Castro, 2003). O IPT (2007) define enxurrada como escoamento superficial concentrado e de alta energia, podendo ou não estar ligado a áreas dominadas por processos fluviais. Entre 1991 e 2022, esses eventos foram responsáveis por 1.872 óbitos no Brasil, gerando prejuízos expressivos de R\$ 36 bilhões (Brasil, 2023b).

Em cidades costeiras, as marés podem provocar ou potencializar eventos de inundações e alagamentos. Castro Junior (2019) relata que devido ao movimento relativo entre os astros (sol, lua e terra) e ao movimento de rotação da terra, cada ponto da superfície marinha está sujeito a uma resultante das forças gravitacionais, que gera os movimentos de fluxo e refluxo. A este fenômeno damos o nome de maré astronômica.

No entanto, as marés astronômicas não são as únicas responsáveis pela variação dos níveis dos mares. Ocorrem ainda as marés meteorológicas e marés de tempestades, resultantes de gradientes de pressão e vento provenientes dos sistemas meteorológicos atuantes sobre as águas, não calculáveis sem estudos contínuos que envolvem monitoramento e modelagem (Joinville, 2017). A maré meteorológica pode aumentar ou diminuir o nível do mar podendo implicar na intrusão de água marinha em rios, canais e sistemas de drenagem, ocasionando grandes inundações (Camargo *et al.*, 2002).

Diversos estudiosos destacam estratégias capazes de prevenir ou reduzir os riscos e impactos dos eventos hidrológicos. Goudard e Mendonça (2022) enfatizam a importância de as cidades anteciparem soluções para gerenciar o escoamento das águas pluviais diante da diminuição da infiltração natural no solo. O IPT (2007) sugere que a implementação de medidas não estruturais, abrangendo políticas urbanas, planejamento, legislação, planos de defesa civil e educação ambiental, pode ser eficaz na obtenção de resultados positivos. Para Goerl, Michel e Kobiyama (2017), a adoção de políticas públicas adequadas, incluindo mapeamento, zoneamento urbano, e o estabelecimento de sistemas

de alerta e monitoramento em áreas vulneráveis, desempenha um papel fundamental na prevenção da transformação de riscos em desastres.

2.5 SISTEMA DE MONITORAMENTO E ALERTA

Os sistemas de monitoramento e alerta buscam antecipar avisos e ações de resposta quanto ao risco de desastres ocorrerem em determinado território, preparando assim a população local quanto a uma melhor resposta ao evento. Para que os alertas sejam eficientes, é necessário que haja confiabilidade nos dados e que tanto a população quanto as autoridades sejam treinadas (Ferentz, 2021).

De acordo com Righetto (2009), monitorar não é apenas possuir um sistema operando, pois inclui o seu acompanhamento no tempo e no espaço e a produção de informações para subsidiar as decisões. As variáveis hidrológicas como precipitação, os níveis dos rios e as vazões podem ser monitoradas com diferentes objetivos. O mesmo autor enfatiza que o acompanhamento de longo prazo para a obtenção de séries hidrológicas auxilia no planejamento do uso dos recursos hídricos, enquanto um monitoramento em tempo real, para acompanhamento de eventos de inundação, auxilia na gestão desses eventos.

Apesar dos processos hidrológicos variarem continuamente no tempo e no espaço, muitas medições são feitas de maneira pontual. As precipitações podem ser monitoradas através de pluviômetros, já o nível do rio através de leituras de réguas linimétricas ou de forma automatizada através de sensores de pressão ou radar. Já para a determinação da vazão, segundo Sene (2010), utiliza-se comumente aparelhos eletromagnéticos e ultrassônicos que possibilitam a medição de velocidade ou estruturas de medição de rio que permitem a utilização de relações teóricas para definir um regime de fluxo conhecido em uma área determinada, possibilitando definir relações cota-vazão de maneira empírica, obtendo-se a curva-chave.

De acordo com a UNISDR (2017), um sistema de alerta pode ser definido como:

Um sistema integrado de monitoramento, previsão de riscos, sistemas de avaliação, avaliação de riscos de desastres, comunicação e preparação que permite que indivíduos, comunidades, governos,

empresas e outros tomem medidas oportunas para reduzir os riscos de desastres antes de eventos perigosos.

Para Priest *et al.* (2011), os sistemas de alerta são importantes ferramentas de gestão de áreas urbanas consolidadas. Estes são capazes de proporcionar redução nos danos causados pelas inundações, porém diversos fatores influenciam na sua eficácia, como: tempo de antecedência, confiabilidade do alerta e preparo dos envolvidos quanto às ações a serem tomadas.

Saito (2018) destaca que ao referir-se a sistemas de alerta, diversos elementos são imediatamente vinculados, como sirenes, mensagens do tipo *Short Message Service* (SMS), radares meteorológicos, estações hidrológicas e pluviômetros. A UNISDR (2017) sugere os principais pilares para o funcionamento de um sistema de monitoramento e alerta como sendo: conhecimento do risco, monitoramento e alerta, transmissão e comunicação, e capacidade de resposta (Figura 3).

Figura 3 - Eixos básicos de um sistema de monitoramento e alerta.



Fonte: Adaptado de UNISDR (2017)

O primeiro aspecto aborda o entendimento do risco, considerando a dinâmica das ameaças e vulnerabilidades, intensificada por processos como urbanização, mudança de uso do solo, degradação ambiental e mudança

climática. O segundo pilar é o monitoramento e alerta, que requer uma base científica sólida para prever ameaças a tempo de realizar ações de resposta.

Além disso, a disseminação e comunicação preconizam que os alertas devem ser compreendidos pelo público-alvo, utilizando múltiplos canais de comunicação para garantir o acesso aos alertas. Por fim, a preparação visa desenvolver as capacidades necessárias para gerenciar eficientemente todos os tipos de emergências, desde a resposta até a recuperação.

Os sistemas de monitoramento e alerta têm como principais objetivos: fornecer o alerta com antecedência à defesa civil e aos serviços de emergência para evacuação de pessoas e proteção de bens; diminuir os riscos de mortes; identificar áreas com alta probabilidade de inundação e descrever esses eventos (profundidade, duração e outras informações relevantes aos serviços de emergência); guiar ações emergenciais, como operação de dispositivos de controle de inundação (por exemplo, comportas, canais de desvio, bacias de retenção) e gerenciamento do tráfego para bloqueio e desocupação de vias com risco (Nascimento, 2011).

Além disso é de fundamental importância o envolvimento multisetorial de agências, tanto do poder público como de conselhos, comitês, a sociedade civil organizada, além de operadores de serviços como transporte, segurança, comunicação, energia elétrica e emergências (WMO, 2013). Para Priest *et al.* (2011), avaliar o potencial e os benefícios que um sistema de monitoramento e alerta para desastres pode proporcionar é importante para verificar a viabilidade de investimentos nessa medida de proteção.

2.6 CIDADES INTELIGENTES E GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES

Enquanto enfrentamos os desafios nas áreas urbanas ligados à sustentabilidade, mudanças climáticas e crescimento populacional, surge uma urgência em repensar e inovar nossas cidades como resposta a essas complexidades (Biasi; Falsarella; Mariosa, 2023). Camata *et al.* (2022) destacam a necessidade de as cidades aspirarem a um futuro, transformando-se através do amplo uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs).

Este desejo foi amplamente impulsionado na década de 1990, com o advento da internet, que possibilitou implementações de interação entre o

cidadão, governos e o setor privado, dando origem ao termo “*smart cities*” ou cidades inteligentes (Biasi; Falsarella; Mariosa, 2023).

A ideia de cidades inteligentes, conforme observada pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE (2020), permanece em constante evolução. Em linhas gerais, refere-se a iniciativas que empregam inovação digital para aprimorar a eficiência na oferta de serviços urbanos, com foco central no bem-estar dos cidadãos. Já o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID (Bouskela *et al.*, 2016) define uma cidade inteligente como aquela que adota estratégias de desenvolvimento integradas e centradas nas pessoas. Essas cidades utilizam TICs como ferramentas essenciais para a operacionalização eficiente dos serviços urbanos, implementam governança colaborativa, adotam políticas transparentes e de dados abertos, além de gerenciarem seus recursos naturais de maneira sustentável.

No contexto brasileiro, o documento denominado “Carta brasileira para cidades inteligentes” (Brasil, 2021a), a definição de cidades inteligentes remete a um modelo de desenvolvimento urbano alinhado com a transformação digital e a sustentabilidade ambiental, direcionado para criar oportunidades e resolver questões comunitárias. Destaca a importância do planejamento, da implementação de boas práticas de governança e da gestão colaborativa. Enfatiza a necessidade de utilizar dados e tecnologias de forma segura e responsável, além de ressaltar a importância de estruturas eficientes e resilientes, do comprometimento com a redução das desigualdades e do foco na melhoria da qualidade de vida urbana.

Lin (2018) aponta que o desenvolvimento do conceito de cidade inteligente tem sido mais significativo nos setores governamental, corporativo e acadêmico. O governo, em particular, demonstra grande interesse no planejamento urbano devido aos desafios impostos pelo rápido processo de urbanização nos centros urbanos, buscando soluções eficientes para gerenciar essas dificuldades.

Cidades inteligentes têm adotado extensivamente as TICs na gestão de mobilidade, comunicação e segurança (Barros *et al.*, 2021; Jan *et al.*, 2022; Rathore *et al.*, 2021; Mishra *et al.*, 2020). Alves, Dias e Seixas (2019) ressaltam que essas cidades estabelecem condições de governança, infraestrutura e

tecnologia para fomentar a inovação social na resolução de problemas, envolvendo os diversos atores locais.

Embora as Cidades Inteligentes tenham mostrado um futuro promissor, oferecendo soluções e oportunidades à gestão urbana, os desastres ainda as afetam, podendo apagar anos de desenvolvimento em questão de horas ou minutos (Bansal; Mukherjee; Gairola, 2017). No entanto, sendo mais avançadas, têm a capacidade de aprimorar sua resiliência a desastres, principalmente respondendo mais rapidamente às ameaças. Mesmo que as tecnologias não possam impedir que os desastres ocorram, elas podem ser muito úteis em ações de preparação, especialmente na previsão, alerta precoce e operações de busca e salvamento (Rauniyar *et al.*, 2016).

Assim, explorar os potenciais benefícios da tecnologia e inovação torna-se fundamental para estabelecer resiliência em Cidades Inteligentes. Ao longo das últimas décadas, observou-se uma notável evolução nas cidades que aderiram essa perspectiva inovadora, empregando soluções tecnológicas para gerir riscos de maneira eficaz e aprimorar a gestão de desastres (Samarakkody; Amaratunga; Haigh, 2023).

Um exemplo desse conceito é a segurança e o gerenciamento de emergências facilitados por meio do *Orlando Operations Center*, na cidade norte-americana de Orlando, no estado da Flórida, uma instalação integrada que opera utilizando recursos como monitoramento da cidade por meio de telas, gestão remota de câmeras de vigilância, controle de tráfego e evacuação por meio de *software* e serviços de alerta e comunicação entre departamentos. Orlando experimentou benefícios significativos em termos de tempo para tomada de decisões e resposta, custos operacionais reduzidos e impactos ambientais minimizados, bem como melhoria na qualidade dos serviços e na comunicação com os cidadãos (Lee *et al.*, 2016).

Cidades no Japão, principalmente, após enfrentarem prejuízos e perdas por desastres, foram planejadas para serem reconstruídas como Cidades Inteligentes (Samarakkody; Amaratunga; Haigh, 2023). Elas incorporaram inovações tecnológicas notáveis. Por exemplo, na cidade de Kyoto, foi estabelecida a Plataforma de Utilização de *Big Data* de Kyoto, que implementou sinais digitais de última geração, sensores ambientais e iluminação inteligente para coletar dados relacionados às preferências da população, fluxos e

condições ambientais. Já a cidade de Yokohama buscou fortalecer suas capacidades de prevenção de desastres ao utilizar energia renovável para transmitir informações de emergência, garantindo, ao mesmo tempo, fornecimento energético durante situações de desastre (Ryu e Lim, 2023).

O estudo desenvolvido por Biasi, Falsarella e Mariosa (2023), descreve algumas experiências realizadas no mundo e no Brasil nos últimos 10 anos, como demonstra o Quadro 4.

Quadro 4 - Exemplo de aplicações de cidades inteligentes (continua)

Nome da aplicação	Descrição	Citação
Serviços inteligentes para a coleta de lixo.	Implementação de uma rede de sensores que emite notificações quando as lixeiras urbanas atingem sua capacidade máxima (Barcelona - Espanha).	Kon; Santana (2016)
Incentivo do uso de formas sustentáveis de transporte.	Instalação de pontos de recarga elétrica de carros pela cidade e projeto de bicicletas compartilhadas (Barcelona - Espanha).	Kon; Santana (2016)
Centro de Operações do Rio de Janeiro (COR)	Órgãos e agências que monitoram, 24 horas por dia, o cotidiano da cidade do Rio de Janeiro, no Brasil, destacando os deslizamentos de terra, as condições de tráfego, condições do mar, entre outros, que podem impactar a população que vive na cidade.	Weiss; Bernardes; Consoni (2013)
Centro Integrado de Comando (CEIC)	Câmeras interconectadas de alta capacidade na cidade de Porto Alegre, Brasil. O centro de comando possui monitoramento georreferenciado que acompanha a posição e os deslocamentos das viaturas e sensores pluviométricos para nivelamento de rios.	Weiss; Bernardes; Consoni (2013)

Quadro 4 - Exemplo de aplicações de cidades inteligentes (continuação)

Nome da aplicação	Descrição	Citação
Sistema de controle de trânsito adaptativo em tempo real	Laços indutivos instalados nas vias públicas da cidade de Porto Alegre, Brasil, que captam o fluxo de veículos, alternando o estado dos semáforos de forma automática, com o objetivo de reduzir a taxa de emissão de gases e acelerar o tempo de circulação dos veículos.	Weiss; Bernardes; Consoni (2013)
Monitoramento de ônibus inteligentes	Dispositivos GPS instalados nos ônibus da cidade do Recife, Brasil, são fonte de dados reais, em que o monitoramento é realizado sobre a velocidade média de cada ônibus. A aplicação retorna para o usuário o posicionamento de cada ônibus no mapa e, com o cálculo de velocidade média, um alerta é disparado sobre as condições de trânsito sempre que uma baixa velocidade é detectada.	Borja; Gama (2014)
<i>National Education Network (NEdNet)</i>	Sistema integrado que inclui serviços de informação sobre educação (SIA), infraestrutura de rede e serviços de aprendizagem na Tailândia, auxiliando, assim, o raciocínio de quem possui maior conhecimento e leciona, apoia a aprendizagem autodirigida e personalizada com base no estudante o apoio à decisão.	Al Nuaimi, et al. (2015)

Quadro 4 - Exemplo de aplicações de cidades inteligentes (conclusão)

Nome da aplicação	Descrição	Citação
<i>Horizon Scanning Centre</i> (HSC) - Recursos Naturais e Energia	Projeto do Reino Unido que, através de análises aprofundadas sobre múltiplos canais de dados (<i>Big Data</i>), aborda sobre as mudanças climáticas e seu impacto na disponibilidade de alimentos e água, nas tensões regionais e na estabilidade e segurança nacional.	Al Nuaimi, <i>et al.</i> (2015)
<i>Risk Assessment and Horizon Scanning</i> (RAHS) - Segurança Pública	Atua no âmbito do Centro Nacional de Coordenação de Segurança, em Singapura, que recolhe e analisa conjuntos de dados em grande escala, gerenciando proativamente ameaças, como ataques terroristas, doenças infecciosas e crises financeiras. Uma aplicação que capacita a realização de projeções e possíveis cenários.	Al Nuaimi, <i>et al.</i> (2015)
Melhora na experiência do turista	Plataforma que consiste em aprimorar a experiência do turista na Cidade de Cagliari, na Itália, maximizando a quantidade de lugares visitados durante o tempo de viagem.	Kon; Santana (2017)
e-Noé	Aplicação capaz de prever possíveis enchentes na Cidade de São Carlos/SP, com a utilização de IA. Composta por uma malha de sensores sem fio submersos em diversos locais de rios propensos a enchentes, essa rede monitora o leito do rio para registrar e identificar alterações no nível da água.	Cruz; Barcellos; Bernardini (2020)

Fonte: Adaptado de Biasi, Falsarella e Mariosa (2023).

Conforme destacado por Bellini e Nesi (2018), frequentemente a implementação de soluções de Cidades Inteligentes é fragmentada e requer uma abordagem integradora para orientar de maneira coerente e estratégica os recursos em direção a um objetivo claramente definido, como a resiliência urbana a desastres. Um exemplo prático seria a integração de dados provenientes de mídias sociais, sensores e outras fontes, a fim de ampliar a consciência e a capacidade de resposta situacional.

Os autores Alves, Dias e Seixas (2019) identificam as principais dificuldades para a implementação de cidades inteligentes no Brasil, como a capacidade técnica de planejamento a longo prazo, considerando as limitações nas políticas de continuidade entre governos sucessivos e em projetos intergovernamentais em diferentes níveis. A habilidade de planejar de forma sinérgica dentro dos municípios é apontada como um desafio significativo. A procura por agentes capazes de planejar e dar continuidade a projetos dentro dos limites orçamentários públicos emerge como um elemento crucial para impulsionar os municípios brasileiros nesse contexto.

2.6.1 TICs e novas abordagens em proteção e defesa civil

Projetos bem-sucedidos em Cidades Inteligentes demandam a posse de duas competências cruciais: uma compreensão do potencial das soluções tecnológicas no contexto dos sistemas urbanos e a integração de soluções tecnológicas em oposição à sua aplicação isolada (Dembski *et al.*, 2020). Para Marek, Campbell e Bui (2017) estes apontamentos ressaltam a disparidade entre os problemas reais enfrentados pelas cidades e as soluções tecnológicas inovadoras propostas pelas Cidades Inteligentes.

Tal disparidade sugere que as ferramentas e tecnologias concebidas para enfrentar questões urbanas, incluindo a resiliência a desastres, frequentemente negligenciam os problemas na gestão urbana ou não são implementadas estrategicamente com uma compreensão adequada do potencial da solução tecnológica. Portanto, torna-se necessário compreender a adequação dessas tecnologias para diferentes realidades nas cidades que buscam alcançar resiliência, seguido pela determinação da combinação apropriada de tecnologias (Samarakkody; Amaratunga; Haigh, 2023).

Nos últimos anos algumas abordagens têm aparecido com maior frequência no contexto das cidades inteligentes e da tecnologia da informação e comunicação. Entre estas abordagens podemos destacar os conceitos de Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things (IoT)*, *Big Data* e Inteligência Artificial. Novas abordagens em gestão de riscos e desastres hidrológicos também se utilizam destes termos, como demonstram diversos estudos (Jan *et al.*, 2022; Arshad *et al.*, 2019; Shao *et al.*, 2021; Zekrifa *et al.*, 2023).

Segundo Carrion e Quaresma (2019), a "Internet das Coisas" representa um sistema que conecta objetos físicos, utilizando endereços de IP (*Internet Protocol*) ou outras redes, para trocar, armazenar e coletar dados que beneficiam consumidores e empresas por meio de aplicativos de *software*. A crescente capacidade de conectar virtualmente todos os objetos do cotidiano destaca a relevância significativa da *IoT* na sociedade.

Para AbdelAziz *et al.* (2023) um sistema IoT refere-se a uma rede de dispositivos interconectados, sensores e aplicativos de software que coletam e trocam dados pela Internet e estão incorporados em vários objetos físicos, como edifícios, veículos e infraestrutura urbana. Para os mesmos autores, em situações de gerenciamento de desastres, as tecnologias e aplicações da *IoT* proporcionam melhorias notáveis nos tempos de resposta, ampliam a conscientização situacional e aprimoram as capacidades de gestão de desastres. Essas tecnologias possibilitam o monitoramento em tempo real, a coleta e análise de dados, permitindo que as partes interessadas compreendam de forma abrangente a situação e tomem decisões com base em informação.

Jan *et al.* (2022) propuseram um sistema de monitoramento em tempo real de inundações baseado em câmeras, empregando técnicas avançadas de visão computacional e sistemas *IoT*. Os autores implementaram esse sistema em uma escala real para monitorar o nível de água em uma localidade rural.

Shukla (2023), desenvolveu um sistema *IoT* para aprimorar a gestão de desastres. Utilizando dados de dispositivos conectados à Internet, esse sistema categorizou vários tipos de desastres, notificando centros de comando e fornecendo alertas geolocalizados através de dispositivos *IoT* como Arduino Uno e Nodemcu. Com esses dados, foi possível identificar a posição exata de cada pessoa, cujo telefone está dentro da área afetada pelo desastre, e enviar alertas.

Para o monitoramento de inundações é necessário implantar redes de sensores e realizar a coleta de dados. Quanto mais densa a rede de sensores e maior o fluxo de dados, mais eficaz será o sistema de monitoramento. Esta transferência contínua de dados entre sensores dispersos e sistemas centralizados de processamento de dados é viabilizada pela *IoT* (Anitha *et al.*, 2024).

Outra tecnologia em ascensão é o *Big Data*, conforme descrito por Silva, Falsarella e Mariosa (2022). O *Big Data* é um conceito que possibilita processar vastos conjuntos de informações, extrair valor e reduzir a subjetividade na tomada de decisões, incorporando dados exógenos de fontes como redes sociais, colaboração em massa online e sensores presentes em diversos produtos, bem como registros de tráfego na internet.

Big Data representa uma abordagem tecnológica inovadora e relativamente recente para a resiliência a desastres. Auxilia acadêmicos, pesquisadores e administradores a conduzirem análises e tomarem decisões de maneira cientificamente eficaz utilizando extensos conjuntos de dados. O *Big Data* abre uma oportunidade promissora para que a informação e a comunicação habilitem comunidades suscetíveis a se prepararem para ameaças, desafios, riscos e desastres iminentes (Sarker *et al.*, 2020).

No campo dos desastres, através da análise avançada de *Big Data*, é possível examinar conjuntos de dados relacionados a desastres de grande escala, provenientes de diversas fontes, em tempo real, durante todas as fases do gerenciamento de desastres (incluindo preparação, mitigação, resposta e recuperação). Essa abordagem visa extrair informações valiosas que auxiliam na tomada de decisões (Pence, 2014).

Para Sarker *et al.* (2020), a análise multidimensional, característica de *Big Data*, compreendendo análises descritivas, prescritivas, preditivas e discursivas, é crucial para fortalecer a resiliência em todas as fases do gerenciamento de desastres. Os autores destacam que a análise descritiva trata da condição e criticidade dos desastres, a análise prescritiva foca em políticas de gestão, a análise preditiva faz inferências para alerta e previsão, e a análise discursiva aborda aspectos de resiliência comunitária, como conscientização e resposta oportuna.

Segundo Munawar *et al.* (2020), durante todas as fases do gerenciamento de riscos de desastres, é desafiador para máquinas e equipamentos operados por humanos lidar com as enormes quantidades de dados visuais gerados. Alguns autores propuseram soluções baseadas em *Big Data*, para cada uma dessas fases.

Cheng *et al.* (2017) propuseram sensores habilitados para *Bluetooth* instalados em edifícios para detectar e prevenir riscos de incêndio, utilizando análise de *Big Data* nas temperaturas dos edifícios. Yang *et al.* (2019) destacaram a eficácia da análise de *Big Data* baseada em mídias sociais e mineração de texto para mitigar desastres em andamento e reduzir riscos. Ofli *et al.* (2016) defenderam o uso de imagens aéreas e fotografia por drones para responder a desastres em andamento, diminuindo riscos de perdas de vidas e propriedades com aprendizado de máquina e outras aplicações de *Big Data*. Da mesma forma, Ragini *et al.* (2018) propuseram uma metodologia para analisar sentimentos de pessoas afetadas por desastres usando algoritmos de aprendizado de máquina e mídias sociais, visando uma resposta e recuperação eficazes baseadas em *Big Data*.

Shao *et al.* (2021), utilizaram o *Big Data*, proveniente de serviços como mapas de calor, planejamento de rotas e pesquisa em plataformas abertas, para estimar as perdas causadas por inundações em uma cidade na China.

Os autores Anitha *et al.* (2024), afirmam que, ao examinar a interconexão entre a *IoT* e o *Big Data*, o foco está nas funções de monitoramento em tempo real, análise preditiva e resposta. A instalação de redes de sensores *IoT* possibilita a coleta de dados em tempo real, enquanto a análise de *Big Data* extrai resultados valiosos. Essa combinação tem o potencial de transformar o monitoramento hidrológico, proporcionando aos gestores informações oportunas para decisões proativas.

O avanço tecnológico na gestão urbana e em várias outras áreas tem se direcionado para integrar técnicas já existentes com recursos computacionais ligados ao conceito de Inteligência Artificial (IA). Um conceito para IA é que se trata de uma ciência que busca desenvolver mecanismos e dispositivos tecnológicos que possam reproduzir a necessidade de utilização do raciocínio humano. Isso inclui artifícios como programação lógica indutiva e árvore de aprendizado (Pacheco e Pereira, 2018).

A Inteligência Artificial (IA) é uma disciplina da ciência da computação que se concentra na criação de programas capazes de imitar, estender e aprimorar o comportamento humano nos aspectos perceptivos, teóricos, auditivos e sensoriais. Em resumo, a IA desenvolve máquinas inteligentes usando métodos e técnicas artificiais para realizar comportamentos inteligentes, ampliando assim a inteligência humana (Shi, 2019).

No campo da gestão de riscos e desastres, a IA desempenha um papel importante, desde a previsão de eventos extremos e o desenvolvimento de mapas de risco até a detecção de eventos em tempo real e a tomada de decisões necessárias de forma rápida (Alruqui e Aksoy, 2023).

No contexto da IA, o termo frequentemente difundido é *Machine Learning* (ML), que possibilita o aprendizado de máquinas com base no processamento de dados, identificação de padrões lógicos e organização de dados por meio de algoritmos. Assim, os programas computacionais aprendem a realizar ações orientadas pelo sequenciamento lógico dos algoritmos. Vale destacar a técnica mais avançada e complexa de *Machine Learning*, conhecida como *Deep Learning* (DL) ou aprendizagem profunda. Essa é uma ferramenta que utiliza redes neurais em diversos campos, como processamento de dados não-estruturados e reconhecimento e/ou classificação de objetos ou áreas em imagens (Silva *et al.*, 2023).

Conforme destacado por Dave e Dutta (2014), o ML constitui um subcampo da IA que capacita aplicativos de software a aprimorarem sua precisão na previsão de resultados sem a necessidade de reprogramação explícita. Algoritmos de ML utilizam dados históricos como entrada para antecipar novos valores de saída. Redes neurais, um tipo específico de modelo para o ML, têm se mostrado comparativamente competitivas em relação a modelos tradicionais de regressão e estatísticos. A eficácia do ML para uma tarefa específica é determinada pela disponibilidade de dados de alta qualidade e pela seleção de uma arquitetura de modelo apropriada.

Para Alruqui e Aksoy (2023), é esperado que a IA desempenhe um papel cada vez mais significativo na redução de risco de desastres, tornando-se uma exigência crescente em operações de gerenciamento de crises a nível global. A importância crítica do tempo nas atividades de gerenciamento de emergências é inegável. A tomada rápida de decisões pelos gestores é vital para responder

eficientemente aos desastres. Os formuladores de políticas precisam ter acesso a informações pertinentes no momento adequado, alcançando isso por meio de preparação antecipada, cenários baseados em experiências passadas ou sistemas de alerta precoce que antecipam desastres.

Fernandes Jr, Nonato e Ueyama (2022), oferecem uma síntese dos sistemas de Inteligência Artificial destinados a alertas de inundação, conforme documentado na literatura científica (Quadro 5). O estudo abrange diversas pesquisas que exploram o monitoramento hidrológico, destacando casos nos quais câmeras e imagens são ou não empregadas. Além disso, são discutidas metodologias que fazem uso de técnicas de *Deep Learning* para detectar inundações, independentemente do tipo de sensores utilizados.

Quadro 5 - Comparação de pesquisas relacionadas ao monitoramento hidrológico utilizando IA (continua)

Autor	Metodologia	Problema investigado	Dado do sensor
Wirawan <i>et al.</i> (2008)	Rede de sensores sem fio	Deteção de inundação	Dados de sensor ultrassônico
Noar <i>et al.</i> (2017)	Rede de sensores sem fio	Deteção de inundação	Dados de sensor ultrassônico
Bagonczyk <i>et al.</i> (2017)	Rede de sensores sem fio	Deteção de inundação	Transdutores de pressão
Kafli e Isa (2017)	Rede de sensores sem fio Internet das coisas	Deteção de inundação com utilização de plataformas de superfície de água	Sensores ultrassônicos, de temperatura, pH, monóxido de carbono, GPS e nível d'água
Khan <i>et al.</i> (2018)	Redes neurais artificiais	Deteção de inundação repentina	Sensores de CO ₂ e umidade

Quadro 5 - Comparação de pesquisas relacionadas ao monitoramento hidrológico utilizando IA (continuação)

Autor	Metodologia	Problema investigado	Dado do sensor
Popescu <i>et al.</i> (2015)	Processamento de texturas utilizando o método da janela deslizante	Detecção de inundação	Imagens aéreas
Kim <i>et al.</i> (2007)	Processamento de imagem através da subtração de imagem	Monitoramento do nível de água do rio	Imagens de câmeras
Ortigossa <i>et al.</i> (2015)	Processamento de imagem através do método de Otsu	Monitoramento do nível de água do rio	Imagens de câmeras
Pan <i>et al.</i> (2018)	Redes neurais convolucionais profundas utilizando uma região de interesse	Monitoramento do nível de água do rio	Imagens de câmeras
Kang <i>et al.</i> (2018)	Redes neurais convolucionais profundas	Detecção de inundação	Imagens de satélite
Lopez-Fuentes <i>et al.</i> (2017)	Segmentação semântica utilizando redes neurais profundas	Identificação de corpo hídrico	Imagens de câmeras
Krzhizhanovskaya <i>et al.</i> (2011)	Comitê de simulações de dique de redes neurais artificiais	Detecção de inundação e alerta	Sensores de pressão

Quadro 5 - Comparação de pesquisas relacionadas ao monitoramento hidrológico utilizando IA (conclusão)

Autor	Metodologia	Problema investigado	Dado do sensor
Guo <i>et al.</i> (2020)	Redes neurais convolucionais profundas	Previsão de inundação através de simulações	Imagens terrestres multi canais.
Yang e Chang (2020)	Redes neurais recorrentes	Previsão de inundação	Sensores de inundação
Al Qundus <i>et al.</i> (2020)	Máquina vetorial de suporte de rede de sensor sem fio	Deteccção de inundação	Sensores de inundação

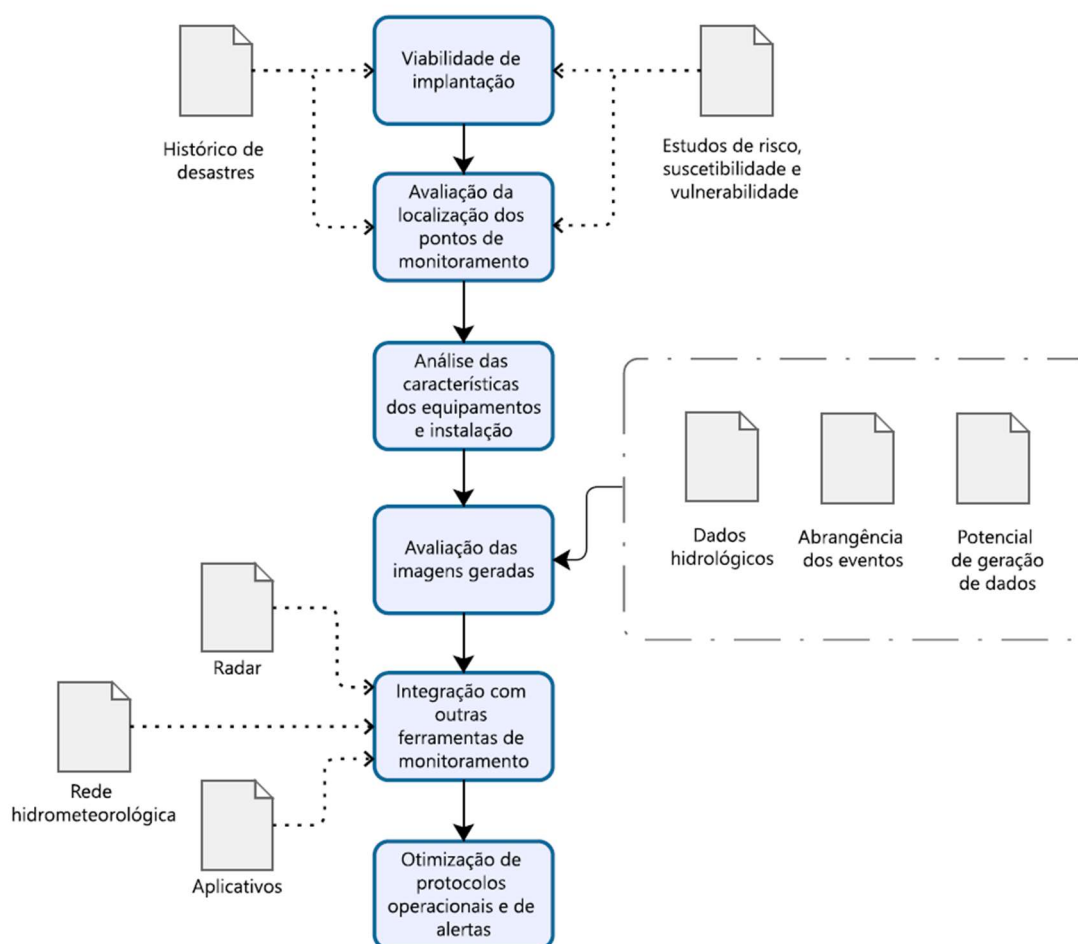
Fonte: Adaptado de Fernandes Jr, Nonato e Ueyama (2022).

Oliveira *et al.* (2023) focaram seu estudo, não na metodologia de detecção de eventos hidrológicos, mas na integração de vários sensores, incluindo câmeras de monitoramento, como base na experiência do Centro de Operações da Cidade do Rio de Janeiro. Para estes autores o sistema de monitoramento de enchentes criado para a cidade do Rio de Janeiro constitui um avanço significativo na gestão de riscos e na resposta aos desafios provocados por chuvas intensas. A sua abordagem inovadora, que combina sensores, câmeras e algoritmos inteligentes, provou ser bem sucedida na detecção e monitoramento de regiões impactadas por alagamentos.

3 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo de avaliar uma abordagem de gestão de riscos e desastres baseada em tecnologia de um parque de câmeras de monitoramento instalado na cidade de Joinville/SC proposto neste trabalho, foram realizadas as etapas apresentadas no fluxograma metodológico da Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma metodológico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.1 ETAPAS DA PESQUISA

3.1.1 Viabilidade de implantação

Nesta etapa foram coletados os dados iniciais para analisar a viabilidade de implantação da ferramenta, sob a ótica do histórico de desastres no

município, seus impactos e a justificativa do investimento com o objetivo de validar a solução proposta. A fim de monitorar o território foram feitas pesquisas, consultas e coletadas informações essenciais para implementação da solução. Foram acessados históricos de desastres nos municípios brasileiros, estudos sobre riscos, suscetibilidade e vulnerabilidade, além de informações e dados disponibilizados pelo próprio município.

A principal fonte utilizada para a análise de viabilidade foi o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), do governo federal brasileiro (<https://s2id.mi.gov.br>), plataforma onde os municípios informam todas as ocorrências de eventos adversos à Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Estas informações também podem ser buscadas, de forma compilada, através do Atlas de Desastres do Brasil (<http://atlasdigital.mdr.gov.br>), do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), que disponibiliza os dados sobre desastres no Brasil de forma estruturada, em gráficos, tabelas ou em mapas. Neles, é possível observar os detalhes das ocorrências e danos associados a cada município.

Associado ao histórico de desastres avaliou-se os riscos, suscetibilidade e vulnerabilidade. Estes estudos são elaborados em consonância com as diretrizes e objetivos estabelecidos pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei Federal 12.608/2012, e objetivam subsidiar a tomada de decisões assertivas relacionadas às políticas de ordenamento territorial e prevenção de desastres. A principal fonte de consulta para estas informações é o portal do Serviço Geológico do Brasil – SGB¹(antigo CPRM). O SGB desenvolveu seis produtos técnicos (Quadro 6) que auxiliam na prevenção de problemas relacionados aos desastres naturais de origem geológica e hidrológica. Fontes de informações municipais também foram buscadas, uma vez que alguns municípios possuem seus próprios mapeamentos e dados de ocorrências. No desenvolvimento deste estudo foram utilizadas informações disponíveis no Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas² (SIMGeo), no qual estão disponíveis dados geoespacializados do município de Joinville/SC.

¹ Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres-38>. Acesso em 10 out. 2023.

² Disponível em: <https://geo.joinville.sc.gov.br/portal/apps/simgeo>. Acesso em 10 out. 2023.

Quadro 6 - Produtos técnicos para gestão de riscos elaborados pelo SGB

Tipo de Mapa	Definição	Aplicação
Setorização de risco	Possibilidade de ocorrência de um acidente x consequências (perdas de vidas e/ou bens materiais)	Prevenção de desastres
Avaliação Técnica pós-Desastre	Subsídios técnicos aos municípios, a partir do registro e da caracterização das áreas habitadas que sofreram perdas ou danos decorrentes das chuvas intensas	Remediação de danos
Diagnóstico da População em Áreas de Risco Geológico	Panorama socioeconômico da população residente em áreas de risco geológico	Prevenção de desastres
Cartas de Perigo	Possibilidade de ocorrência de um evento, com a indicação da trajetória e do raio de alcance dos materiais mobilizados	Prevenção de desastres e planejamento urbano
Cartas Geotécnicas	Definir as aptidões à ocupação quanto à probabilidade de ocorrência de desastres naturais	Prevenção de desastres e planejamento urbano
Cartas de Suscetibilidade	Propensão à ocorrência de um evento	Planejamento urbano

Fonte: O autor (2024).

3.1.2 Avaliação da localização dos pontos de monitoramento

Após o diagnóstico inicial, foi realizada a avaliação da localização dos pontos de monitoramento destinados a detectar, monitorar e registrar ocorrências de inundações, alagamentos e enxurradas. Esta avaliação se

baseou em mapeamentos geográficos e históricos de desastres naturais, fornecendo percepções cruciais sobre qual tipologia de evento é monitorado por ponto instalado. Além disso, durante esse processo, foi explorado possíveis usos adicionais das câmeras de monitoramento em atividades relacionadas à gestão urbana. Ao considerar esses potenciais usos, buscou-se maximizar o valor agregado do sistema de monitoramento, identificando oportunidades para sua aplicação em outras áreas, como infraestrutura, mobilidade e conservação. Essa abordagem ampla visa otimizar não apenas a resposta a desastres, mas também a eficácia geral da gestão urbana, promovendo uma abordagem integrada.

3.1.3 Análise das características dos equipamentos e instalação

Na etapa subsequente, foram descritas as especificações técnicas dos equipamentos de monitoramento propostos, bem como a infraestrutura requerida para sua instalação. Isso incluiu a avaliação da qualidade das imagens capturadas pelas câmeras, a direção de visão adequada para abranger áreas-chave de interesse, o período de armazenamento das imagens gravadas e as estruturas de fixação necessárias para garantir a estabilidade e funcionalidade dos dispositivos. Essa análise objetivou analisar se os equipamentos selecionados desempenham requisitos operacionais necessários para um eficaz monitoramento do sistema de monitoramento.

3.1.4 Avaliação das imagens geradas

Após a avaliação dos critérios de localização e a instalação dos pontos de monitoramento, procedeu-se à análise dos dados e informações obtidos por meio das imagens capturadas. Utilizando essas imagens, realizou-se uma análise dos processos hidrológicos monitorados, levando em consideração suas características específicas e a área de abrangência de cada evento. Além disso, foi investigado o potencial desses dados para gerar informações adicionais, tais como estimativas de vazão e velocidade de escoamento, visando uma compreensão mais completa do comportamento hidrológico das áreas monitoradas. Paralelamente, foram exploradas possíveis aplicações futuras de ferramentas de TICs e IA visando aprimorar a eficiência e a capacidade preditiva

do sistema de monitoramento. Essa análise permitiu não apenas uma compreensão mais aprofundada dos eventos hidrológicos, mas também possibilitou uma abertura para novas abordagens em proteção e defesa civil.

3.1.5 Integração com outras ferramentas de monitoramento

Explorou-se a viabilidade de integrar o parque de câmeras de monitoramento com outras ferramentas de alerta e monitoramento já em uso localmente, destacando os benefícios de aproveitar tecnologias previamente implementadas. Isso incluiu a análise da possibilidade de integração com estações hidrometeorológicas, radares meteorológicos e aplicativos de alerta à população, visando fornecer uma rede abrangente e eficiente de detecção e resposta a eventos adversos. Além disso, foi avaliado o potencial de incorporar outras ferramentas disponíveis, como softwares e plataformas digitais de livre acesso à comunidade, com o objetivo de aumentar a acessibilidade e a eficácia do sistema de monitoramento. Essa abordagem busca maximizar a sinergia entre diferentes recursos e tecnologias.

3.1.6 Otimização de protocolos operacionais e de alerta

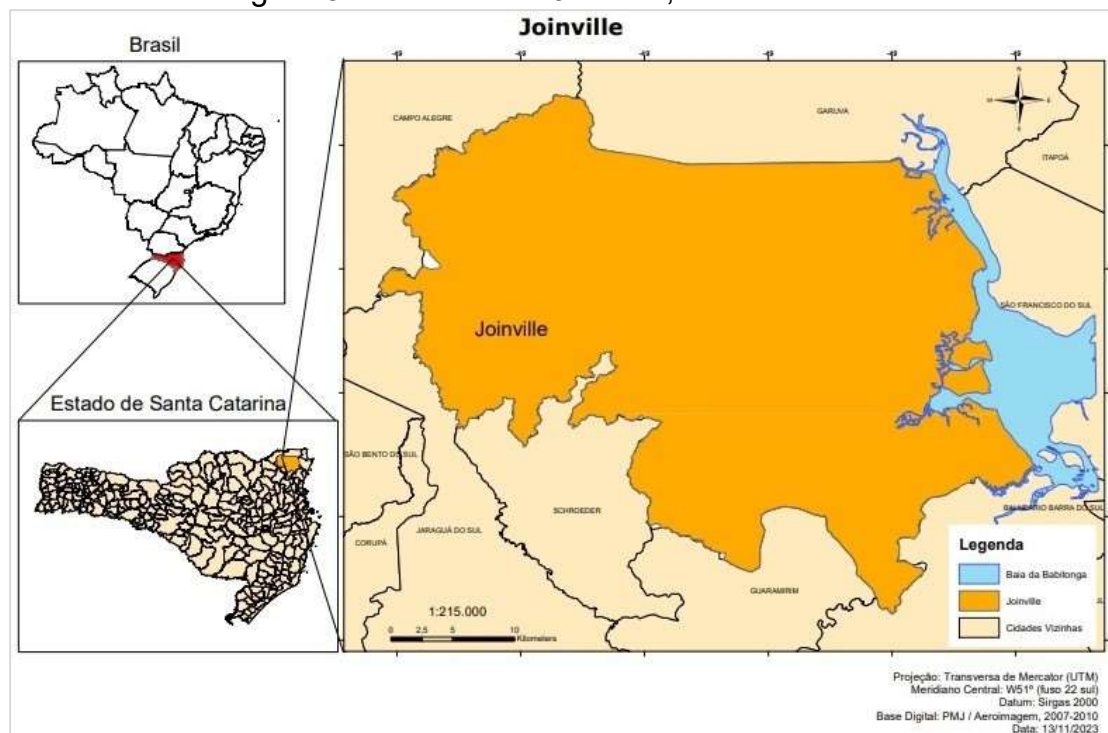
Nesta etapa foram realizadas análises das possíveis ações que podem ser desencadeadas com base nas informações geradas pelo sistema de monitoramento. O objetivo principal focou no aperfeiçoamento e elaboração de protocolos operacionais de órgãos públicos e sistemas de alerta destinados à população. Isso incluiu a identificação de procedimentos específicos a serem seguidos em resposta a diferentes eventos hidrológicos, bem como a implementação de sistemas para notificar rapidamente a população sobre possíveis ameaças.

3.2 ESTUDO DE CASO

O município de Joinville, localizado na região Sul do Brasil e região nordeste do estado de Santa Catarina, na Latitude 26°18'88" S e Longitude 48°50'57" W (Figura 5), foi ocupado por imigrantes europeus nos anos de 1850

nas margens do Rio Cachoeira, atual centro da cidade, e desde a sua fundação os habitantes de Joinville enfrentam problemas relacionados às inundações (Mello e Oliveira, 2016; Barros *et al.* 2021).

Figura 5 - Território de Joinville, área de estudo.



Fonte: O autor (2024)

O município possui área de 1.126 km² e se encontra entre as regiões do estado de Santa Catarina que apresentam maiores índices de pluviosidade, com médias anuais que variam entre 1.700 mm e 2.700 mm, e está inserido entre a planície costeira, com altitudes de 0 m a 1.200 m - planalto da Serra do Mar. Devido às elevadas taxas de precipitação, ambas formações do relevo são susceptíveis a desastres naturais, como inundações e movimentos de massa. Isso ocorre principalmente nos meses de verão, a estação mais chuvosa, com médias mensais de 240,9 mm de chuva, podendo ultrapassar 600 mm em janeiro (Mello e Oliveira, 2016).

De acordo com Barros *et al.* (2021), por ser uma cidade litorânea, as inundações de Joinville são causadas por dois processos: superfície de escoamento devido a fortes chuvas no interior e inundações por marés extremas. A maré astronômica é a principal componente da maré real observada, que influencia nas inundações em Joinville, mas não é a única (Joinville, 2017). A

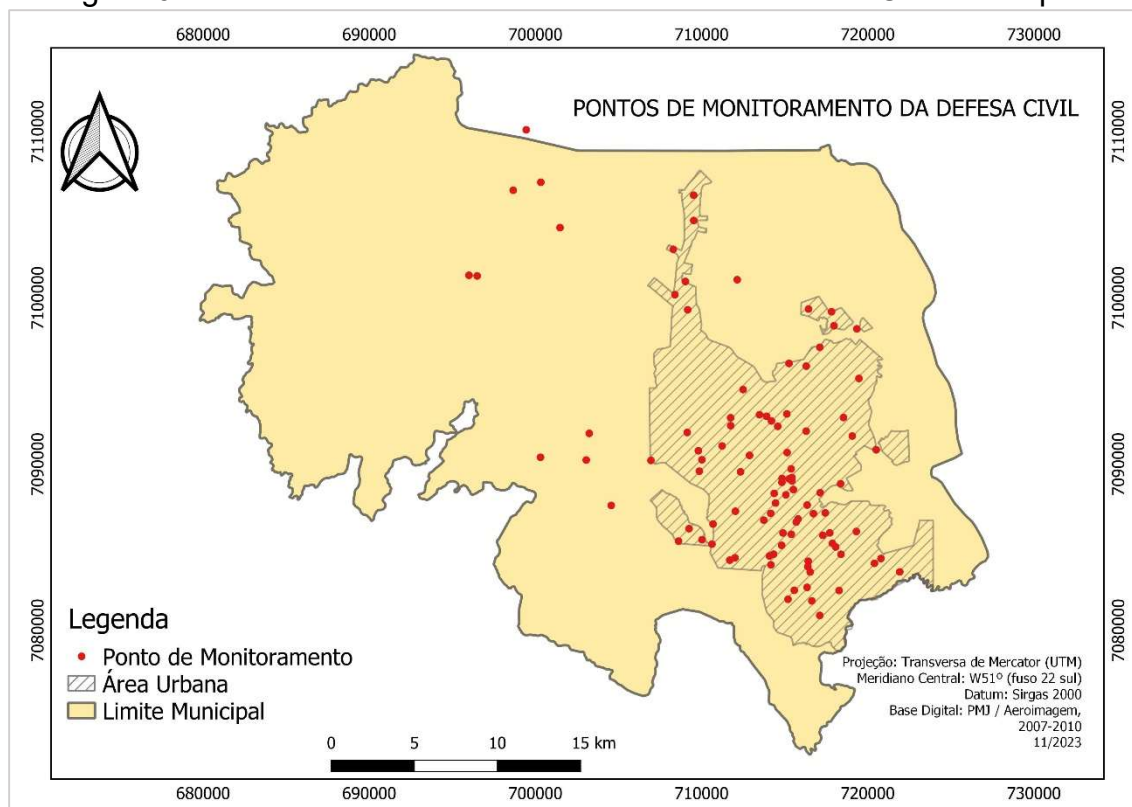
atuação no oceano de ciclones, frentes frias e outros sistemas meteorológicos, resultam em marés meteorológicas, dificultando a sua previsão, modelagem e monitoramento (Joinville, 2017). O autor ainda descreve que estes fenômenos combinados interferem ora positiva, ora negativamente na amplitude e nos horários das marés de forma significativa na região.

3.2.1 Parque de câmeras

O presente estudo adotou a abordagem de pesquisa fundamentada em um estudo de caso, avaliando o parque de câmeras de monitoramento da Prefeitura Municipal de Joinville, SC, Brasil. Este método proporcionou uma análise aprofundada do sistema de monitoramento implementado, permitindo a compreensão das práticas, desafios e benefícios do monitoramento urbano na área de estudo. A escolha por essa metodologia visa uma compreensão da aplicação prática da tecnologia de câmeras no monitoramento da cidade, seus usos potenciais e contribuição na gestão de riscos e desastres.

Em 2022, o município de Joinville iniciou a instalação de um parque de câmeras de monitoramento compartilhado entre os órgãos de segurança, trânsito e defesa civil, em todas as regiões da cidade. Foram instaladas 1.728 unidades em 470 pontos estratégicos para a gestão de trânsito, segurança pública e proteção e defesa civil. Deste total, 97 pontos foram instalados para o monitoramento do órgão municipal de DC, como demonstra a Figura 6.

Figura 6 - Pontos de monitoramento destinados à Defesa Civil Municipal.



Fonte: O autor (2024)

A seleção dos locais de instalação dos pontos de monitoramento foi baseada no histórico de desastres e nos registros de ocorrências da Defesa Civil Municipal. A metodologia aqui proposta visa justamente avaliar a eficácia desses pontos selecionados, analisando sua relevância e cobertura em relação às necessidades reais de monitoramento e resposta a desastres, além de identificar possíveis melhorias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

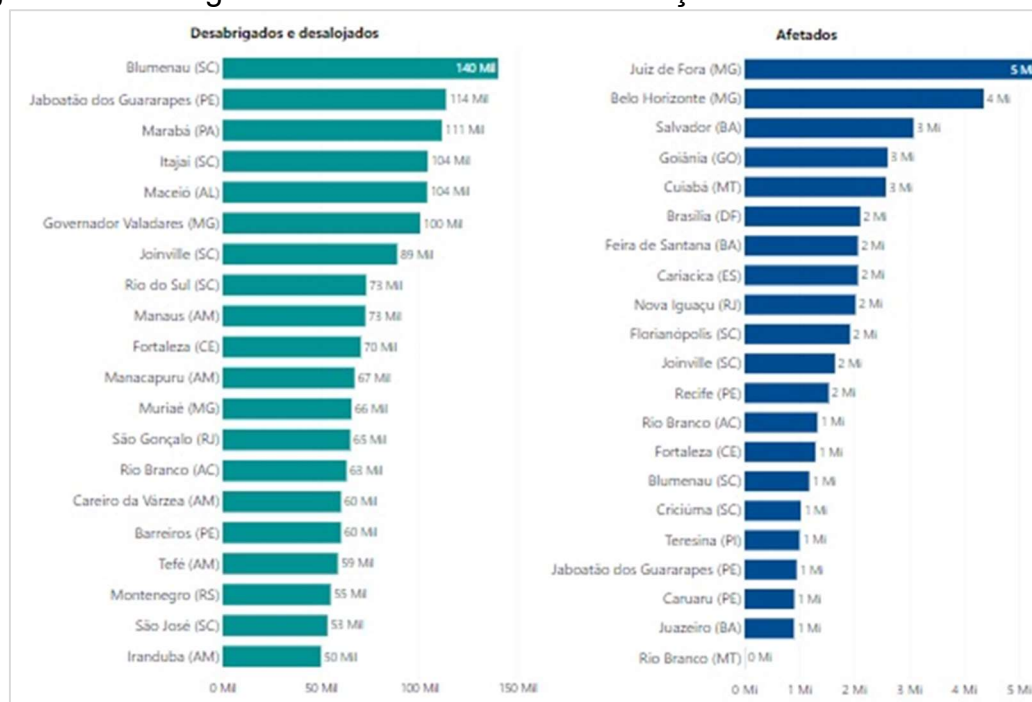
Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos na pesquisa. Inicialmente é delineado um panorama dos históricos de desastres no município e os prejuízos associados a eles, que validam a necessidade da implantação da ferramenta proposta. Apresenta-se também a conveniência da localização dos pontos de monitoramento, dos equipamentos instalados e dos sistemas complementares, bem como da análise das imagens geradas, que demonstram ser eficientes na compreensão temporal e espacial dos eventos hidrológicos. Ainda é demonstrada a integração das câmeras com as demais ferramentas de monitoramento disponíveis no município, como radares e estações meteorológicas. Esta integração consiste em um elemento-chave, uma vez que resultou na otimização dos protocolos operacionais e alertas, fortalecendo assim a capacidade de mitigação de riscos e de resposta aos desastres.

Considerando que o parque está em sua primeira versão e ainda não completou um ano em operação, esta seção também inclui discussões sobre os potenciais da ferramenta e as oportunidades de melhorias. Estes potenciais e melhorias, ainda não implementados, abrangem a utilização de inteligência artificial (*softwares* analíticos), melhorias nas instalações, criação de procedimentos de armazenamento das imagens, desenvolvimento de estudos e integração com outras ferramentas de alerta.

4.1 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO

Em relação aos históricos de desastres, de acordo com Brasil (2023b), a cidade de Joinville é a 7ª cidade no país com o maior número de desabrigados ou desalojados, entre 1991 e 2022 (89 mil pessoas), considerando todas as tipologias de desastres. Em relação ao número de afetados, ou seja, pessoas diretamente atingidas por desastres, neste mesmo período a cidade registrou um total de 1.645.129 pessoas, estando em 11ª no *ranking* nacional, conforme demonstra a Figura 7.

Figura 7 - Ranking das cidades brasileiras em relação aos danos humanos.



Fonte: Brasil (2023b).

Ao analisar a quantidade de ocorrências e as tipologias dos desastres, o município apresentou 36 ocorrências entre 1991 e 2019. Os desastres de origem hidrológica representaram 77,78% dos registros, enquanto 19,44% são de origem meteorológica e 2,78% de outras tipologias.

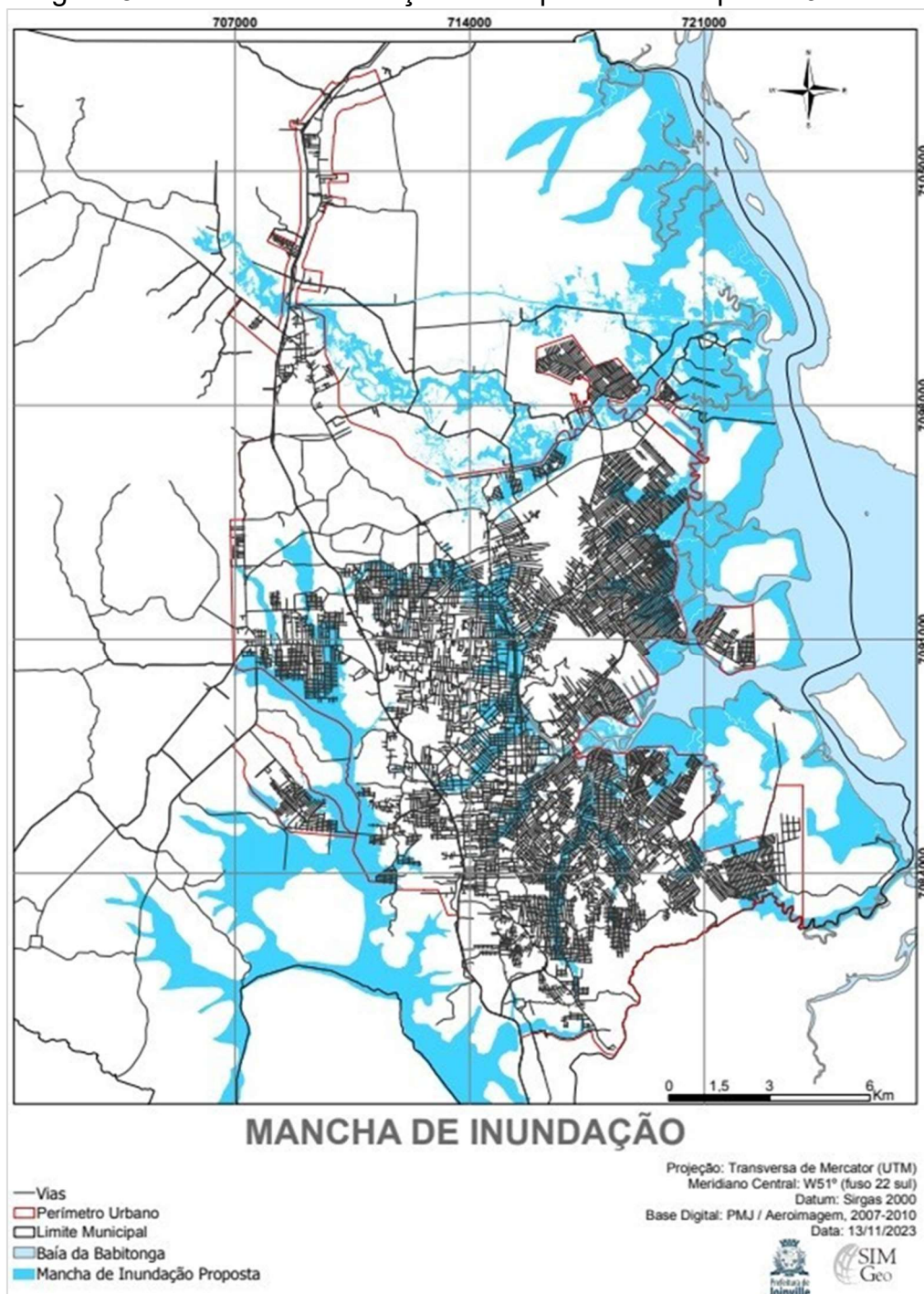
Ainda de acordo com Brasil (2023b) dentre os 28 desastres de origem hidrológica, 3 foram ocasionados por alagamentos, 5 por chuvas intensas, que abrangem múltiplos processos, 8 por inundações e 11 associados a enxurradas. Considerando somente estes processos e o período avaliado (de 1991 a 2019), os prejuízos públicos registrados foram da ordem de R\$ 34,3 milhões e os prejuízos privados de R\$ 79,4 milhões.

Em relação aos estudos de risco e diagnósticos, em consulta ao portal do SGB³, o município de Joinville possui estudos de setorização de áreas de risco (Bellettini *et al.*, 2018), diagnóstico da população em áreas de risco geológico (Lana; Marcussi, 2021) e carta de suscetibilidade (IPT, 2014). A setorização de risco apresentou 140 setores de risco no município, sendo 72 relacionados a processos geológicos, 59 a processos hidrológicos e 9 envolvendo tanto processos hidrológicos como geológicos. Já a pesquisa a nível local, através do

³ Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres-38>. Acesso em 23 out. 2023.

SIMGeo (Sistema Municipal de Geoprocessamento), possibilitou a identificação da mancha de inundação oficial do Município, estabelecida pelo Diagnóstico Socioambiental para o Município de Joinville, Decreto nº 26.874/2016 (Figura 8).

Figura 8 - Mancha de inundação oficial para o Município de Joinville.



Fonte: Joinville (2024).

Os dados e levantamentos obtidos nesta etapa demonstraram que a cidade de Joinville é frequentemente atingida por desastres de origem

hidrológica. Esta condição evidencia a necessidade de investimentos em estratégias de gestão de riscos e de desastres. Conforme Vanderhorst *et al.* (2021), o investimento em estratégias de gestão de desastres é crucial para aprimorar capacidades, compreender responsabilidades e integrar sistemas. Uma dessas estratégias deve ser o aperfeiçoamento do monitoramento desses eventos, uma vez que geram significativos impactos sociais e econômicos no município. Para Arshad *et al.* (2019), um monitoramento adequado e medidas de mitigação eficazes podem limitar danos e prejuízos decorrentes de perigos naturais.

Os resultados obtidos nesta etapa do estudo também possibilitaram validar a utilização das fontes de pesquisas e bancos de dados propostos para um diagnóstico de viabilidade de implantação. Tanto Brasil (2023b) quanto as informações disponíveis no S2ID possibilitaram analisar a frequência, a cronologia e a tipologia das ocorrências registradas no município de Joinville. Já os estudos de risco e suscetibilidade, obtidos na plataforma do SGB e no SIMGeo, por apresentarem informações georreferenciadas e em escala local, foram fundamentais para entender a abrangência das ocorrências no município e por consequência definir a localização dos pontos de monitoramento. Para Arenas, Lagos e Hidalgo (2010), mapas e demais informações georreferenciadas possuem importância a longo prazo, no planejamento da ocupação territorial e na elaboração de estratégias de prevenção e, no curto prazo, para a planificação das ações emergenciais perante o estabelecimento da situação de desastre.

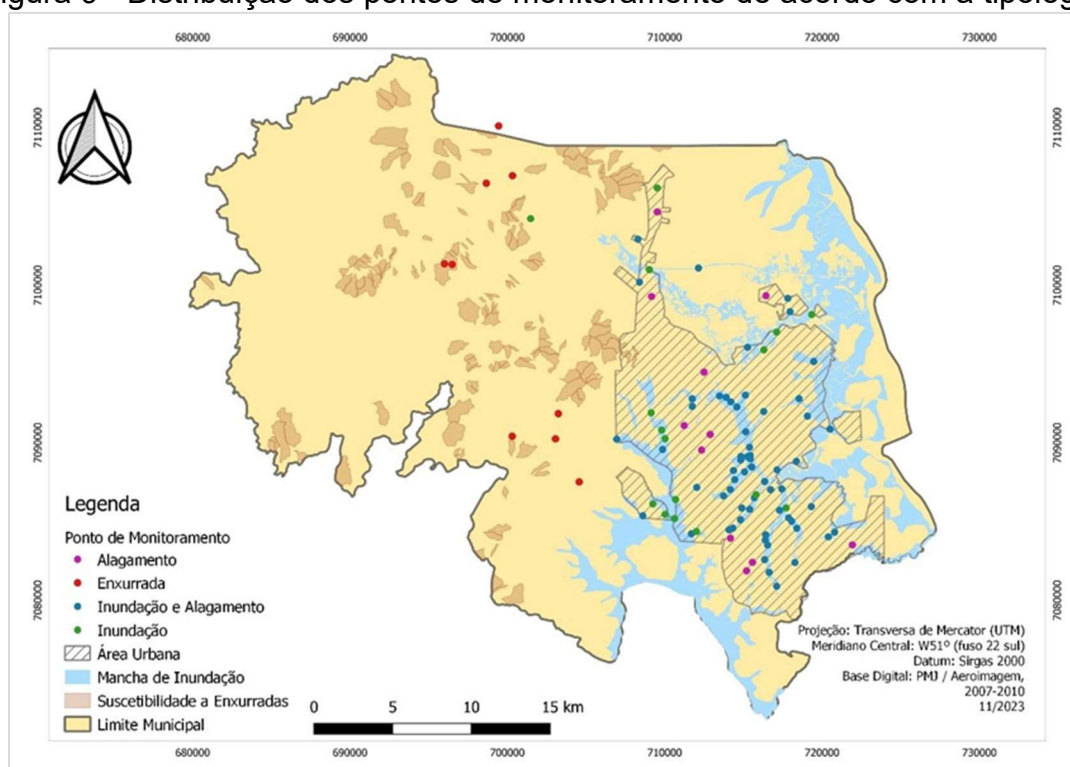
Avaliando o investimento significativo realizado pelo município de Joinville, em um sistema avançado de monitoramento por câmeras que abrange a prevenção de desastres hidrológicos, na ordem de R\$ 2.070.090,92 (US\$ 401.180,41), de acordo com informações do Tribunal de Contas de Santa Catarina, avalia-se como uma medida imperativa para a cidade. Ao longo das últimas duas décadas, os prejuízos acumulados ultrapassaram a marca de 100 milhões de reais, sinalizando a urgência de abordagens proativas. O aporte financeiro destinado representa não apenas uma resposta às perdas passadas, mas também um investimento preventivo que pode salvaguardar vidas, propriedades e recursos públicos no futuro. Em face dos desafios climáticos em constante evolução, a adoção desse sistema de monitoramento emerge como

uma estratégia essencial para fortalecer a resiliência da cidade diante das ameaças identificadas.

4.2 AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO

Como apresentado no item 4.1, os desastres hidrológicos, i. e. inundações, enxurradas e alagamentos são as tipologias que geram maiores prejuízos e danos no município de Joinville. O levantamento das áreas de risco, da análise da carta de suscetibilidade a enxurradas e da mancha de inundação do município, possibilitou avaliar que a distribuição das câmeras está coerente com a tipologia do fenômeno que se pretende monitorar. Com exceção das áreas de alagamentos, que não possuem publicações oficiais em relação à sua espacialização, foi possível verificar que estas fontes de dados são úteis para o auxílio na determinação da distribuição dos pontos de monitoramento. A Figura 9 evidencia que a maioria dos pontos estão inseridos ou se encontram próximos aos polígonos de mapeamentos da mancha de inundação e de suscetibilidade a enxurradas.

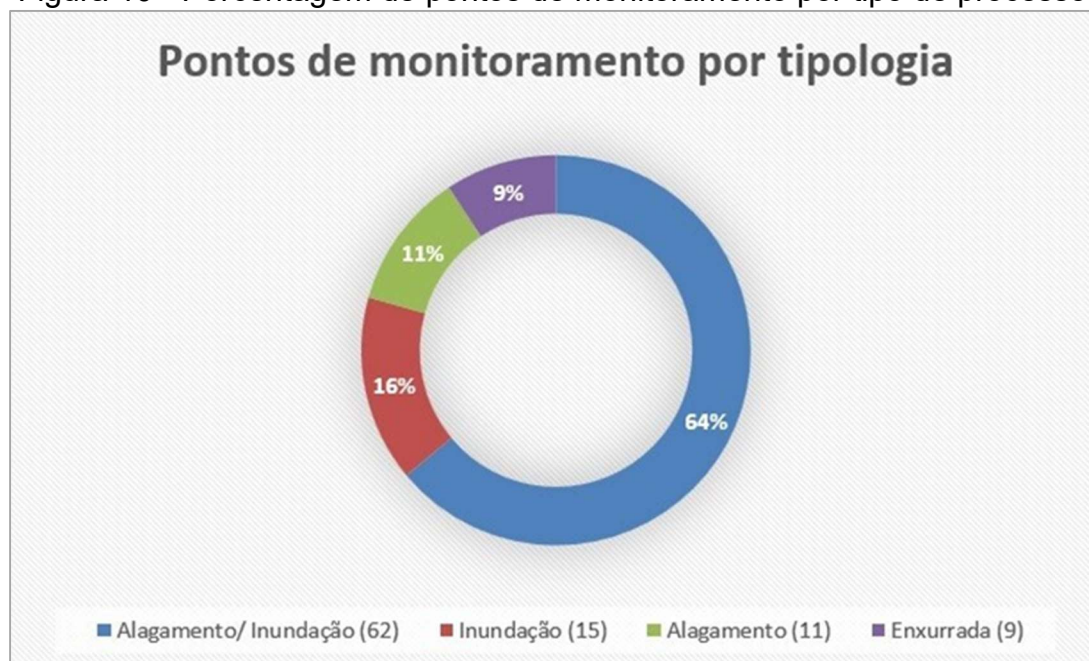
Figura 9 - Distribuição dos pontos de monitoramento de acordo com a tipologia.



Fonte: O autor (2024).

Os polígonos de mapeamentos também possibilitaram avaliar o quantitativo de pontos de monitoramento por tipologia. Dos 97 pontos instalados, 62 estão monitorando áreas de inundação e alagamentos concomitantemente, uma vez que nestas áreas não é possível afirmar se as ocorrências se sucedem por apenas um desses processos. Já 15 pontos estão monitorando os processos de inundação isoladamente, captando a elevação do nível do rio ou áreas próximas atingidas. As ocorrências de alagamentos isoladamente estão sendo monitoradas em 11 pontos e estes avaliam processos relacionados a áreas com deficiência nas estruturas de drenagem. Outros 9 pontos monitoram regiões suscetíveis a enxurradas, todas elas fora da área urbana e próximas às escarpas da serra do mar. A Figura 10 demonstra a quantidade de pontos de monitoramento de acordo com cada tipologia.

Figura 10 - Porcentagem de pontos de monitoramento por tipo de processo.



Fonte: O autor (2024).

A Figura 11 apresenta a captura de imagens de monitoramento para os processos de alagamento (A), enxurrada (B) e inundação (C).

Figura 11 - Imagens das tipologias de processos monitorados. alagamento (A), enxurrada (B) e inundação (C).



Fonte: O autor (2024).

Como os pontos foram distribuídos de acordo com a ocorrência histórica destes fenômenos, também é possível identificar que em Joinville a inundação é o processo de maior recorrência, quando comparado aos alagamentos e às enxurradas. De fato, na setorização de riscos (Bellettini *et al.*, 2018), todos os polígonos descritos como de risco de inundação possuem histórico de eventos que trouxeram transtornos à população local. Os mesmos autores ainda descrevem que um agravante importante é a ocupação urbana próxima aos rios, que possuem sua foz na Baía da Babitonga, uma vez que, em tempos de maré alta, o fluxo oceânico direcionado ao continente faz com que ocorra um efeito de remanso ao deságue das bacias hidrográficas, gerando ou potencializando eventos de inundações. O Plano Diretor de Drenagem Urbana (Joinville, 2011) também acrescenta que parte do município de Joinville sofre influência das marés, o que reflete em inundações em áreas planas mesmo na ausência de precipitações. Portanto é justificável que a maioria dos pontos de monitoramento por câmera estejam instalados em áreas com essa problemática.

Esta etapa dos resultados do estudo demonstra que a seleção dos pontos de monitoramento está alinhada com áreas previamente identificadas como suscetíveis a desastres hidrológicos, de acordo com mapeamentos e estudos analisados. Isto confirma a eficácia do planejamento inicial na escolha dos locais

de monitoramento, assegurando uma cobertura adequada de regiões historicamente mais atingidas.

4.3 CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÃO

Cada ponto de monitoramento do parque estudado é composto por 3 ou 4 câmeras do tipo *bullet* (Figura 12). Este equipamento possui resolução de 2 *megapixel*, definição de imagem *Full HD* 1080p, lente de 3,6 mm com angulação de visão horizontal de 96° e ângulo de visão vertical de 51°. De acordo com o documento Manual do Usuário (Intelbras, 2022), são ideais para a instalação em ambiente externo e possuem ajuste automático para os períodos diurnos e noturnos.

Figura 12 - Caracterização de um ponto de monitoramento.

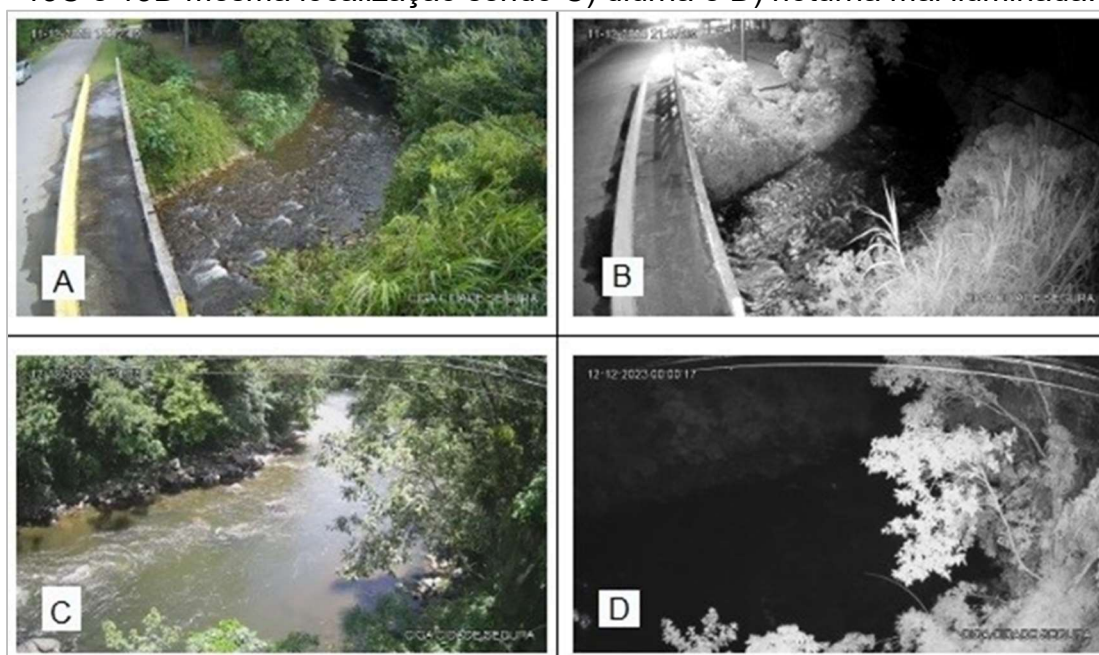


Fonte: O autor (2024).

A visualização das imagens no período noturno apresenta eficiência distinta entre os pontos. Nos locais onde há maior luminosidade ou em que a iluminação pública está direcionada ao leito do rio é possível verificar modificações no ambiente (Figura 13-b). Já nas áreas com baixa luminosidade,

o monitoramento noturno pode ficar comprometido (Figura 13-c e Figura 13-d). Uma solução seria a instalação de refletores ativados em dias de chuva nos pontos onde a iluminação existente não abrange o leito do rio.

Figura 13 - Visualização dos pontos em diferentes condições
13A e 13B mesma localização sendo A) diurna e B) noturna bem iluminada;
13C e 13D mesma localização sendo C) diurna e D) noturna mal iluminada.

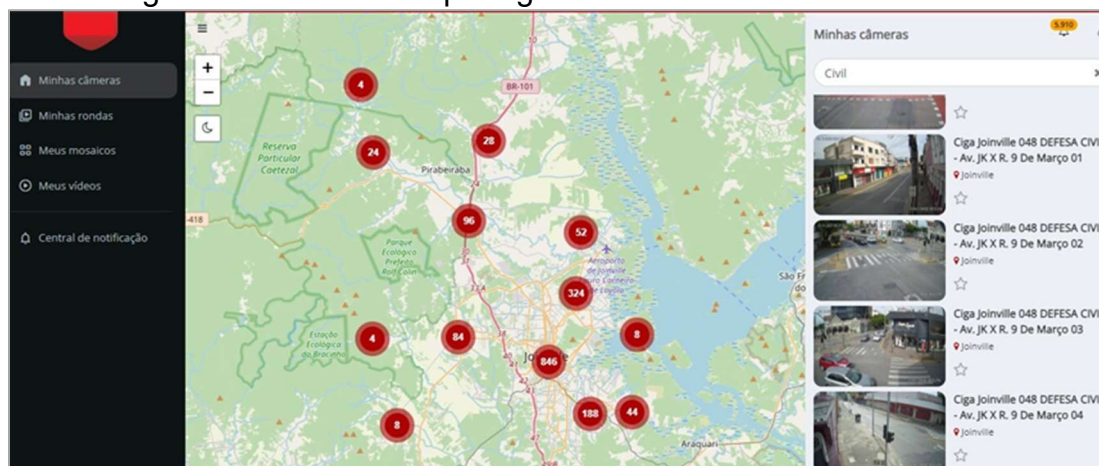


Fonte: O autor (2024).

As câmeras estão instaladas em postes metálicos com altura entre 3 e 4 metros. Devido a vandalismo, alguns pontos foram substituídos por postes de concreto com alturas superiores, e reforçada a sinalização de que estas estruturas se tratam de câmeras de monitoramento para fins de Defesa Civil. Em relação ao local de instalação, os postes estão fixados de acordo com o processo que se pretende monitorar. Pontos destinados ao monitoramento de alagamentos foram fixados em estruturas localizadas em calçadas, dentro das áreas com esse histórico. Para os processos que englobam inundação e enxurrada, buscou-se a fixação em vias públicas adjacentes a rios, córregos ou valas, sempre direcionando ao menos uma das câmeras ao fluxo de água.

Para a visualização das imagens do sistema é utilizado um *software SaaS* (*Software as Service* - *SaaS*), ou seja, um aplicativo baseado em nuvem e transmitido via internet (Figura 14) e com um tempo de armazenamento de 15 dias.

Figura 14 - Plataforma para gerenciamento do monitoramento.



Fonte: O autor (2024).

Através da plataforma de monitoramento é possível que o operador do sistema faça o *download* das informações, tanto em vídeo como em imagem (*frame*). Atualmente apenas operadores internos dos órgãos de segurança pública possuem acesso ao sistema. Para o ano de 2024 está prevista pela DC Municipal a aquisição de uma plataforma integradora de dados hidrometeorológicos, assim como de imagens em tempo real, para disponibilização pública. Estas ações representarão ganhos importantes na preparação das comunidades e na cultura de autoproteção em desastres. Tais medidas deverão respeitar a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), Lei Federal nº. 13.709 de 2018.

O tempo de armazenamento de 15 dias é adequado para ações de proteção e defesa civil. A Portaria Federal nº 260 de 2 de fevereiro de 2022, que estabelece os procedimentos e critérios para o reconhecimento federal e para a declaração de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e Distrito Federal, determina que o prazo para envio da solicitação de reconhecimento de situação de anormalidade é de 10 dias a contar da data do desastre de início súbito e 10 dias a contar da data de publicação do decreto para desastres graduais. Portanto, para fins de elaboração de relatórios de comprovação de danos e estimativa de prejuízos, o prazo de armazenamento se mostrou adequado. Porém de forma a fomentar pesquisas e análises aprofundadas sobre os fenômenos, bem como suas dinâmicas, o arquivamento das imagens de eventos extremos pode auxiliar a compreensão e estudo destes fenômenos no município. É importante que a partir de determinada intensidade

ou limite pluviométrico tenha-se o protocolo de arquivar as imagens das câmeras que captaram eventos importantes. Esta ação poderá ser desenvolvida pelo Núcleo Municipal de Hidrometeorologia (NMH) do município de Joinville, organização instituída por meio do Decreto nº 42.338 de 2021 que envolve a defesa civil e diversas entidades de relevância local.

4.4 AVALIAÇÃO DAS IMAGENS GERADAS

Através da análise das imagens geradas pelo parque de câmeras foi possível avaliar que elas apresentam a abrangência espacial e temporal dos eventos monitorados. Isso possibilita, de forma direta, a realização de mapeamento de área afetada (bairros atingidos, vias interditadas, pontes submersas etc), como demonstra a Figura 15.

Figura 15 - Imagem de via interrompida durante evento hidrológico.



Fonte: O autor (2024).

A Figura 16 demonstra o potencial da ferramenta para o acompanhamento e registro da duração do evento. Assim, pode-se identificar quando a inundação se iniciou, quando ela atingiu seu nível máximo e quanto tempo demorou para a sua ascensão e recessão.

Figura 16 - Análise temporal de evento de inundação de via pública na Rua São Paulo, bairro Floresta

Na Figura 16-a, é possível observar o início da chuva intensa e alguns acúmulos de água se formando na pista de rodagem às 17:58 h. A Figura 16-b demonstra o “pico” do evento, onde o trânsito é totalmente interrompido devido à inundação da via, conforme verificado na porção superior da imagem e alguns estabelecimentos invadidos pela água. Na Figura 16-c, pode-se observar que o nível da água na pista já apresenta representativa diminuição e já se observa fluxo de veículos. Por fim, a Figura 16-d registra o local totalmente liberado e sem ocorrência de alagamento ou inundação às 21:29 h.



Fonte: O autor (2024).

Visando ampliar o potencial das informações geradas através do videomonitoramento, foram instaladas réguas linimétricas em determinados pontos do município. O objetivo desta ação é possibilitar a coleta de informação sobre nível de alagamento ou de inundação em tempo real sem a necessidade da implementação de um *software* analítico, assim como gerar histórico para o desenvolvimento de estudos hidrológicos.

As réguas foram pintadas usando moldes impressos em impressora 3D, medindo 20 cm x 20 cm e com marcações espaçadas a cada 2 cm. As réguas foram pintadas na cor azul, utilizando tinta para demarcação viária, e as estruturas onde eram marcadas foram lixadas para aumentar o contraste com um fundo mais claro possível. A Figura 17 apresenta a instalação de uma das réguas linimétricas.

Figura 17 - Régua linimétrica pintada em locais de monitoramento.



Fonte: O autor (2024).

Em relação à visualização das marcações através das câmeras, foi possível observar que em distâncias inferiores a 3 metros entre a câmera e a régua, as características da régua como cor e tamanho dos números e graduações, se mostraram adequadas para a sua leitura com precisão de até 2 centímetros de nível de água (Figura 18).

Figura 18 - Imagens registradas em distâncias inferiores a 3 metros.



Fonte: O autor (2024).

Para réguas instaladas a distâncias superiores a 3 metros as leituras através das câmeras apresentaram distorções. Isso pode ser atribuído ao tamanho dos números e graduações da régua ou à resolução das imagens, neste caso de 2 *megapixel*. Apesar de não apresentarem a precisão de 2 centímetros, como a atingida em distâncias inferiores a 3 metros, os dados obtidos podem captar intervalos maiores, como 10 centímetros, podendo ser úteis para a definição de níveis de alerta.

Analisando os eventos hidrometeorológicos monitorados durante o desenvolvimento deste estudo e considerando apenas a avaliação das imagens geradas, foi possível verificar que os dados hidrológicos mais facilmente gerados são o de nível de água, com auxílio das réguas e o tempo que uma determinada região leva para inundar ou deixar de ficar inundada.

Uma rede de monitoramento por câmeras focada exclusivamente na obtenção de dados de nível pode apresentar limitações substanciais. Embora forneça informações valiosas sobre a extensão das inundações, essa abordagem pode deixar de capturar informações cruciais associadas a eventos hidrológicos. A falta de dados complementares, como a vazão, a velocidade e o comportamento do fluxo de água, pode restringir a capacidade de compreender de forma mais abrangente a dinâmica das inundações. Além disso, a ausência dessas informações em tempo real pode limitar a capacidade de prever e responder prontamente aos desastres.

Uma alternativa para potencializar o uso das imagens é a implementação de *softwares* capazes de determinar a vazão e a velocidade de escoamento por meio de análise de imagens. Isso representaria uma contribuição significativa para o monitoramento hidrológico. Esta aplicação é indicada principalmente em escoamentos de alta energia (Figura 19) e que possam representar um risco caso atinjam infraestruturas, veículos e pessoas.

Figura 19 - Exemplo de local necessário para aplicação para determinação de vazão e velocidade de escoamento.



Fonte: O autor (2024).

Softwares que usam a estratégia *Large-Scale Particle Image Velocimetry* (LSPIV) se destacam pela capacidade de monitorar escoamentos urbanos em tempo real, diferente da estratégia original *Particle Image Velocimetry* (PIV) amplamente utilizada para a medição da velocidade com maior precisão de escoamentos em canais de laboratórios (Rosas Flores; Tejeda Flores, 2020). Ao analisar imagens obtidas por câmeras, o LSPIV pode proporcionar informações sobre a velocidade e a vazão da água, sendo valioso para estudos hidrológicos e para aplicações práticas em gestão de desastres (Muste *et al.*, 2014).

Outras estratégias que podem ser utilizadas estão relacionadas ao conceito de Inteligência Artificial, que podem englobar técnicas de *Machine Learning* (ML), ou ainda a técnica mais aprimorada e complexa de ML, conhecida como *Deep Learning* (DL). De acordo com Silva *et al.* (2023), técnicas de ML tornam possíveis o aprendizado de máquinas com base no tratamento de dados e identificação de padrões lógicos. Já a técnica de aprendizagem profunda (*Deep Learning*), é destinada ao reconhecimento de imagens e à classificação de áreas.

Estas estratégias podem, no futuro, auxiliar na detecção em tempo real de inundações, uma vez que algoritmos de ML ou DL forem treinados para identificar padrões específicos em imagens de câmeras, como a presença de

água em cotas pré-estabelecidas. Isso possibilitaria uma detecção precoce de alagamentos e inundações, alertando autoridades e população antes que a situação se agrave. Ainda, podem ser desenvolvidos modelos para analisar dados históricos de alagamentos, juntamente com informações meteorológicas e topográficas em tempo real, a fim de prever a ocorrência de futuros eventos de inundação com antecedência. Essas previsões podem ser utilizadas para tomar medidas preventivas e mitigar os danos.

Integrando ferramentas de IA com sensores *IoT* e análise de *Big Data* pode-se otimizar a utilização de recursos de resposta a emergências, já que algoritmos podem identificar áreas com maior probabilidade de serem afetadas por alagamentos e inundação e direcionar os recursos de forma mais eficiente para essas áreas. Esta estratégia de integração também possibilita uma melhor avaliação dos impactos gerados no pós-desastre. Análise *Big Data* pode verificar dados de câmeras de monitoramento para identificar áreas afetadas e avaliar o dano causado, ajudando na tomada de decisões sobre medidas de recuperação e reconstrução.

Utilizando estas estratégias, Fernandes Jr, Nonato e Ueyama (2022) desenvolveram um sistema que utiliza câmeras de vigilância em ambientes urbanos para monitorar o nível de um rio e que automaticamente envia alertas para as autoridades e para a população. Adicionar estas ferramentas no processamento das imagens geradas no parque de câmeras da cidade de Joinville seria uma alternativa para tornar a geração de alertas mais ágeis e inteligentes.

Analisando as imagens geradas, mesmo com as limitações descritas no atual parque de câmeras apresentadas neste item, os dados obtidos são de grande valor para ações futuras de redução de risco de enchentes e políticas públicas. Como aponta Ufuoma *et al.* (2021), novas abordagens estão aprimorando o monitoramento e a preparação de desastres, incluindo o desenvolvimento de sistemas de alerta de inundação através da geração de imagens por câmeras. Para os mesmos autores, esta abordagem possibilita a vigilância em tempo real das cheias, sendo uma ferramenta crucial para coletar dados sobre o fenômeno. A precisão das variáveis hidrológicas em tempo real é de extrema importância para previsão, monitoramento e otimização de sistemas de alerta, visando a mitigação de danos.

4.5 INTEGRAÇÃO COM OUTRAS FERRAMENTAS DE MONITORAMENTO

O parque de câmeras possibilita o emprego racional de recursos humanos e logísticos, minimizando vistorias em áreas remotas para monitorar as condições de pontilhões e estradas rurais. Também reduz o tempo de resposta para a interrupção de trânsito em ruas inundadas e possibilita o envio de avisos e alertas mais assertivos à população. Atualmente, em período de normalidade, cada entidade realiza o monitoramento nos padrões operacionais do órgão, com relação ao número de operadores visualizando as imagens e período de trabalho. Em situações de crise, após instalada a sala de situação municipal, o monitoramento passa a ser integral e outras agências passam a compor o monitoramento, conforme Plano de Contingências. O município iniciou, em 2024, a instalação do Centro de Controle Operacional, que além de contar com uma sala de crise e de monitoramento, passará a realizar o monitoramento 24 h por dia 7 dias por semana.

A Figura 20 apresenta um exemplo da integração entre os órgãos de resposta a desastres. Na imagem, a equipe do Corpo de Bombeiros encontra-se de prontidão para realizar uma possível remoção de famílias de uma área de inundação, após comunicação da Defesa Civil. A comunicação foi possível devido ao sistema de monitoramento por câmeras, que permitiu a identificação visual da inundação, em tempo real e com a antecedência necessária para mitigar os riscos à vida.

Figura 20 - Integração entre órgãos de resposta a desastres.



Fonte: O autor (2024).

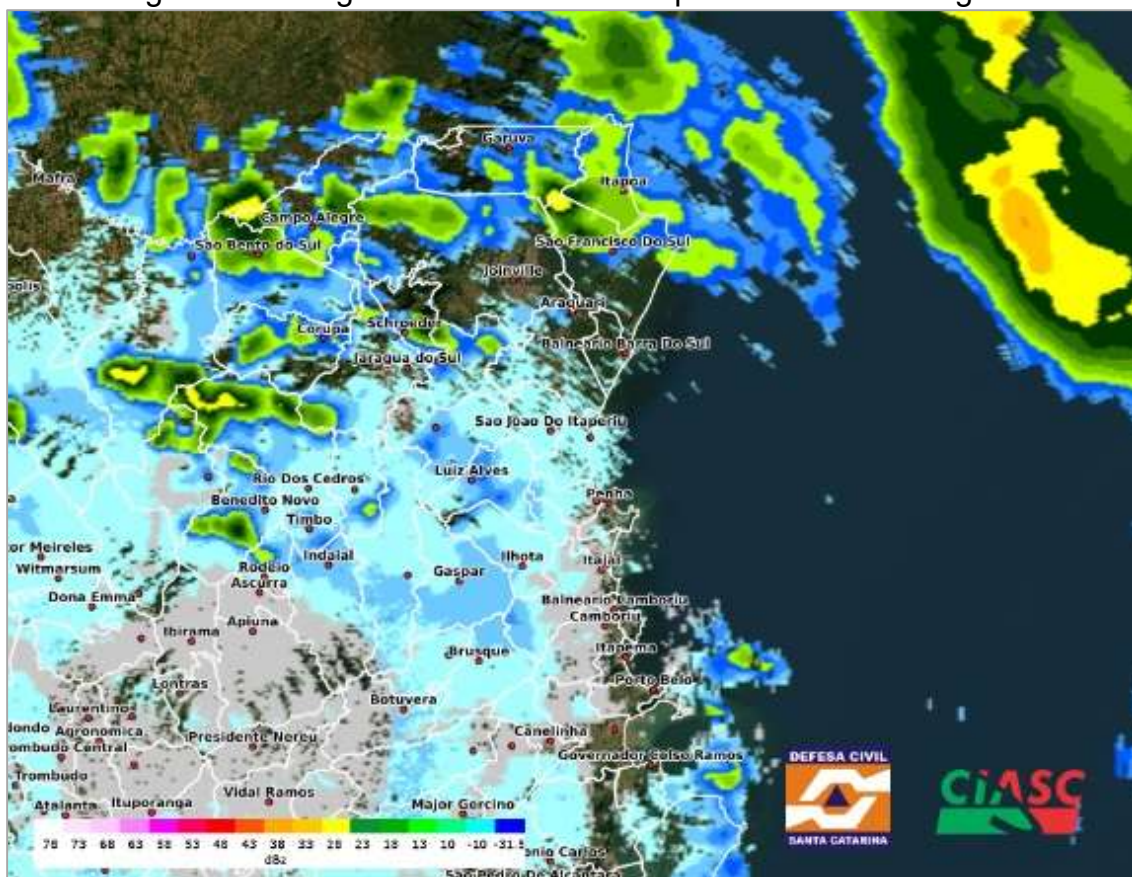
Os benefícios dessa prática podem ser potencializados a partir da interação com outras ferramentas e infraestruturas de monitoramento. Armazenar e registrar os dados de nível obtidos através das imagens captadas nas réguas linimétricas instaladas, futuramente podem auxiliar no desenvolvimento de estudos hidrológicos e de planejamento urbano, que necessitam de dados que muitas vezes são escassos para a realidade brasileira.

Em 2023 o município de Joinville passou a contar com o monitoramento de um radar meteorológico, instalado pelo governo estadual. Aliar o monitoramento por câmeras com dados meteorológicos precisos provenientes do radar pode resultar em antecipação de alertas ou evacuações direcionadas a áreas específicas. Isso porque as câmeras oferecem uma visualização imediata e em tempo real de um determinado ponto e o radar contribui com informações sobre a previsão da intensidade, movimento e distribuição de precipitações na região.

A Figura 21, demonstra a visualização em tempo real das imagens geradas pelo radar meteorológico. Esta visualização possibilita o acompanhamento da formação ou atuação de núcleos de chuva ou tempestades em determinada região. Identificada alguma formação com potencial de risco, com a ferramenta das câmeras, as áreas e bacias suscetíveis passam a ser monitoradas prioritariamente.

Em áreas suscetíveis a enxurradas o tempo de resposta para ações de avisos, alertas ou remoção de pessoas necessita ser reduzido ao máximo. O aumento da vulnerabilidade aos danos humanos torna-se evidente associado às ocorrências de enxurradas nos pontos de concentração de banhistas no verão em Joinville. À medida que a temporada de calor atrai o público para as áreas de banho, a combinação de chuvas intensas e a topografia local propensa a inundações amplifica os riscos. A Figura 22 a seguir é um exemplo de ponto de monitoramento em local com concentração de banhistas no município. A integração entre as imagens das câmeras e os dados de radar pode potencializar avisos à população, evitando acidentes e poupando perdas humanas e materiais.

Figura 21 - Imagem de monitoramento por radar meteorológico.



Fonte: Adaptado de Defesa Civil de Santa Catarina (2024).

Figura 22 - Banhista em área de enxurrada.



Fonte: O autor (2024).

A partir da priorização das áreas, devido à análise das imagens do radar, não só o ponto de interesse passa a ser monitorado, mas também as áreas à

montante na bacia. A Figura 23, demonstra imagens de monitoramento em pontos distintos na mesma bacia e no mesmo horário.

Figura 23 - Monitoramento simultâneo em pontos distintos em uma mesma bacia. A) Ponto à montante da bacia com região de banhistas, B) ponto à jusante da mesma bacia.

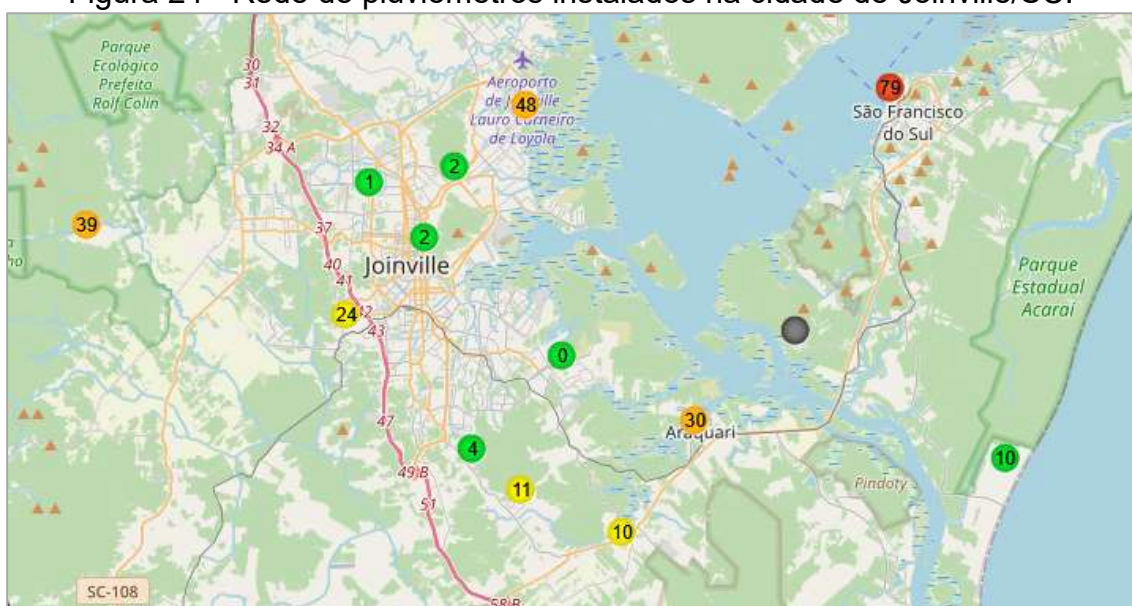


Fonte: O autor (2024).

Através da figura anterior, é possível verificar que o monitoramento por câmeras permite identificar alterações de nível do rio em áreas a montante do ponto de interesse, o que potencializa ações de alerta e evacuação, caso necessário.

A integração entre o monitoramento hidrometeorológico por câmeras e as estações pluviométricas e fluviométricas já ocorre no município e pode proporcionar uma abordagem abrangente para avaliar os processos causadores de desastres hidrológicos (Figura 24).

Figura 24 - Rede de pluviômetros instalados na cidade de Joinville/SC.



Fonte: Adaptado de Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (2024).

Enquanto as câmeras oferecem uma perspectiva visual em tempo real das mudanças nas condições dos rios e na infraestrutura urbana, as estações pluviométricas e fluviométricas fornecem dados quantitativos precisos sobre a quantidade de chuva e o nível dos rios. Essa combinação de informações visuais e métricas contribui para uma compreensão abrangente dos eventos hidrometeorológicos e aprimora a capacidade de prever eventos futuros. Além disso, este sistema possibilita uma resposta eficaz a situações de emergência e facilita a correlação de variáveis para a compreensão de seus comportamentos em conjunto.

Atualmente as ferramentas para comunicar e emitir alertas de curto prazo à população no município são o envio de SMS (*Short Message Service*), mensagens via aplicativo *WhatsApp* e redes sociais governamentais e de imprensa. Outra forma é o envio de equipes para as áreas monitoradas, que em casos de extremo risco realizam a remoção da população.

A utilização da ferramenta proposta neste trabalho possibilitará ao município, após realizados estudos e ampliação de recursos humanos, a instalação de sirenes de alertas nestas áreas, otimizando e diminuindo o tempo no envio de alertas à população em risco.

A Figura 25 resume o potencial para salvar vidas e mitigar prejuízos que a interação entre as ferramentas apresentadas neste capítulo possui. É possível observar se determinada região está ocupada por pessoas que necessitam de auxílio em situação de desastre, no local onde a câmera capta.

Figura 25 - Monitoramento em área de risco de enxurrada. Os quadros 25a e 25c estão apresentados os pontos frequentados por banhistas antes da ocorrência de enxurradas. Os quadros 25b e 25d demonstram os mesmos pontos, porém durante a ocorrência.



Fonte: O autor (2024).

4.6 PROTOCOLOS OPERACIONAIS E DE ALERTAS

A Defesa Civil de Joinville estabeleceu através do seu Plano de Contingências (PLANCON) estágios operacionais, que comunicam o nível de risco na cidade, o grau de impacto para a população e a necessidade de atuação dos órgãos de resposta na tentativa de restabelecer a normalidade.

O PLANCON (Figura 26) é um instrumento vital para a gestão de crises e eventos adversos que possam impactar a cidade. Com a instalação de câmeras de monitoramento, visando aprimorar esse instrumento, algumas modificações foram incorporadas, ampliando suas funcionalidades e capacidades de resposta. Uma das principais alterações diz respeito à atribuição do órgão de trânsito e da Defesa Civil no monitoramento integral das câmeras, especialmente a partir do estágio laranja do plano. Isso significa que, quando a situação começa a impactar a cidade, tanto o órgão de trânsito quanto a Defesa Civil assumem a responsabilidade de supervisionar todas as imagens captadas pelas câmeras, permitindo uma resposta mais ágil e coordenada às emergências. A identificação de uma situação de crise pelo monitoramento, como alagamentos e inundações, pode agora servir como um gatilho para a alteração do nível operacional do

PLANCON. Isso significa que, quando tais eventos são detectados pelas câmeras, o plano pode ser imediatamente ativado por parte das autoridades competentes.

Figura 26 - Estágios operacionais do PLANCON.



Fonte: O autor (2024).

Neste sentido, o monitoramento por câmeras apresentou avanços significativos na gestão de crises no município. Através da integração das imagens destinadas à segurança pública e ao trânsito, a rapidez nas ações para resolução de ocorrências apresentou melhorias significativas. A integração dessas diversas fontes de dados (câmeras) se tornou crucial na compreensão abrangente das condições operacionais da cidade e hidrológicas, possibilitando uma resposta ágil e eficaz diante de situações de emergência.

Atualmente, através das câmeras, o operador ao identificar uma ocorrência que coloque algum cidadão em risco ou que afete a dinâmica da cidade, pode acionar os protocolos estabelecidos no PLANCON. A Figura 27 demonstra uma ocorrência onde o motorista, ao tentar atravessar uma região alagada, teve problemas mecânicos no automóvel e precisou ser resgatado pela equipe dos bombeiros. Nestes casos, com a visualização em tempo real, além de direcionar recursos é possível criar uma priorização no atendimento, por gravidade da ocorrência.

Figura 27 - Ocorrência identificada nas câmeras de monitoramento e despachadas para atendimento pelo Corpo de Bombeiros.



Fonte: O autor (2024).

Em 2022, quando áreas da zona rural ficaram isoladas devido a enxurradas, cada deslocamento para acompanhar as condições de acesso levava em média 35 minutos. Atualmente o mesmo ponto (Figura 28) é

monitorado em tempo real. Considerando que para aquele cenário eram realizadas 3 verificações diárias, o ganho em tempo e otimização de recurso para a mesma situação ficam evidentes.

Figura 28 - Monitoramento em áreas distantes e que podem isolar comunidades.



Fonte: O autor (2024).

A partir da implantação do parque de câmeras foi realizada a atualização do “Protocolo de Ação Emergencial: Alagamentos na Área Central de Joinville”. Este documento busca estabelecer práticas e procedimentos operacionais para a minimização dos efeitos previsíveis dos alagamentos na região central da cidade, por meio do desencadeamento de ações conjuntas e simultâneas das entidades envolvidas diretamente nesta atividade.

O Protocolo atende uma antiga demanda de comerciantes do Centro da cidade, já que o fechamento do Terminal Central, durante os alagamentos, evita não só risco aos usuários, mas minimiza os impactos causados pelas cheias nos estabelecimentos comerciais, devido à circulação de ônibus naquela região. A Figura 29 apresenta a atualização deste Protocolo.

Com o monitoramento através das câmeras, as condições são visualizadas em tempo real pelos órgãos de segurança pública, possibilitando uma articulação ágil e precisa para fechamento de vias inundadas e

comunicação às empresas de transporte público para que haja mudança nos locais de embarque (Figura 30).

Figura 29 - Protocolo para transporte público em dias de alagamentos.



Fonte: Joinville (2023).

Figura 30 - Agentes de trânsito interrompendo o fluxo de automóveis em vias alagadas.



Fonte: O autor (2024).

Para este protocolo, além de contar com as imagens disponíveis nos pontos mapeados pela Defesa Civil, houve a integração com as câmeras mapeadas pela segurança pública nos terminais urbanos (Figura 31), possibilitando o monitoramento destas áreas, que em alguns casos também se encontram em áreas de inundação ou alagamentos.

Figura 31 - Monitoramento em terminais urbanos.



Fonte: O autor (2024).

Outro avanço importante a partir da instalação do parque de câmeras foi a atualização nos procedimentos estabelecidos no Projeto Rota Segura (Barros *et al.*, 2021). Inicialmente, em 2013, este mapa foi desenvolvido pela Defesa Civil de Joinville e disponibilizado em formato PDF (*Portable Document Format*) para a população.

Através do monitoramento em tempo real das condições de trafegabilidade nas áreas com histórico de alagamentos e inundações, aliado à parceria realizada entre a Prefeitura de Joinville e o aplicativo Waze (Hiroki, 2021), a Defesa Civil de Joinville passou a visualizar os pontos de alagamentos e sinalizá-los no aplicativo. Para a execução desta ação, inicialmente são monitorados os pontos mapeados como de risco de inundação e alagamentos (Figura 32).

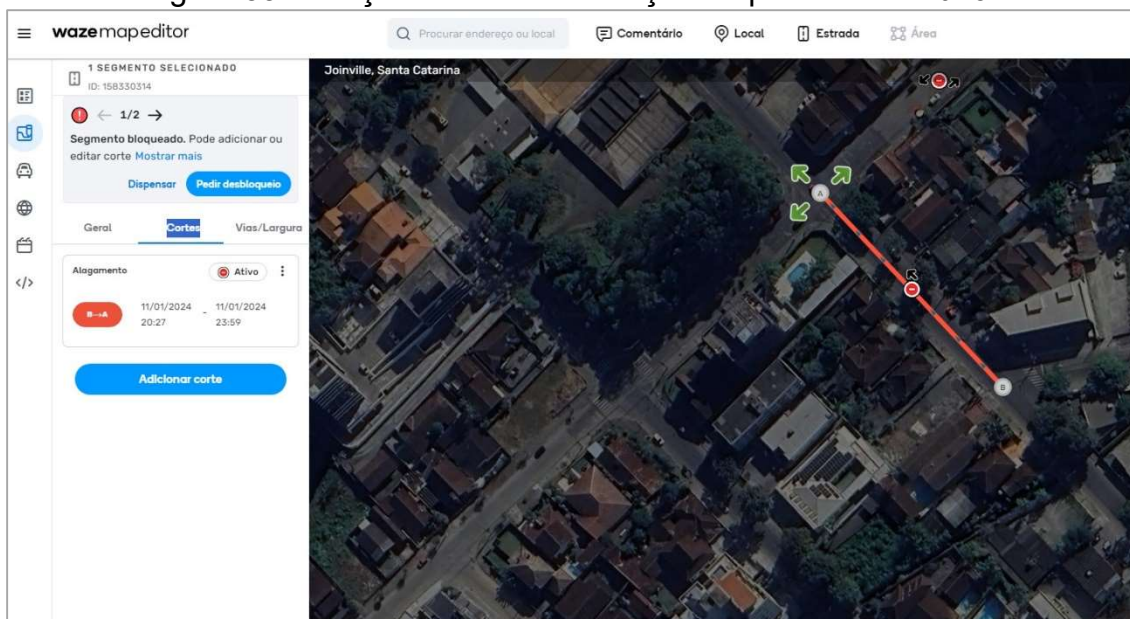
Figura 32 - Exemplo de área alagada que será notificada na plataforma Waze.



Fonte: O autor (2024).

Após a confirmação do registro de ocorrência, a informação é lançada na plataforma do aplicativo (Figura 33).

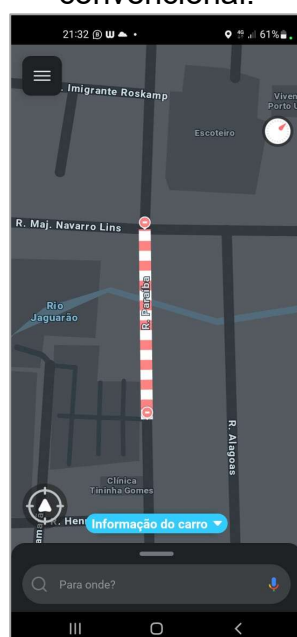
Figura 33 - Lançamento da informação na plataforma Waze.



Fonte: O autor (2024).

A partir do lançamento da informação na plataforma Waze o usuário passa a receber as informações de alagamentos em tempo real, e as rotas serão calculadas considerando estas informações (Figura 34). Dessa forma, aliado às placas de sinalização de rota segura na área central e ao mapa disponível para *download*, a população ganhou uma importante ferramenta de orientação em situações de desastres.

Figura 34 - Visualização de vias inundadas no aplicativo Waze pelo usuário convencional.



Fonte: O autor (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços contínuos em metodologias de Proteção e Defesa Civil são imperativos diante do cenário em constante evolução das ameaças globais. À medida que a tecnologia avança e novos desafios emergem, torna-se evidente que a atualização e aprimoramento dessas estratégias são vitais para garantir a segurança e a integridade das comunidades. O presente estudo ofereceu uma perspectiva abrangente sobre a implementação de uma abordagem inovadora em proteção e defesa civil, fundamentada no monitoramento de eventos hidrológicos por câmeras.

A análise detalhada dos resultados destaca não apenas o potencial dessa abordagem, mas também sua relevância crescente na gestão de riscos e desastres associados a fenômenos hidrometeorológicos e os aspectos a serem corrigidos ou melhorados no município de Joinville. A utilização estratégica de câmeras para monitorar eventos hidrológicos demonstrou ser uma ferramenta valiosa na antecipação e resposta a situações críticas, mesmo com pouco tempo de amostragem.

Os resultados deste estudo destacaram ainda a viabilidade positiva da implantação das câmeras de monitoramento, especialmente considerando os prejuízos substanciais acumulados nas últimas décadas, que ultrapassaram os 100 milhões de reais devido a desastres hidrológicos. A análise reforçou a importância de investimentos em ações de monitoramento e medidas preventivas para mitigar esses impactos negativos. A implementação das câmeras não apenas oferece uma resposta mais eficaz a situações emergenciais, mas também proporciona uma oportunidade de antecipação e prevenção de eventos adversos, contribuindo para a proteção da comunidade diante de desafios futuros.

A análise da localização dos pontos monitorados demonstrou que há consonância com áreas identificadas como suscetíveis a desastres hidrológicos, conforme mapeamentos e estudos prévios, validando o planejamento inicial na seleção dos locais de monitoramento. Além disso, outro resultado significativo é a constatação de que 64% dos pontos analisados estão monitorando locais propensos a ocorrências combinadas de alagamentos e inundação. Em conjunto, esses resultados validam a importância da abordagem baseada em

dados e evidências para o planejamento e a implementação de estratégias de prevenção e resposta a desastres.

A criação de protocolos operacionais específicos, como o Plano Emergencial para a Área Central, bloqueios no Aplicativo *Waze* e atualização do PLANCON, baseados nos dados fornecidos pelo monitoramento por câmeras, destaca-se como um resultado significativo da utilização desta tecnologia. Esses protocolos não apenas aprimoram a capacidade de resposta da DC, mas também abrem caminho para uma abordagem mais proativa na gestão de riscos e desastres. A inovação introduzida por essa abordagem não se limita apenas à tecnologia de monitoramento, mas também inclui a integração de dados, de procedimentos e vislumbra a formação de uma base sólida que gere avanços nas políticas públicas.

Em última análise, a combinação de tecnologias e estratégias operacionais bem definidas demonstrou-se eficaz para enfrentar os desafios crescentes associados a eventos hidrometeorológicos. Foi apontada a necessidade de integração com a inteligência artificial, principalmente para otimizar a emissão de alertas através de padrões de imagens que possam significar risco à população. Essas estratégias têm o potencial de facilitar a detecção em tempo real de inundação, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina (ML) ou *Deep Learning* (DL) para identificar padrões específicos em imagens de câmeras, como a presença de água em níveis predefinidos. A integração de ferramentas de inteligência artificial (IA) com sensores *IoT* e análise de *Big Data* pode otimizar a alocação de recursos de resposta a emergências, permitindo que algoritmos identifiquem áreas com maior probabilidade de serem afetadas ou auxiliarem no levantamento de danos no pós-desastre.

Ao empregar essa abordagem inovadora, a capacidade de resposta aos desastres é fortalecida, bem como fomenta a busca por um caminho mais resiliente em direção a cidades mais seguras e inteligentes.

REFERÊNCIAS

ABDELAZIZ, N. M.; ELDRANDALY, K. A.; AL-SAEED, S.; GAMAL, A.; ABDEL-BASSET, M. *Application of GIS and IOT Technology-Based MCDM for Disaster Risk Management: Methods and Case Study. **Decision Making: Applications in Management and Engineering***. [S.l.], p. 1-36, v.7, n. 1, 2023. Disponível em: <https://dmame-journal.org/index.php/dmame/article/view/929/195>. Acesso em: 10 fev. 2024.

ACEMOGLU, D.; RESTREPO, P. *Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. **The Journal of Economic Perspectives: a Journal of the American Economic Association***, [S.l.], p. 3–30, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1257/jep.33.2.3>. Acesso em 15 out. 2023.

ALIPOUR, A.; JAFARZADEGAN, K.; MORADKHANI, H. *Global sensitivity analysis in hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. **Environmental Modelling & Software***, [S.l.], p. 105398, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105398>. Acesso em: 20 out. 2023.

ALRUQI A. S.; AKSOY, M. S. *The Use of Artificial Intelligence for Disasters. **Open Journal of Applied Sciences***. [S.l.], v. 13, n. 5, 2023. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=125106>. Acesso em: 10 fev. 2024.

ALVES, M. A.; DIAS, R. C.; SEIXAS, P. C. *Smart Cities no Brasil e em Portugal: o estado da arte. **Revista Brasileira de Gestão Urbana***, [S. l.], v. 11, 2019. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/Urbe/article/view/25319>. Acesso em: 2 out. 2023.

ANITHA, C.; TANDON, S.; VAMSIKRISHNA, M.; M, A.; CHAUHAN, M.; BAJAJ, R. *Role of IoT Intelligence System & Big Data Management to Control Flood Data. **International Journal of Intelligent Systems and Applications In Engineering***. [S.l.], p. 455-463, v. 12, n. 15, 2024. Disponível em: <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/4769/3452>. Acesso em: 10 fev. 2024.

ANTWI-AGYAKWA, K. T.; AFENYO, M. K.; ANGNUURENG, D. B. *Know to Predict, Forecast to Warn: A Review of Flood Risk Prediction Tools. **Water***, [S.l.], p. 427, 20 jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w15030427>. Acesso em 12 out. 2023.

ARAÚJO, B. S. **Administração de desastres**: conceitos e tecnologias. 3. ed. Taubaté: Sygma SMS, 2012. 154 p.

ARENAS, F.; LAGOS, M.; HIDALGO, R.. *La planificación territorial y el riesgo de desastres: lecciones del terremoto y tsunami chileno de 2010. In: UC, Centro de Políticas Públicas; MAPFRE, Fundación. **Emergencia y Reconstrucción: el antes y el después del terremoto y tsunami del 27/F. Aprendizajes en materia habitacional, urbana y de seguros***. [S.L.]: Centro de Políticas Públicas UC e Fundación Mapfre, 2012. Cap. 6. p. 147-170.

ARSHAD, B; OGIE, R.; BARTHELEMY, J.; PRADHAN, B.; VERSTAEVEL, N.; PEREZ, P. *Computer vision and IoT-based sensors in flood monitoring and mapping: A systematic review*. **Sensors**. Basel, Switzerland, p. 5012, 16 nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s19225012>. Acesso em 10 out. 2023.

ASITATIKIE, A. N.; KIFELEW, M. S.; SHUMEY, E. E. *Flood inundation modeling using HEC-RAS: the case of downstream Gumara river, Lake Tana sub basin, Ethiopia*. **Geocarto international**, [S.l.], p. 9625–9643, 27 dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.2022014>. Acesso em: 20 out. 2023.

BACK, A. G. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil: avanços e limites na prevenção de desastres. **Revista Agenda Política**. [S.l.], v. 4, n. 1, p. 85-111, 2016. DOI: 10.31990/10.31990/agenda.ano.volume.numero. Disponível em: <https://www.agendapolitica.ufscar.br/index.php/agendapolitica/article/view/85>. Acesso em: 21 out. 2023.

BANSAL, N; MUKHERJEE, M; GAIROLA, A. *Smart Cities and Disaster Resilience*. In: *NATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT*, 2015, Singapura. **Proceedings** [...]. Singapura: Springer, 2016. p. 109-122. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-10-2141-1_8. Acesso em: 11 fev. 2024.

BARROS, V. G.; RAPAGLIA, J.; RICHTER, M. B.; ANDRIGUI, J. F. *Design process in the urban context - Mobility and health in Special Flood Hazard Area*. **International Journal of Disaster Risk Reduction (IJDRR)**, [S.l.], p. 102170, jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102170>. Acesso em 10 out. 2023.

BELLETTINI, A. S.; PEIXOTO, C. A. B.; LAMBERTY, D.; MENDONÇA, R. R. **Setorização de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações**: Joinville, Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM, 2018. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18722>. Acesso em: 10 out. 2023.

BELLINI, E.; NESI, P. *Exploiting smart technologies to build smart resilient cities*. In: GARDONI, Paolo (ed.). **Routledge Handbook of Sustainable and Resilient Infrastructure**. Londres: Routledge, 2018. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315142074-35/exploiting-smart-technologies-build-smart-resilient-cities-emanuele-bellini-paolo-nesi>. Acesso em: 13 fev. 2024.

BENTIVOGLIO, R; ISUFI, E.; JONKMAN, S. N.; TAORMINA, R. *Deep learning methods for flood mapping: a review of existing applications and future research directions*. **Hydrology and Earth System Sciences (HESS)**, [S.l.], p. 4345–4378, 25 ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-26-4345-2022>. Acesso em: 20 out. 2023.

BHOLA, P. K.; LEANDRO, J.; DISSE, M. *Building hazard maps with differentiated risk perception for flood impact assessment*. **Natural Hazards**

and Earth System Sciences (HESS), [S.l.], p. 2647–2663, 06 out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2647-2020>. Acesso em: 20 out. 2023.

BIASI, E. J.; FALSARELLA, O. M.; MARIOSIA, D. F. Bacias hidrográficas inteligentes e sustentáveis: uma proposta a partir do estudo de conceitos e aplicações sobre cidades inteligentes. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**. ISSN 2359-232X [S.l.], p.1-22, 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/1093/547>. Acesso em: 21 out. 2023.

BOUSKELA, M.; CASSEB, M.; BASSI, S.; LUCA, C. de; FACCHINA, M. **Caminho para as Smart Cities**: da gestão tradicional para a cidade inteligente. [S.L.]: Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), 2016. 148 p. Disponível em: <https://publications.iadb.org/en/publications/portuguese/viewer/Caminho-para-as-smart-cities-Da-gest%C3%A3o-tradicional-para-a-cidade-inteligente.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BRASIL. Congresso. Senado. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Lei Nº 12.608, de 10 de Abril de 2012**. Brasília, DF, 10 abr. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 12 out. 2023.

BRASIL. Congresso. Senado. Lei nº 14.750, de 12 de dezembro de 2023. **Lei Nº 14.750, de 12 de dezembro de 2023**. Brasília, DF, 12 dez. 2023a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14750.htm#art2. Acesso em: 12 out. 2023.

BRASIL. Ministério da integração e do desenvolvimento regional. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. 2023b. Disponível em: <http://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/mapa-interativo.xhtml>. Acesso em: 01 nov. 2023.

BRASIL. Secretaria Nacional de Mobilidade e Desenvolvimento Regional e Urbano. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Carta Brasileira para Cidades Inteligentes**: uso responsável e inovador da transformação digital para um desenvolvimento urbano sustentável e inclusivo. 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/projeto-andus/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BRASIL. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **GIRD+10 - Caderno Técnico de Gestão Integrada de Riscos e Desastres**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021b. 154 p. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/Caderno_GIRD10_.pdf. Acesso em: 7 out. 2023.

CAMARGO, R.; HARARI, J.; BISCARO, T. S.; BIAZETO, B. Avaliação das Previsões de Maré Meteorológicas Realizadas com o Princeton Ocean Model

no Laboratório MASTER/IAG/USP. 2002. **Anais...Jaboticabal**: Fábrica da Palavra, 2002. Acesso em 20 out. 2023.

CAMATA, S. D. S.; SARTONI, S. V.; BETTINI, M. M.; CONTI, D. M. A inovação e o desenvolvimento sustentável de cidades inteligentes: uma revisão sistemática para identificação de tendências e lacunas de pesquisas. **RISUS - Journal on Innovation and Sustainability** ISSN 2179-3565, v. 13, n. 4, p. 32–44, 2022. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/risus/article/view/60348>. Acesso em: 21 out. 2023.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC (*Flood Risk Assessment in the Cubatão do Norte River Basin, Joinville/Santa Catarina – Brazil*). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 124-138, 26 maio 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p124-138>. Acesso em: 10 out. 2023.

CARRION, P.; QUARESMA, M. Internet das Coisas (*IoT*): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. p. 6067. In: **Anais do 13º Congresso Pesquisa e Desenvolvimento em Design (2018)**. São Paulo: Blucher, 2019. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/ped2018-Artigo selecionado para publicação na Revista *Human Factors in Design*.

CASTRO, A. C. V. de; ALVIM, A. T. B. Urbanização e gestão de riscos hidrológicos em São Paulo. **Cadernos Metrópole**, [S.L.], v. 24, n. 54, p. 669-696, ago. 2022. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2022-5410>. Acesso em: 12 fev. 2024

CASTRO, A. L. C. **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. 5. ed. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC)/Ministério da Integração (MI), 2007. 191 p. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/glossario.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 174 p., 2003. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/desastres_naturais_voll.pdf. Acesso em: 17 out. 2023.

CASTRO JUNIOR, J. M. **Modelagem computacional da hidrodinâmica e do transporte de óleo**: estudo de caso para o terminal de Ponta Negra, Maricá. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Defesa e Segurança Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019. Disponível em: <https://defesacivil.uff.br/wp-content/uploads/sites/325/2020/10/TCC-2019-Jose-Maria-de-C.-Jr.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED). UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). **The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019)**. 2020. Disponível

em: <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>. Acesso em: 20 out. 2023.

CENTRO DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do Cemaden**. 2024. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>. Acesso em: 09 fev. 2024.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISA E ESTUDOS SOBRE DESASTRES (CPED). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). **Capacitação básica em Defesa Civil**. 5. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2014. 157 p.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISA E ESTUDOS SOBRE DESASTRES (CPED). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Defesa Civil de Santa Catarina (DCSC). **SC Resiliente**: guia conceitual. Florianópolis: CEPED UFSC, 2019. Disponível em: <https://www.scrediliente.sc.gov.br/download/guia-conceitual/>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CHENG, M.; CHIU, K.; HSIEH, Y.; YANG, I.; CHOU, J.; WU, Y. *BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief. Automation in Construction*. [S.l.], p. 14-30, v. 84, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.027>. Acesso em: 10 fev. 2024.

DAVE, V. S.; DUTTA, K. *Neural network based models for software effort estimation: a review. Artificial Intelligence Review*. [S.l.], p. 295-307, v. 42, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10462-012-9339-x>. Acesso em: 10 fev. 2024.

DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA. (org.). **Radares Meteorológicos SC**. 2024. Disponível em: <http://sifap.defesacivil.sc.gov.br/radarsc/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

DEMBSKI, F.; WÖSSNER, U.; LETZGUS, M.; RUDDAT, M.; YAMU, C. *Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany. Sustainability*. [S.l.], v. 12, n. 6, 2307, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12062307>. Acesso em: 10 fev. 2024

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). **Developing and Maintaining Emergency Operations Plans: comprehensive preparedness guide (cpg) 101**. 2. ed. Washington, DC: FEMA, 2010. Disponível em: https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-05/CPG_101_V2_30NOV2010_FINAL_508.pdf. Acesso em: 3 out. 2023.

FERENTZ, L. M. S. Ocorrências de inundações no estado do Paraná e os sistemas de monitoramento e alerta de desastres para o combate de eventos extremos. *International Journal of Environmental Resilience Research and Science (IJERRS)*. [S.l.], v. 3, n. 2, p. 20-35, 2021. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/ijerrs/article/view/26254/22227>- ISSN 2675 3456. Acesso em: 10 out. 2023.

FERNANDES JR, F. E.; NONATO, L. G.; UHEYAMA, J. *A river flooding detection system based on deep learning and computer vision. **Multimedia Tools and Applications***. [S.l.], n. 81, p. 40231 - 40251, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12813-3>. Acesso em: 4 out. 2023.

GARCIA, L. C.; VIANA, J. N. L.; LIMA, C. M. S. Gestão de risco, vulnerabilidade ambiental e a questão climática na gestão metropolitana. **Cadernos Metrópole**. [S.l.], v.25, p. 875-897, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2023-5805>. Acesso em: 20 out. 2023.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**. [S.l.], v. 69, n. 1, p. 61-69, 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44032/23283> - ISSN: 1808-0936. Acesso em: 10 out. 2023.

GOUDARD, G.; MENDONÇA, F. A. Riscos hidrometeorológicos híbridos na bacia do Alto Iguaçu – Paraná (Brasil). Confins. **Revue Franco Brésilienne De Géographie/Revista Francobrasileira De Geografia**, n. 54, 2022. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/44833>. Acesso em: 29 nov. 2022.

HIROKI, S. M. Y. Mobilidade, participação e dados: o caso da aplicação do Waze for Cities Data na cidade de Joinville (SC). **Urbe Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.l.], v. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200030>. Acesso em: 12 out. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Organizadores Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura. – Brasília: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Serviço Geológico Do Brasil (CPRM). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000**: nota técnica explicativa / Coordenação Omar Yasbek Bitar. São Paulo: IPT/ CPRM, 2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16588>. Acesso em: 10 out. 2023.

INTELBRAS (Manaus/ AM). **Manual do usuário**: câmera com infravermelho ativo. Câmera com infravermelho ativo. 2022. Disponível em: https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2022-06/Manual_VHD_VHL_1015BD_1130BD_3230DB_G7-02-22.pdf. Acesso em: 14 fev. 2024.

JAIN, S. K.; MANI, P.; JAIN, S. K.; PRAKASH, P.; SINGH, V. P.; TULLOS, D.; KUMAR, S.; AGARWAL, S. P.; DIMRI, A. P. *A Brief review of flood forecasting techniques and their applications. **International Journal of River Basin Management***, [S.l.], p. 329–344, 22 jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15715124.2017.1411920>. Acesso em: 23 out. 2023.

JAN, O. R.; JO, H. S.; JO, R. S.; KUA, J. *Real-time Flood Monitoring with Computer Vision through Edge Computing-Based Internet of Things. **Future***

internet, [S. l.], p. 308, 28 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fi14110308>. Acesso em 10 out. 2023.

JOINVILLE. Secretaria de Administração e Planejamento - SAP. Prefeitura de Joinville. **Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira**. Joinville: Prefeitura de Joinville, 2011. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/plano-diretor-de-drenagem-urbana-pddu-da-bacia-hidrografica-do-rio-cachoeira/>. Acesso em: 05 out. 2023.

JOINVILLE. Prefeitura de Joinville. **Área Urbana Consolidada De Joinville: Diagnóstico Sócio ambiental**. Joinville, 2017. 156 p. (Volume II). Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/public/portaladm/pdf/jornal/08dd2722eec584b0ab3c9f9259c07bb0.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

JOINVILLE. Prefeitura de Joinville. **Protocolo de Ação Emergencial área central de Joinville: Alagamentos**. Joinville, 2023. 14 p. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2023/07/Protocolo-de-Acao-Emergencial-Alagamentos-na-Area-Central-de-Joinville.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023.

JOINVILLE. Prefeitura de Joinville. **DECRETO Nº 58.066, de 05 de janeiro de 2024**. Joinville, 2024. Disponível em: https://sei.joinville.sc.gov.br/sei/publicacoes/controlador_publicacoes.php?acao=publicacao_visualizar&id_documento=10000021537927&id_orgao_publicacao=0. Acesso em: 10 jan. 2024.

JONER, K.; AVILA, M. R. R.; MATTEDI, M. A. Territorialidade e desastre: a gestão dos desastres no Brasil com base no estudo de caso da Defesa Civil em Santa Catarina. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.l.], v. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200061>. Acesso em: 12 out. 2023.

KASTALI, A.; ZEROUAL, A.; REMAOUN, M.; SERRANO-NOTIVOLI, R.; MORAMARCO, T. *Design Flood and Flood-Prone Areas under Rating Curve Uncertainty: area of vieux-ténès, algeria*. **Journal of Hydrologic Engineering**. [S.l.], 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002049](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002049). Acesso em: 20 out. 2023.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em: https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/Livro_Prevencao_de_Desastres_Naturais.pdf. Acesso em 30 out. 2023.

LANA, J. C.; MARCUSSI, M. C. R. **Diagnóstico da população em áreas de risco geológico**. Joinville, SC. Belo Horizonte: CPRM, 2021. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22722/1/Diagnostico_Joinville_SC.pdf. Acesso em: 17 out. 2023.

LAVELL, T. A. **La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica**. Guatemala: Centro de Coordinación para la

Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC) / PNUD, 2003. 101 p. Disponível em https://www.desenredando.org/public/libros/2006/ges_loc_riesg/. Acesso em: 12 out. 2023.

LEE, S. K.; KWON, H. R.; CHO, H.; KIM, J.; LEE, D. **International Case Studies of Smart Cities: Orlando, United States of America**. [S.l.]: Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), 2016. 48 p. Disponível em: <https://publications.iadb.org/en/international-case-studies-smart-cities-orlando-united-states-america>. Acesso em: 10 fev. 2024.

LIN, F. K. **A Promessa das Smart Cities: Possibilidades e Limitações para o Planejamento Urbano**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado) Planejamento e Gestão do Território – Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Gestão do Território, Universidade Federal do ABC, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ufabc.edu.br/index.html>. Acesso em: 10 out. 2023.

LONDE, L. R.; LOOSE, E. B.; MARCHEZINI, V.; SAITO, S. M. *Communication in the Brazilian civil defense system*. **International Journal Of Disaster Risk Reduction**. [S.l.], p. 103869. set. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103869>. Acesso em: 10 out. 2023.

LONDE, L. R.; SORIANO, E.; COUTINHO, M. P. Capacidades das instituições municipais de Proteção e Defesa Civil no Brasil: desafios e perspectivas. **Revista do Departamento de Geografia**. [S.l.], v. 30, p. 77-95, 2015. DOI: 10.11606/rdg.v30i0.98715. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/98715>. Acesso em: 10 nov. 2023.

MACEDO, E. S.; BRESSANI, L. A. **Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo**. São Paulo: ABGE, 2013. 88 p.

MARCHEZINI, V. Redução de vulnerabilidade a desastres: dimensões políticas, científicas e socioeconômicas. **Waterlat-Gobacit Network Working Papers**. [S.l.], v. 2, n. 17, p. 82-102, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301621903_Reducacao_de_vulnerabilidade_a_desastres_dimensoes_politicas_cientificas_e_socioeconomicas. Acesso em: 20 out. 2023.

MAREK, L. CAMPBELL, M.; BUI, L. *Shaking for innovation: The (re)building of a (smart) city in a post disaster environment*. **Cities**. [S. l.], p. 41–50, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.12.013>. Acesso em 12 fev. 2024.

MELLO Y. R., OLIVEIRA T. M. N., Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville (SC), **Revista Brasileira de Meteorologia**. [S.l.], v. 31, n. 2, p. 229 – 239, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631220150040>

MISHRA, B. K.; THAKKER, D.; MAZUMDAR, S.; NEAGU, D.; GHEORGHE, M.; SIMPSON, S.; *A novel application of deep learning with image cropping: a*

smart city use case for flood monitoring. Journal of Reliable Intelligent Environments, [S. l.], p. 51–61, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40860-020-00099-x>. Acesso em 10 out. 2023.

MUNAWAR, H. S.; HAMMAD, A. W. A.; WALLER, S. T. *Remote Sensing Methods for Flood Prediction: a review. Sensors*. Basel, Switzerland, p. 960. 26 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s22030960>. Acesso em: 20 out. 2023.

MUNAWAR, H. S.; QAYYUM, S.; ULLAH, F.; SEPASGOZAR, S. *Big Data and Its Applications in Smart Real Estate and the Disaster Management Life Cycle: A Systematic Analysis. Big Data and Cognitive Computing*. [S.l.], v. 4, n. 2, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/bdcc4020004>. Acesso em: 10 fev. 2024.

MUSTE, M.; HAUET, A.; FUJITA, I.; LEGOUT, C.; HO, H. *Capabilities of Large-scale Particle Image Velocimetry to characterize shallow free-surface flows. Advances in Water Resources*, [S.l.], v. 70, p. 160–171, ago. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.04.004>. Acesso em 10 out. 2023.

NANDITHA, J. S.; MISHRA, V. *On the need of ensemble flood forecast in India. Water security*, [S.l.], p. 100086, abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2021.100086>. Acesso em: 20 out. 2023.

NASCIMENTO, N. O. **Escopo para elaboração do plano de contingência de inundações para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas**. Escola de Engenharia - Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos - UFMG. Belo Horizonte, 2011. Rev. 1.

NOGUEIRA, F. R.; OLIVEIRA, V. E.; CANIL, K. Políticas públicas regionais para gestão de riscos: o processo de implementação no ABC, SP. **Ambiente & Sociedade**. [S.l.], v. 17, p. 177-194, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1100V1742014>. Acesso em: 10 out. 2023.

OFLI, F.; MEIER, P.; IMRAN, M.; CASTILLO, C.; TUIA, D.; REY, N.; BRIANT, J.; MILLET, P.; REINHARD, F.; PARKAN, M.; JOOST, S. *Combining Human Computing and Machine Learning to Make Sense of Big (Aerial) Data for Disaster Response. Big Data*. [S.l.], v. 4, n. 1, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/big.2014.0064>. Acesso em: 10 fev. 2024.

OLIVEIRA, J. R. C.; HORA, M. A. G. M. Força Nacional de Proteção Civil. **Revista Emergência**. [S.l.]: Proteção Publicações, Ano XVI, nº 04, set. 2015. Disponível em: <https://defesacivil.uff.br/wp-content/uploads/sites/325/2020/10/2015-Fora-Nacional-de-Proteo-Civil.-Jos-Roberto-e-Mnica.pdf>. Acesso em: 12 out. 2023.

OLIVEIRA, O. H. F.; SILVA, L. R. Desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento de alagamentos para cidades inteligentes: o caso do rio de janeiro. In: Simpósio brasileiro de pesquisa operacional, 2023, São José dos Campos. **Anais eletrônicos...** Campinas, Galoá, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbpo-2023/trabalhos/desenvolvimento-de-uma->

ferramenta-de-monitoramento-de-alagamentos-para-cidades-i?lang=pt-br.
Acesso em: 10 out. 2023.

PACHECO, C. A. R.; PEREIRA, N. S. Deep Learning Conceitos e Utilização nas Diversas Áreas do Conhecimento. **Revista Ada Lovelace**. [S.l.], v. 2. p. 34-49, 2018. ISSN: 2596-3058. Disponível em: <http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/adalovelace/article/view/4132/2770>. Acesso em: 20 out. 2023.

PENCE, H. E. *What is Big Data and Why is it Important?* **Journal of Educational Technology Systems**. [S.l.], v. 43, n. 2, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2190/ET.43.2.d>. Acesso em: 10 fev. 2024.

PINHEIRO, E.G. **Gestão Pública para a Redução dos Desastres:** Incorporação da variável risco de desastre à gestão da cidade. 1ª Edição. Curitiba, PR: Appris. 2015. 219 p.

PRIEST, S. J.; PARKER, D.J.; TAPSELL, S. M. *Modelling the potential damage-reducing benefits of flood warnings using European cases*. **Environmental Hazards**. [S.l.], p. 101-120. 21 jun. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17477891.2011.579335>. Acesso em: 20 out. 2023.

RAGINI, J. R.; ANAND, P. M. R.; BHASKAR, V. *Big data analytics for disaster response and recovery through sentiment analysis*. **International Journal of Information Management**. [S.l.], p. 13-24, v. 42, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.05.004>. Acesso em: 10 fev. 2024.

RATHORE, M. M; PAUL, A.; RHO, S.; KHAN, M.; VIMAL, S.; SHAH, S. A. *Smart traffic control: Identifying driving-violations using fog devices with vehicular cameras in smart cities*. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], p. 102986, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102986>. Acesso em 10 out. 2023.

RAUNIYAR, A.; ENGELSTAD, P.; FENG, B.; VAN THANH, D. *Crowdsourcing-Based Disaster Management Using Fog Computing in Internet of Things Paradigm*. In: *International Conference On Collaborative Computing: Networking, Applications And Worksharing (Collaboratecom)*, 2., 2016, Pittsburgh. **Anais[...]**. [S.L.]: IEEE, 2016. p. 490-494. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7809745>. Acesso em: 12 fev. 2024.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5589>. Acesso em 10 out. 2023.

ROCHA, I. P.; FRANÇA, C. D. V.; SILVA, M. C. Contribuições teóricas sobre proteção e defesa civil no contexto de desastres nacionais: uma revisão sistemática. **Multidebates**, Palmas, v. 7, n. 3, p. 205-216, ago. 2023. Disponível em: <https://www.revista.faculdadeitop.edu.br/index.php/revista/article/view/601>. Acesso em: 10 out. 2023.

RODRIGUES, M. R. Da Resposta à Prevenção: Interfaces entre a Gestão de Risco de Desastres e o Planejamento Urbano. **Geo UERJ**. Rio de Janeiro: Instituto de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Geografia da UERJ, n. 36, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.48404> - ISSN: 1415-7543. Acesso em: 15 out. 2023.

ROSAS FLORES, F. S.; TEJEDA FLORES, S. P. **Método LSPIV para el cálculo de la velocidad superficial en escurrimientos fluviales**. 2020. 15f. *Investigación (bachiller) - Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Arquitectura Universidad Peruana Unión*, Lima, 2020. Disponível em: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3408/Fredy_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 13 out. 2023.

RYU, H.; LIM, H. *Linking Smart City and Urban Sustainability Issue: a comparative study of smart city services in Japan and Korea*. **Urban And Regional Planning Review**. [S.l.], p. 263-293. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14398/urpr.10.263>. Acesso em: 13 fev. 2024.

SAITO, S. M.; NOGUEIRA, F. R.; LONDE, L. R.; MARCHEZINI, V.; CANIL, K.; ROSA, F. C. Fortalecendo laços: cooperação intermunicipal para redução de risco de desastres. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**. [S.l.], v. 13, e20200403, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200403>. Acesso em: 10 out. 2023.

SAITO, S. M. Vulnerabilidades no contexto de sistemas de alerta de risco de desastres. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. [S.l.], v. 7, p. 618-630, 2018. DOI: 10.19177/rgsa.v7e02018618-630. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e02018618-630>. Acesso em: 20 out. 2023.

SAMARAKKODY, A.; AMARATUNGA, D.; HAIGH, R. *Technological Innovations for Enhancing Disaster Resilience in Smart Cities: a comprehensive urban scholar's analysis*. **Sustainability**. [S.l.], n. 15, 12036, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151512036>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SARKER, M. N. I.; PENG, Y.; YIRAN, C.; SHOUSE, R. C. *Disaster resilience through big data: Way to environmental sustainability*. **International Journal of Disaster Risk Reduction (IJDRR)**, [S.l.], v. 51, 101769, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101769>. Acesso em 15 out. 2023.

SHAO, W.; SU, X.; LU, J.; LIU, J.; YANG, Z.; CAO, Y.; YANG, Z.; WANG, K. *The application of big data in the analysis of the impact of urban floods: A case study of Qianshan River Basin*. **Journal of physics: Conference Series**. [S.l.], v. 1955, n. 1, p. 012061, 2021. DOI 10.1088/1742-6596/1955/1/012061. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1955/1/012061>. Acesso em: 20 out. 2023.

SHI, Zhongzhi. **Advanced Artificial Intelligence**. 2. ed. [S.L.]: World Scientific, 2019. 596 p. (Series on Intelligence Science: Volume 4). Disponível em: <https://doi.org/10.1142/11295>. Acesso em: 14 fev. 2024.

SHUKLA, P. K. *Natural Disaster Detection for Smart IoT Communication using LoRA model. International Journal of Wireless and Ad Hoc Communication*. [S.l.], p. 19-29, v. 6, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12062307>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (SEDEC). **Módulo de Formação: Resposta: Gestão de Desastres, Decretação e Reconhecimento Federal e Gestão de Recursos Federais em Proteção em Defesa: livro base**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017. 106 p. Disponível em: https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Material%20Did%C3%A1tico/M%C3%B3dulos%20SEDEC/M%C3%B3dulo%20III%20-%20RESPOSTA%20-%20Livro_Base.pdf. Acesso em: 10 out. 2023.

SENE, K. *Hydrometeorology: forecasting and applications*. United Kingdom: Springer Dordrecht, 2010. 355 p.

SILVA, A. F. **A importância das geociências na preparação e resposta a desastres**: a contribuição do geólogo nas operações de desastres. 2023. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Desastres Naturais, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/c1c3b59b-e673-41e1-88ab-14c53df8b041/content>. Acesso em: 15 out. 2023.

SILVA, M. L. R.; FALSARELLA, R. M.; MARIOSIA, D. F. O processo de decisão na gestão de recursos hídricos: A contribuição da Internet das Coisas (IoT) e Big Data. *RISUS - Journal on Innovation and Sustainability* ISSN 2179-3565, v. 13, n. 2, p. 45–58, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.23925/2179-3565.2022v13i2p45-58>. Acesso em: 21 out. 2023.

SILVA, V. A.; SOUZA, R. F.; OLIVEIRA, M. P.; SANTOS, F. L. Aplicação de machine learning e deep learning para modelagem de uma bacia hidrográfica. *Revista Paranoá*. [S.l.], n. 34, p. 1–21, 2023. DOI 10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.20. Disponível em: <https://www.periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/47488/38484>. Acesso em: 20 out. 2023.

UFUOMA, G.; SASANYA, B. F.; ABAJE, P.; AWODUTIRE, P. *Efficiency of camera sensors for flood monitoring and warnings. Scientific African*. [S.l.], v. 13, p. 00887, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00887>. Acesso em 14 out. 2023.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UNISDR). **2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction**. Geneva: Unisdr, 2009. 35 p. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf. Acesso em: 10 out. 2023.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UNISDR). **Word into Action Guidelines - National Disaster Risk Assessment (NDRA): Governance System, Methodologies, and Use of**

Results. 2017. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/52828_nationaldisasterriskassessmentpart1.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). **Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030**: versão em português. [S.L.]: UNDRR, 2015. 25 p. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/43291_63575sendaiframeworkportunofficialf%5B1%5D.pdf. Acesso em: 12 fev. 2024.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). **Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction**. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk>. Acesso em: 12 nov. 2023a.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). **Disaster Risk Reduction Terminology**. Disponível em: <https://www.undrr.org/drr-glossary/terminology>. Acesso em: 10 out. 2023b.

VANDERHORST, H. R.; SURESH, S.; RENUKAPPA, S.; HEESOM, D. *Strategic framework of Unmanned Aerial Systems integration in the disaster management public organisations of the Dominican Republic*. **International Journal of Disaster Risk Reduction** (IJDRR). [S.I.], v. 56, p. 102088, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102088>. Acesso em: 15 out. 2023.

VAZQUEZ, A. A. B.; SANTOS, N. Gestão do conhecimento no contexto da gestão de riscos de desastres: uma revisão sistemática integrativa. In: FINELLI, Leonardo Augusto Couto (org.). **Segurança do Trabalho: experiências exitosas**. [S.L.]: Científica Digital, 2021. Cap. 12. p. 171-187. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/210705441>. Acesso em: 12 out. 2023.

VEIGA JUNIOR, J. C. V.; BIANCHI, P. N. L.; BODNAR, Z. Direito dos desastres: a evolução do sistema de proteção e defesa civil brasileiro. **Revista Eletrônica Direito e Política**. Itajaí: Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência Jurídica da UNIVALI, v.15, n.1, 2020. Disponível em: www.univali.br/direitoepolitica - ISSN 1980-7791. Acesso em: 12 out. 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Health: Emergency and Disaster Risk Management Framework**. Geneva: World Health Organization; 2019. 48 p. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241516181>. Acesso em: 30 out. 2023.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *United Nations (Un)*. **Flood forecasting and early warning**. Geneva: WMO, 2013. 84 p. (Integrated Flood Management Tools Series No. 19). Disponível em: <https://library.wmo.int/idurl/4/37081>. Acesso em: 10 out. 2023.

YANG, T.; XIE, J.; LI, G.; MOU, N.; LI, Z.; TIAN, C.; ZHAO, J. *Social Media Big Data Mining and Spatio-Temporal Analysis on Public Emotions for Disaster Mitigation*. **International Journal of Geo-Information**. [S.I.], v. 8, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijgi8010029>. Acesso em: 10 fev. 2024.

ZEKRIFA, D. M. S.; KULKARNI, M.; BHAGYALAKSHMI, A.; DEVIREDDY, N.; GUPTA, S.; BOOPATHI, S. *Integrating Machine Learning and AI for Improved Hydrological Modeling and Water Resource Management*. In: SHIKUKU, Victor (org.). **Artificial Intelligence Applications in Water Treatment and Water Resource Management**. [S.l.]: IGI Global, 2023. p. 46-70. DOI: 10.4018/978-1-6684-6791-6.ch003. Disponível em: <https://www.igi-global.com/chapter/integrating-machine-learning-and-ai-for-improved-hydrological-modeling-and-water-resource-management/329346>. Acesso em: 12 out. 2023.