

Coordenadores:

Adélia Nunes

António Vieira

Bruno Martins

João Luis Fernandes

Fátima Velez de Castro

Riscos, Água e Sociedade. Dinâmicas socioambientais em contextos de incerteza



RISCOS

Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança
Coimbra, 2025

Riscos, Água e Sociedade. Dinâmicas Socioambientais em Contextos de Incerteza reúne onze trabalhos que, no seu conjunto, oferecem um panorama abrangente e metodologicamente diversificado sobre as interfaces entre riscos, água e sociedade e constitui um espaço de reflexão sobre a produção social da vulnerabilidade, sobre as contingências de origem hídrica e sobre o papel da ciência e da tecnologia na prevenção e mitigação de impactos. Os capítulos organizam-se em torno de eixos temáticos complementares, proporcionando uma visão integrada das problemáticas analisadas e ilustrando a complexidade e transversalidade do tema.

Um aspeto abordado é a própria noção de incerteza, intrínseca tanto aos sistemas ambientais quanto às respostas sociais às ameaças. Enfrentar esta complexidade exige abordagens metodológicas inovadoras, que combinem técnicas qualitativas e quantitativas, análises de séries temporais, modelação hidrológica e estratégias de geoinformação, como Sistemas de Informação Geográfica, deteção remota e análise de índices de vegetação. A diversidade metodológica presente nesta coletânea demonstra a maturidade do campo e a sua capacidade de incorporar novas tecnologias e ciências do território para aprofundar o entendimento das suscetibilidades do meio ambiente.

A inclusão de pesquisas de diferentes regiões do Brasil, bem como de Portugal, enriquece o debate ao fomentar uma perspetiva comparativa. Sublinha também a importância do monitoramento contínuo e da avaliação de impactos em ecossistemas, especialmente perante desastres de grande magnitude. Outro aspeto relevante é o papel da comunicação e difusão do conhecimento científico, dos seus resultados, metodologias, inovações, para a capacitação de comunidades mais resilientes e construção de uma cultura de gestão de riscos.

Esta obra estimula o diálogo entre cientistas, gestores e sociedade civil e os trabalhos aqui apresentados constituem uma base sólida para o desenvolvimento de práticas inovadoras, para a formulação de políticas públicas sustentadas em evidências e para a ampliação do debate comunitário sobre os desafios ambientais contemporâneos.

Prof.^a Doutora Márcia Célia Galinski Kumschlies

Doutora em Tecnologia Ambiental

Pós-Doutoramento em Geografia pela Universidade de Coimbra

Professora reformada da Universidade de Ribeirão Preto, Brasil



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA

ESTRUTURAS EDITORIAIS | EDITORIAL STRUCTURES
Estudos Cindínicos

ANTIGOS DIRETORES | FORMER DIRECTORS
Luciano Lourenço

DIRETOR PRINCIPAL | MAIN EDITOR
Fátima Velez de Castro
RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

DIRETORES ADJUNTOS | ASSISTANT EDITORS
Adélia Nunes, António Vieira, Bruno Martins, João Luís Fernandes
RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

ASSISTENTE EDITORIAL | EDITORIAL ASSISTANT
Fernando Félix
RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

COMISSÃO CIENTÍFICA | EDITORIAL BOARD

Adélia Nunes
Universidade de Coimbra

Ana Meira Castro
Instituto Superior de Engenharia do Porto

António Betâmio de Almeida
Instituto Superior Técnico, Lisboa

António Duarte Amaro
Universidade Nova de Lisboa

António Vieira
Universidade do Minho

Bruno Martins
Universidade de Coimbra

Cristina Queirós
Universidade do Porto

Fátima Velez de Castro
Universidade de Coimbra

Helena Fernandez
Universidade do Algarve

Humberto Varum
Universidade de Aveiro

João Luís Fernandes
Universidade de Coimbra

José Simão Antunes do Carmo
Universidade de Coimbra

Luciano Lourenço
Universidade de Coimbra

Romero Bandeira
Inst. de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

Tomás de Figueiredo
Instituto Politécnico de Bragança

Antenora Maria da Mata Siqueira
Universidade Federal Fluminense, Brasil

Antonio Carlos Vitte
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Carla Juscélia Oliveira Souza
Universidade de São João del Rei, Brasil

Jorge Olcina Cantos
Universidade de Alicante, Espanha

José Arnaez Vadillo
Universidade de La Rioja, Espanha

Lidia Esther Romero Martín
Universidade Las Palmas de Gran Canaria, Espanha

María Augusta Fernández Moreno
Universidade Católica de Ibarra, Equador

Miguel Castillo Soto
Universidade do Chile

Montserrat Díaz-Raviña
Inst. Inv. Agrobiológicas de Galicia, Espanha

Norma Valencio
Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Tiago Ferreira
University of the West of England

Virginia Araceli García Acosta
CIESAS, México

Xavier Ubeda Cartaña
Universidade de Barcelona, Espanha

Yolanda Teresa Hernández Peña
Univ. Distrital Francisco José de Caldas, Colômbia

Yvette Veyret
Universidade de Paris X, França

ADÉLIA NUNES
ANTÓNIO VIEIRA
BRUNO MARTINS
JOÃO LUÍS FERNANDES
FÁTIMA VELEZ DE CASTRO
(COORDS.)



RISCOS
ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA

RISCOS, ÁGUA E SOCIEDADE

**DINÂMICAS SOCIOAMBIENTAIS
EM CONTEXTOS DE INCERTEZA**

Edição

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

Email: riscos@riscos.pt

URL: <https://www.riscos.pt/publicacoes/sec/>

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Adélia Nunes, António Vieira, Bruno Martins

João Luis Fernandes, Fátima Velez de Castro

IMAGEM DA CAPA

Karine Nieman

PRÉ-IMPRESSÃO

Fernando Félix

EXECUÇÃO GRÁFICA

Fernando Félix

ISSN

2184-5727

DOI (Série)

<https://doi.org/10.34037/978-989-54295-1-6>

ISBN Digital

978-989-9053-36-6

DOI

https://doi.org/10.34037/978-989-9053-36-6_19

SUMÁRIO

PREFÁCIO	7
INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULOS:	
Produção da natureza, os riscos ambientais e vulnerabilidades socioespaciais das populações atingidas pelas enchentes em cidades do sul e centro sul da Bahia Altemar Amaral Rocha	15
Cenários prospectivos para a bacia hidrográfica transfronteiriça do rio Quaraí/Cuareím na fronteira do Brasil e do Uruguai Aline Andressa Bervig	37
Abordagem semi-quantitativa para mapeamento de perigos e riscos de enxurrada (flash flooding) em áreas urbanas: estudo de caso no município de Ibiúna (estado de São Paulo, Brasil) Paulo Cesar Fernandes da Silva e Pedro Carignato Basilio Leal	65
A relação entre os desastres naturais e as despesas empenhadas em defesa civil no município de Fortaleza: um estudo de caso na bacia do rio Maranguapinho (2006-2020) Lília Narcizo, José Brabo e Emerson Mariano	99
Estimativa de mortes por inundações em áreas de risco significativo na Região Norte de Portugal Bruno Carmo e Pedro Pinto Santos	139
Methodology of low impact development (LID) applications to control urban flooding: a case of hydrological modelling in a Brazilian sub-basin Sara Desiree Marostica e André Luiz Lopes da Silveira	163
Metodologia de estudo integrativo para análise do risco de inundações: municípios de Taquara e Parobé - RS – Brasil Igor da Silva Knierin, Luís Eduardo de Souza Robaina e Romario Trentin	189
Dados LIDAR de alta densidade e modelagem hidráulica de fluxo na geração de mapas de perigo de inundação urbana: estudo de caso da Vila Cauhy no distrito Federal – Brasil Ana Paula Cordeiro Costa, Henrique Llacer Roig e Elton Souza Oliveira	221
Monitoramento espaço-temporal da vegetação através da análise do NDVI frente ao regime de chuva na Paraíba-Brasil Bárbara Silva Souza, Célia Campos Braga, Beatriz Alves Lopes e Edivan Silva dos Santos ...	255
Unidades de conservação afetadas pelo derramamento de óleo no litoral brasileiro, ocorrido em 2019-2020 Alessandra Conde de Freitas e Gabriel Viana da Silva	275
Formação e construção de conhecimento científico para professores: estudo de caso Mário Talaia, Carla Vigário, Inês Sousa E Eduardo Figueiredo	309
CONCLUSÃO.....	337

PREFÁCIO

A água, elemento fundamental à vida e ao desenvolvimento das sociedades, apresenta-se simultaneamente como recurso vital e vetor de riscos e vulnerabilidades. Esta dualidade torna-se cada vez mais evidente num contexto global marcado por profundas transformações climáticas, urbanização acelerada, intervenção antrópica desordenada e crescentes pressões sobre os ecossistemas aquáticos. A incerteza hidrológica – manifesta tanto na escassez quanto no excesso hídrico – redefine as paisagens físicas e humanas, exigindo uma compreensão aprofundada das dinâmicas socioambientais que caracterizam o nosso tempo.

A RISCOS – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, ao viabilizar esta edição dos Estudos Cindínicos dedicada ao tema “Riscos, Água e Sociedade”, reafirma o seu compromisso com a produção e difusão de conhecimento científico rigoroso sobre os fenómenos de risco, particularmente aqueles relacionados com o recurso hídrico e as suas múltiplas manifestações no território. Os estudos cindínicos, enquanto campo científico dedicado ao exame sistemático dos riscos e perigos, encontram nesta obra uma expressão madura e diversificada, congregando investigações que atravessam diferentes escalas espaciais, temporais e metodológicas.

Nas últimas décadas, observa-se um aumento expressivo na frequência e intensidade de eventos hidrológicos extremos, como inundações urbanas, enxurradas repentinas, secas prolongadas e episódios de contaminação de corpos de água. Esses fenómenos revelam uma crise ambiental profundamente interligada às formas de organização social, ocupação territorial e gestão dos recursos naturais. O conceito de incerteza, central nesta obra, reflete-se tanto nos sistemas climáticos e hidrológicos quanto nas respostas sociais, políticas e institucionais frente às ameaças ambientais, justificando plenamente a dedicatória de um volume inteiramente voltado a esta temática.

Esses acontecimentos não podem ser analisados isoladamente do contexto social em que surgem; eles expõem e intensificam desigualdades preexistentes, aumentando vulnerabilidades e destacando a necessidade de abordagens

integradas, interdisciplinares e participativas na conceção de estratégias e ações voltadas à prevenção, mitigação e adaptação.

O contexto lusófono, com destaque para Portugal e Brasil, apresenta realidades territoriais onde a relação entre água e sociedade assume contornos particularmente desafiantes. Desde as grandes bacias hidrográficas brasileiras, cujas dinâmicas de inundação afetam milhões de pessoas, até aos rios e ribeiras portuguesas, cujos regimes torrenciais testam a resiliência das comunidades urbanas e rurais, os territórios de língua portuguesa partilham desafios comuns que exigem abordagens científicas robustas e contextualmente enfrentadas.

Esta publicação reúne onze trabalhos que, no seu conjunto, oferecem um panorama abrangente e metodologicamente diversificado sobre as interfaces entre riscos, água e sociedade e constitui um espaço de reflexão sobre a produção social da vulnerabilidade, sobre as contingências de origem hídrica e sobre o papel da ciência e da tecnologia na prevenção e mitigação de impactos. Os capítulos organizam-se em torno de eixos temáticos complementares, proporcionando uma visão integrada das problemáticas analisadas e ilustrando a complexidade e transversalidade do tema.

Um aspeto abordado é a própria noção de incerteza, intrínseca tanto aos sistemas ambientais quanto às respostas sociais às ameaças. Enfrentar esta complexidade exige abordagens metodológicas inovadoras, que combinem técnicas qualitativas e quantitativas, análises de séries temporais, modelação hidrológica e estratégias de geoinformação, como Sistemas de Informação Geográfica, deteção remota e análise de índices de vegetação. A diversidade metodológica presente nesta coletânea demonstra a maturidade do campo e a sua capacidade de incorporar novas tecnologias e ciências do território para aprofundar o entendimento das suscetibilidades do meio ambiente.

A inclusão de pesquisas de diferentes regiões do Brasil, bem como de Portugal, enriquece o debate ao fomentar uma perspetiva comparativa. Embora essas regiões apresentem distintos padrões climáticos, formas de ocupação do solo, dinâmicas socioeconómicas e estratégias de gestão ambiental, partilham entraves que podem ser enfrentados por meio de experiências comuns, intercâmbio de boas práticas e cooperação transnacional. Esta visão é fundamental para reconhecer que as

fragilidades do meio natural, sobretudo os relacionados com a água, ultrapassam fronteiras e exigem soluções cooperadas e contextualmente apropriadas.

A coletânea também sublinha a importância do monitoramento contínuo e da avaliação de impactos em ecossistemas, especialmente perante desastres de grande magnitude. Esses episódios revelam que a degradação ambiental intensifica vulnerabilidades sociais e aumenta a probabilidade de impactos severos. Assim, compreender o vínculo entre deterioração dos ecossistemas e aumento dos perigos torna-se essencial para aprimorar estratégias de prevenção, orientar diretrizes públicas e fortalecer ações educativas voltadas à sensibilização da população e ao reforço institucional.

Outro aspecto relevante é o papel do conhecimento científico na construção de uma cultura de gestão de riscos. A comunicação eficaz dos resultados de investigação, a formação de professores, a capacitação de comunidades, decisores políticos e atores sociais são elementos indispensáveis para transformar aprendizado técnico em ação concreta. A transferência de tecnologia, a inclusão social e a valorização dos saberes locais surgem como pilares de uma estratégia de longo prazo para a construção de sociedades mais resilientes, conscientes e capazes de conviver com a incerteza de forma participativa e justa.

As questões aqui discutidas não têm respostas fáceis ou definitivas; contudo, a investigação científica rigorosa constitui passo essencial para enfrentá-las. O domínio científico produzido pelos estudos cindínicos deve transcender os círculos acadêmicos, subsidiando efetivamente a gestão territorial, as políticas públicas e a consciência coletiva sobre os riscos. A qualidade e diversidade dos trabalhos aqui reunidos testemunham a vitalidade da comunidade científica dedicada a estas temáticas e a relevância social da investigação do risco.

Esta obra estimula o diálogo entre cientistas, gestores e sociedade civil e os trabalhos aqui apresentados constituem uma base sólida para o desenvolvimento de práticas inovadoras, para a formulação de políticas públicas sustentadas em evidências e para a ampliação do debate comunitário sobre os desafios ambientais contemporâneos.

Desejo que esta leitura, mais do que um repositório de conhecimento, seja um convite à reflexão crítica, à ação mobilizadora e à construção solidária de

um futuro em que a gestão do risco se encontre efetivamente democratizada, promovendo comunidades mais equitativas, conscientes e sustentáveis no seu convívio com a incerteza.

Boa leitura!

Vila Nova de Famalição (Portugal), 19 de novembro de 2025

Márcia Célia Galinski Kumschlies

INTRODUÇÃO

Bruno Martins

Universidade de Coimbra, CEGOT e RISCOS (Portugal)
Faculdade de Letras, Departamento de Geografia e Turismo
ORCID: 0000-0001-8681-2349 bmscmartins@gmail.com

Segundo o *World Resources Institute* (WRI) os problemas relacionados com a escassez de água afetam atualmente cerca de um quarto da população mundial, com especial incidência no Norte de África e Ásia, fruto tanto do crescimento demográfico como da tendência de concentração da população em áreas urbanas. Este problema não é somente de natureza quantitativa, como de índole qualitativo. Se, por um lado é aparentemente crónico em vastas áreas do planeta, por outra parte ele tem-se agravado com o crescimento demográfico urbano, aliado a um modo de vida mais difícil de satisfazer no que ao consumo de água diz respeito, exigindo formas de o mitigar, em que o enfoque está colocado na problemática da gestão hídrica, desperdício, na procura de novas fontes e, inevitavelmente, na diminuição do consumo.

Com efeito, as perdas físicas e económicas nas redes de abastecimento de água nos principais aglomerados urbanos representaram valores muito altos da água disponível. Perdas que correspondem fundamentalmente a fugas de água provocadas por ruturas de condutas e a ligações ilegais à rede de distribuição, a que acrescem, ainda, os consumos não cobrados.

De um modo geral, os custos de exploração associado à gestão dos sistemas de abastecimento de água são muito elevados e implicam um acentuado consumo de energia necessária para a captação, tratamento e adução de água. Por outro lado, a deficiente estrutura urbana, especialmente em países menos desenvolvidos, agudiza os problemas de eficiência no que à gestão da água dizem respeito, com impactes económicos, ambientais, sociais e de saúde significativos, decorrentes de situações de utilização não autorizada de água, equipamentos de medição deficientes, ou mesmo inexistentes, ou, ainda, de políticas inadequadas. Neste contexto é necessário, por um lado, o desenvolvimento de estratégias que visem as boas práticas e, por outro, o incremento de um consumo mais coadunado

com os recursos hídricos disponíveis, o que, decerto, implicará a sensibilização e o envolvimento de todos os intervenientes. Os problemas relacionados com o elevado consumo e perda de água contribui, na prática, para a diminuição das disponibilidades de água, implicando recorrer a novas origens de água, tais como novos furos e captações, ou mesmo à dessalinização e construção de barragens.

A dependência das águas subterrâneas está a diminuir gradualmente à medida que diminui a sua disponibilidade, e o problema não só se relaciona com a quantidade, mas também com a qualidade da água. A crise de água tem implicado o recurso a novas formas de obtenção, como é o caso da dessalinização, tornando-se, paulatinamente, indispensável à medida que os aglomerados urbanos se foram tornando maiores e com eles, as necessidades de águas. Embora nevrálgico como recurso hídrico para alguns países, o processo de dessalinização acarreta custos energéticos muito significativos. O impacto é reforçado em países muito dependentes de combustíveis, ao qual acrescem os necessários e avultados investimentos iniciais.

Não obstante, o problema da gestão hídrica tem ganho importância aliada à variabilidade intra e interanual das precipitações. Ao longo dos anos têm-se verificado um abaixamento dos níveis freáticos assim como indícios de intrusão salina nalgumas áreas costeiras, em vastos territórios, traduzidos no aumento significativo da salinização em pontos de capturas.

Para solucionar a escassez de água, urge aplicar programas que visem uma utilização mais racional da água, que podem incluir diversas ações com o desígnio de diminuir o consumo. Por outro lado, há exemplos de situações onde se preconizou a aplicação de bacias de retenção para armazenamento de águas pluviais que, posteriormente, seriam utilizadas para aumentar o caudal dos aquíferos, por infiltração. Acresce que a localização de estações de tratamento de águas residuais deverá considerar a posterior utilização dessa água, por exemplo, na irrigação agrícola e na recarga de aquíferos, corroborando a ideia de incluir, na conceção do sistema de abastecimento de água, o aproveitamento integral de todos os recursos hídricos disponíveis.

Por outro lado, têm-se assistido a um aumento do número de cheias e inundações, especialmente em áreas urbanas. Muito recentemente a tempestade

tropical Erin provocou inundações repentinas sem precedentes em São Vicente (Cabo Verde), sendo a cidade do Mindelo a mais afetada. As chuvas torrenciais, que atingiram 193 mm em apenas cinco horas, excederam em muito a média anual da ilha, sobrecarregando os sistemas de drenagem e levando o governo a declarar estado de emergência. As inundações resultaram na morte de pelo menos oito pessoas, três desaparecidas, enquanto aproximadamente 1.500 residentes foram desalojados e forçados a se refugiar em abrigos temporários, com danos em infraestruturas críticas, incluindo o hospital principal, clínicas de saúde, escolas, instalações de águas residuais, redes rodoviárias e serviços públicos.

A arduidade associada à gestão hídrica implica decerto uma abordagem multi e interdisciplinar. É nosso ensejo que este livro cumpra os propósitos para o qual foi pensado, e que se transforme num valioso instrumento de trabalho, e um veículo de disseminação de informação e de sensibilização para a temática da água!

**PRODUÇÃO DA NATUREZA, OS RISCOS
AMBIENTAIS E VULNERABILIDADES
SOCIOESPACIAIS DAS POPULAÇÕES ATINGIDAS
PELAS ENCHENTES EM CIDADES DO SUL E
CENTRO SUL DA BAHIA**

**NATURE PRODUCTION, ENVIRONMENTAL RISKS
AND SOCIO-SPATIAL VULNERABILITIES OF
POPULATIONS AFFECTED BY FLOODING IN CITIES
IN THE SOUTH AND CENTRAL-SOUTH OF BAHIA**

Altemar Amaral Rocha

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Brasil)
Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia
ORCID: 0000-0002-6278-052X altemarrocha@gmail.com

Resumo: Esta pesquisa analisa os riscos ambientais sob a perspectiva dos eventos extremos e sob a lógica de uso e apropriação da natureza, levando em consideração as vulnerabilidades socioespaciais das populações que vivem em áreas de risco no Sul e Centro Sul da Bahia bem como analisa as estratégias de apropriação do solo urbano mediante a adoção das atuais políticas habitacionais em curso no Brasil. Constata-se que existe uma parcela significativa de populações urbanas residindo em áreas susceptíveis ao risco ambiental, sobretudo aos riscos decorrentes de inundações provocadas por enchentes derivadas dos eventos extremos do clima. Constata-se também que a apropriação da natureza nas cidades baianas ocorre de forma sistematizada e constante, verifica-se

o aumento das ocupações em áreas de preservação permanentes, seja pela população de baixa renda que ocupa áreas no entorno dos rios seja pela expansão dos condomínios fechados em áreas de fragilidade ambiental. Nessas cidades foram analisadas as fragilidades ambientais das áreas susceptíveis ao risco de enchentes, sobretudo aquelas que estão situadas em locais planos com rios perenes.

Palavras-chave: Eventos extremos, produção do espaço, assentamento urbano, riscos ambientais, vulnerabilidade social.

Abstract: This research analyzes environmental risks from the perspective of extreme events and under the logic of use and appropriation of nature, taking into account the socio-spatial vulnerabilities of populations living in risk areas in the South and Center-South of Bahia, as well as analyzing the strategies of appropriation of urban land through the adoption of current housing policies in progress in Brazil. It appears that there is a significant portion of urban populations residing in areas susceptible to environmental risk, especially the risks arising from floods caused by floods derived from extreme weather events. It is also verified that the appropriation of nature in the cities of Bahia occurs in a systematic and constant way, there is an increase in occupations in permanent preservation areas, either by the low-income population that occupies areas around the rivers or by the expansion of condominiums closed in areas of environmental fragility. In these cities, the environmental weaknesses of areas susceptible to the risk of flooding were analyzed, especially those located in flat areas with perennial rivers.

Keywords: Extreme events, space production, urban settlement, environmental risks, social vulnerability.

Introdução

Desvendar a forma como se materializa a produção do espaço é fator fundamental para entender a complexidade da sociedade urbana, nesse sentido, a produção do espaço e a produção da natureza estão na vanguarda dos problemas ambientais do mundo contemporâneo. O texto apresentado neste capítulo analisa os riscos ambientais sob a perspectiva do aumento da ocorrência de eventos extremos nos últimos anos e sob a lógica da produção do espaço pelos processos de uso e apropriação da natureza, levando em consideração as vulnerabilidades socioespaciais das populações que vivem em áreas de risco no sul e Centro Sul da Bahia bem como analisa as estratégias de apropriação do solo urbano mediante a adoção das atuais políticas habitacionais em curso no País. Constata-se que existe uma parcela significativa de populações urbanas residindo em áreas susceptíveis ao risco ambiental, sobretudo aos riscos decorrentes de inundações provocadas por enchentes derivadas dos eventos extremos do clima. Constata-se também que a apropriação da natureza nas cidades baianas ocorre de forma sistematizada e constante em tais cidades, verifica-se o aumento das ocupações em áreas de preservação permanentes tais como margens de rios e planícies de inundação seja pela população de baixa renda que ocupa áreas no entorno dos rios seja pela expansão dos condomínios fechados em áreas de fragilidade ambiental.

A pesquisa tem como objetivos analisar os riscos ambientais e vulnerabilidades socioespaciais decorrentes da lógica da urbanização nas cidades escolhidas para análise, pela adoção de um plano amostral. Nessas cidades foram analisadas as fragilidades ambientais das áreas susceptíveis ao risco de enchentes, sobretudo aquelas que estão situadas em locais planos com rios perenes cortando a cidade ao meio é o caso de Itabuna, Ilhéus, Itororó, Itapetinga, Itambé, Itamaraju e Vitória da Conquista nessas cidades foram analisadas as vulnerabilidades sociais da população residente no entorno dos rios e os riscos ambientais decorrentes da forma de uso e apropriação da natureza no espaço urbano, sobretudo, identificar os fatores ambientais constituintes da paisagem urbana, as relações produtivas desenvolvidas e os ciclos de desenvolvimento aí existentes de modo à evidenciar o comportamento e as funcionalidades dos processos de desequilíbrios da área.

Foi levado em consideração na análise o pressuposto de que a produção do espaço urbano se dá pela lógica do capital, sobretudo pela lógica do capital imobiliário para acumulação de riqueza. Foi constatada na pesquisa que essa lógica de urbanização nas cidades baianas promove o acesso a moradia de forma desigual por um lado a população de baixa renda ocupa terras com fragilidade ambiental para construir suas moradias e por outro os grandes empreendimentos dos condomínios fechados constrói suas casas em áreas susceptíveis ao risco e as enchentes com a ideia de que nesses ambientes a natureza é a condição para alcançar a qualidade de vida dos que podem pagar pelo empreendimento fechado. Essa lógica ocorre tanto em pequenas cidades, quanto em cidades médias da Bahia e do Brasil em um ritmo acelerado, colaborando para o acirramento das questões relativas ao processo de apropriação da natureza, dentro da lógica da produção do espaço e, por conseguinte um aumento do ritmo de produção da natureza pela sociedade contemporânea. Entendemos que essa concepção analisa a singularidade que cada lugar apresenta em sua prática socioespacial, em detrimento do processo universalisante da lógica da produção capitalista do espaço.

A produção do espaço x produção da natureza: contradições e conceitos

Constata-se que a expansão do modo de produção capitalista acirrou as desigualdades socioespaciais nas cidades e acelerou o processo de acumulação capitalista que, por um lado, passou a reproduzir em todos os cantos do mundo, uma condição de vida pautada na produção do capital e, por outro, a produção desigual do espaço na cidade, mediada pela lógica da “*produção do espaço urbano na cidade*” (Rocha, 2019, p.100), cada uma com uma morfologia singular, essa lógica demonstra também que a produção da natureza tornou-se cada vez mais presente nas ações das práticas socioespaciais da sociedade contemporânea desse modo, uma compreensão de natureza é fundamental para entender a maneira pela qual a ciência vê e se comporta do ponto de vista metodológico e epistemológico, mas o conceito de natureza dual está cada vez mais presente nas publicações científicas do mundo atual, mesmo as discussões filosóficas acabam pautando sobre o conceito de natureza dada, seja pelo *Res cogitans* x *Res extensa* de Descartes(2018), o *Deus* sive

natura de Spinoza(2011), o aut deus aut natura de Feuerbach(2013) e a discussão sobre Natureza e Cultura(1973); e estruturalismo e empirismo de Strauss(1976).

Verifica-se no geral que a pratica socioespacial, sobretudo na espacialidade urbana, aponta para uma produção do espaço permeada de riscos ambientais para uma parcela da sociedade que cada vez mais se mostra vulnerável diante do acirramento das desigualdades socioespaciais, vislumbrada pelo processo de capitalização do espaço urbano e pela produção de uma natureza privatizada cercada, pelos muros dos condomínios horizontais privados que dissemina em um ritmo acelerado em todas as cidades da America Latina e Caribe com destaque em particular para as cidades brasileiras, sobretudo as cidades pequenas e médias.

Embora a “natureza” seja um dos conceitos mais invocados nas ciências naturais, sociais e humanas, percebe-se que nos últimos anos, essa questão tem sido objeto de pouca discussão metodológica, epistemológica e ou ontológica.

A sociedade contemporânea está acostumada a conceber a natureza como exterior à sociedade primitiva e pré-humana, ou ainda como um grande universo no qual os seres humanos não são senão pequenas e simples peças (Rocha, 2020, p. 168). Esse emaranhado de abstrações e exterioridades que projetamos da natureza que vem se consolidando desde antiguidade com a lógica aristotélica até os atuais pensamentos da ciência contemporânea de estudos da natureza, evidencia uma lógica dualista que preconiza a separação entre natureza e sociedade e é o modo de produção capitalista que metaboliza essa separação, pois como afirma Smith (1988 p. 17) o Capitalismo forçosamente desafia a separação, que nos foi legada, da natureza e da sociedade e mais com orgulho do que com constrangimento.

Em termos conceituais, com o fim do feudalismo e com o advento da sociedade moderna, sobretudo no século XIX, o pensamento positivista desse período consolidou a sensação de que a natureza é dada em si mesma, principalmente baseada na lógica aristotélica que via a natureza como uma dádiva e a partir dessa, todas as demais coisas existentes são atribuídas. Segundo Aristóteles:

“Para a mútua conservação que a natureza deu a um o comando e impôs a submissão ao outro, ao desígnio da natureza que comande quem pode, por sua inteligência tudo prover e, pelo contrário, que obedeça quem não possa

contribuir para a prosperidade comum a não ser pelo trabalho de seu corpo.... Ora, a natureza de cada coisa é precisamente seu fim. Assim, quando um ser é perfeito, de qualquer espécie que ele seja - homem, cavalo, família -, dizemos que ele está na natureza” (Aristóteles 2002, p. 12).

Segundo essa lógica, Aristóteles afirma que a sociedade também está nos desígnios da natureza, assim como todas as outras coisas que são seus elementos, mas somente aquilo que possui a perfeição pode ser dado pela natureza. Ou seja, nessa lógica de sociedade não há espaço para os excluídos. Quem nasce escravo tende a permanecer escravo até a sua morte defende Aristóteles.

Ocorre que na idade média essa concepção de mundo foi absorvida pela igreja católica, sobretudo por Agostinho que substitui o termo natureza por Deus e tudo aquilo que os gregos afirmavam que era dádiva da natureza na idade média passa a ser dádiva de Deus. Mas foi com o método de Descartes que definitivamente essa oposição homem-natureza, mente e corpo, espírito-matéria, sujeito-objeto passa ser o centro do pensamento moderno e persistindo no pensamento contemporâneo. (Rocha 2020, p. 168).

Assim, o conceito de espaço nesse período também segue a mesma lógica, ou seja: de um lado, o espaço é dado, do outro lado a sociedade o usa; persistindo a dualidade tanto no conceito de espaço quanto no conceito de natureza que deriva dessa concepção. A natureza dada seria o que muitos pensadores, inclusive Marx (2013) e Engels (2020) denominaram de primeira natureza. O espaço transformado seria a segunda Natureza. Essa é uma das contradições constantes que as ciências sociais enfrentam em suas formulações recentes, pois não conseguem romper com o dualismo da relação sociedade e natureza.

Essa contradição também aparece na geografia que mais recentemente está tendo que enfrentar essa contradição aparente entre espaço físico e espaço social, e a diferenciação interna do espaço natural e do espaço físico em geral. Ou seja, romper com a dualidade dos conceitos e partir para uma teoria relacional do espaço. O espaço relacional só pode ser explicado pela prática humana (Harvey, 2012, p.14)

Segundo Harvey (2012) não existe natureza dada em si mesma, tão pouco o espaço em si mesmo, ou seja, o espaço não é nem absoluto, nem relativo, nem

relacional em si mesmo, mas ele pode tornar-se um ou outro separadamente ou simultaneamente em função das circunstâncias Relacionais entre “*sujeito e objeto*” tal qual afirma (Lukács, 2013, p. 48)

Para Lukács (2012) Esta relação de produção espacial é um processo entre o homem e a natureza, que expressa o fundamento ontológico do metabolismo entre homem e natureza. O autor define que a teoria do valor de troca em detrimento do valor de uso é a objetivação do metabolismo da sociedade com a natureza, pois segundo Lukács (2013), “[...] *A natureza não conhece valores, apenas nexos causais e transformações por eles ocasionadas, alteridades das coisas, dos complexos etc*”. Ou seja, A dialética não está na natureza em si per si como queria Engels (2020), mas ao contrário é na relação sujeito e objeto (sociedade & natureza) que define-se a dialética entre ambas, mediado pelas forças produtivas.

A atuação das forças produtivas na produção e apropriação da natureza

As forças produtivas produzem espaço e ao mesmo tempo produzem natureza. Segundo Lefebvre (2013), o espaço social se produz e se reproduz em conexão com as forças produtivas e as relações de produção. Para Lefebvre (2013 p. 117), “*as forças produtivas, ao longo de seu crescimento, não se desenvolvem num espaço preexistente, vazio, neutro ou somente determinado geograficamente, climaticamente, antropologicamente*”, ou seja, elas são o reflexo das práticas sociais e das representações socioespaciais.

A produção do espaço no Capitalismo deriva da atuação direta das forças produtivas e das técnicas empregadas nesse processo. Lefebvre (2013), afirma que as forças produtivas e técnicas permitem intervir em todos os níveis e escalas do espaço: local, regional, nacional, planetário. Para o autor, a atuação das forças produtivas modifica-se o espaço inteiro, sem revogar suas implicações, os “pontos” iniciais, os primeiros domicílios e núcleos, os lugares (localidades, regiões, país) situados em diferentes níveis do espaço social que substitui o espaço natureza por um espaço-produto, ou seja, materializa-se nesse processo a lógica da produção da natureza atrelada ao processo de produção do espaço pela prática.

Lefebvre (2013) denomina esse processo de prática espacial. Segundo o autor essa prática se dá no primeiro momento com o domínio sobre a Natureza material, permitindo que o setor produtivo substitua as feições naturais por produtos derivados dessa produção, em um segundo momento, apropria-se da natureza não a devasta, mas transforma a Natureza e toda a sua extensão natural em bens humanos.

“A apropriação é o objetivo, o significado, a finalidade da vida social. Sem apropriação a dominação técnica na Natureza tende ao absurdo, à medida que cresce. Sem a apropriação pode haver crescimento econômico e desenvolvimento técnico, mas social propriamente dito fica nulo” (Lefebvre, 1978, p. 166)(tradução nossa).

Essa prática espacial também produz a natureza na medida em que apropria-se das coisas, projeta e transforma a realidade em bens que passam a ser consumidos no dia a dia seja na escala local quanto na escala global. No entanto, falar da produção da natureza ou melhor:

“Dizer que a natureza é produzida não implica que cada átomo de alguma árvore, montanha ou deserto seja criado pelo homem, nem tampouco que cada átomo de um determinado edifício seja criado pelo homem; a matéria não é criada nem destruída. Significa que a atividade humana é responsável em maior ou menor grau pela forma da matéria; o tamanho e a forma dos edifícios, o híbrido ou localização da árvore, a fisionomia da montanha, a extensão espacial do deserto” (Smith, O’Keefe, 1980, p.36)(tradução nossa).

Essa é uma produção capitalista que gera uma produção material da natureza desigual, mas de forma universalizada e estratificada em classes sociais espacializadas de forma desigual e combinada, ou seja, não é a natureza que produz de um lado proprietário de terra e de mercadorias e de outro, pobres sem moradia e sem direitos sociais que vivem em situação de rua na maioria das cidades mundo a fora.

Por outro lado, Porto Gonçalves (2002) aponta que a “[...] universalidade pretendida pelo pensamento moderno se fez abdicando do espaço geográfico concreto de cada dia, lugar da coexistência do diverso, onde coabitam diferentes qualidades”

- animais, plantas, terra, água, homens e mulheres de carne e osso com as suas desigualdades sociais e suas diferenças culturais e individuais de humor e de paixões para se abstrair matemática onde essas qualidades são postas em suspenso, assim como o pensamento se separa da matéria.

O uso da natureza pelas forças produtivas gera riscos e vulnerabilidades para uma parcela da população especialmente aquelas populações que residem em cidades fornecedoras de espaços produtivos voltados para o capital e para o desenvolvimento. Neste sentido o padrão que resulta na paisagem é bem conhecido: “[...] *desenvolvimento de um lado e subdesenvolvimento de outro. Isto ocorre em várias escalas espaciais*” (Smith, 1988, p.16). Sobretudo em cidades pequenas e médias, o padrão de desenvolvimento revela uma lógica que é a lógica do desenvolvimento desigual para Smith essa lógica deriva especificamente das tendências opostas, inerentes ao capital, para a diferenciação, mas com a simultânea equalização dos níveis e condições da produção. Essa lógica de desenvolvimento integra o espaço geográfico e a sociedade e ao mesmo tempo produz desigualdades espaciais, o que podemos classificar esse processo como um processo de produção do espaço.

O metabolismo entre natureza e sociedade: Aspectos metodológicos

Para identificar cidades com áreas vulneráveis ou de risco a desastres naturais de origem hidrometeorológica, no Sul e Centro Sul da Bahia foi feito a combinação de dados climáticos, ambientais, dados da urbanização e usos do solo urbano seguidos da análise de dados socioeconômicos. Metodologicamente, foi feito um levantamento em fontes primárias e secundárias; dos dados pluviométricos e dos dados de áreas com maior susceptibilidade aos danos provocados pela ocorrência das chuvas derivadas de eventos climáticos extremos, sendo que o trabalho em campo se constituiu de observação direta em algumas cidades escolhidas para análise, georreferenciamento em imagem de Satélite para detectar os pontos com problemas de inundação provocado pela enchente dos rios, alagamento de áreas urbanas provocadas pelo aumento dos níveis de precipitação em um curto período de tempo; desabamento de casas e demais problemas ambientais tais como movimentos de massa, deslizamento de encostas, presença de

despejo de lixo e de esgoto e outros problemas relevantes para o tema da pesquisa. Para a apresentação dos resultados da pesquisa foram feitos mapeamentos temáticos, tabelas e gráficos com os dados coletados em campo e posteriormente uma análise qualitativa dos dados quantitativos elaborados na forma de texto aqui apresentado.

Nos territórios do Centro Sul e Sul da Bahia, ao todo são 188 municípios e suas respectivas cidades das quais 116 dessas cidades foram atingidas pelas chuvas do mês de dezembro de 2021 consequentemente por inundações, alagamentos, desabamentos e deslizamentos de terra.

A partir da análise dos dados do clima regional (fig 1), podemos destacar algumas especificidades climáticas nessa região com alguns microclimas bem definidos ao longo de toda a extensão territorial do Centro Sul e Sul Baiano. Observa-se que nos fundos de vales do Rio Pardo, do Rio Jequitinhonha e do Rio de Contas ocorre uma tendência a semi-aridez com destaque para os Municípios de

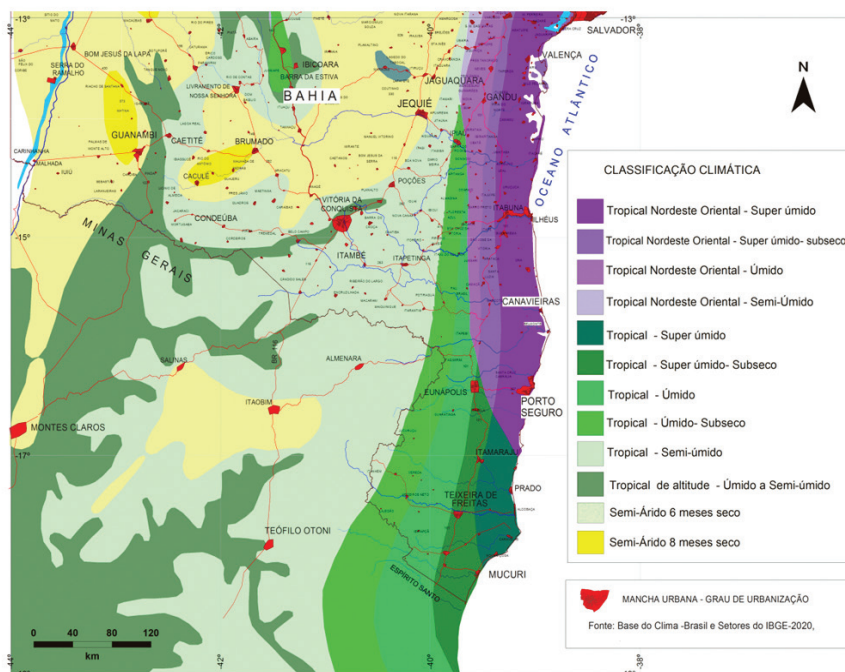


Fig. 1 - Os climas predominantes no Centro Sul e Sul Baiano (Fonte dos dados: Base do Clima-Brasil e setores do IBGE, 2000. Elaboração cartográfica, (2023).

Fig. 1 - The predominant climates in the Center-South and South Bahia (Data source: Base do Clima-Brasil and IBGE sectors, 2000. Elab. Cartographic, 2023).

Jequié no Rio de Contas, Candido Sales, Itambé e Itapetinga no Rio Pardo e alguns outros municípios na divisa de Bahia com Minas no Vale do Jequitinhonha, porém, quando se compara os totais pluviométricos dessa região acaba prevalecendo os dados climáticos da abrangência regional.

A partir da análise dos mapas (fig. 1 e 2) observa-se que, na região predomina-se climas de tropicais úmidos com faixas de semi-aridez as medias anuais de precipitação média de 500 a 800 milímetros, para as zonas de semiárido e de 1200 a 2600mm para

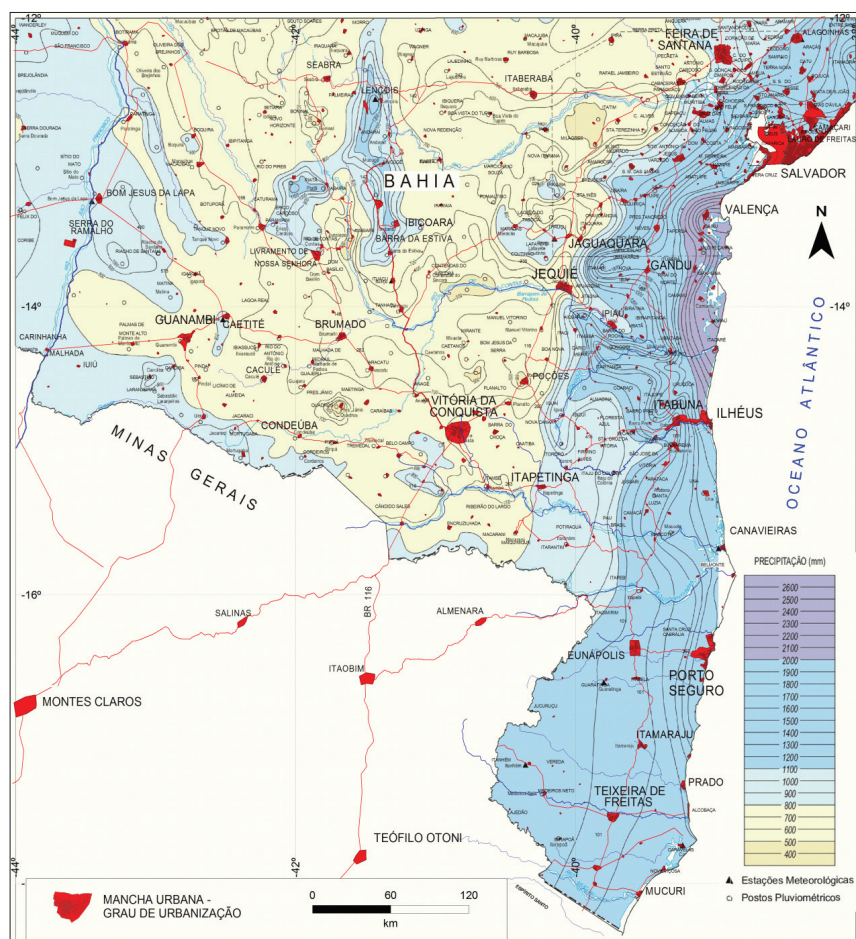


Fig. 2 - Índice de precipitação no Centro Sul e Sul Baiano (Fonte dos dados: elaborado com base nos dados da Superintendência de Estudos e Estatísticas da Bahia SEI, 2003).

Fig. 2 - Precipitation index in the Center South and South Bahia (Data source: prepared based on data from the Superintendence of Studies and Statistics of Bahia-SEI, 2003).

as zonas climáticas mais úmidas (fig. 2). No entanto, há outros fatores globais que atuam na distribuição dos índices pluviométricos locais e regionais. Esses eventos globais estão cada vez mais frequentes e com uma abrangência maior, tanto na amplitude quanto na intensidade podendo ser considerados a partir de agora como eventos extremos.

Nos últimos anos, sobretudo em 2021 e 2022 constatou-se a ocorrência desses eventos globais extremos no contexto regional da Bahia e consequentes, inundações e enxurradas ou secas prolongadas vem sendo continuamente observadas. Com destaque para o El nino, La nina, e outros fatores influenciaram nesse fenômeno, tais como variações de comportamento das Zonas de Convergência do Atlântico Sul e zonas de Convergência Intertropical, mudança nas temperaturas das águas do oceano. Tais eventos tem acelerado a ocorrência de desastres ambientais em multiplas escalas (fig. 3).

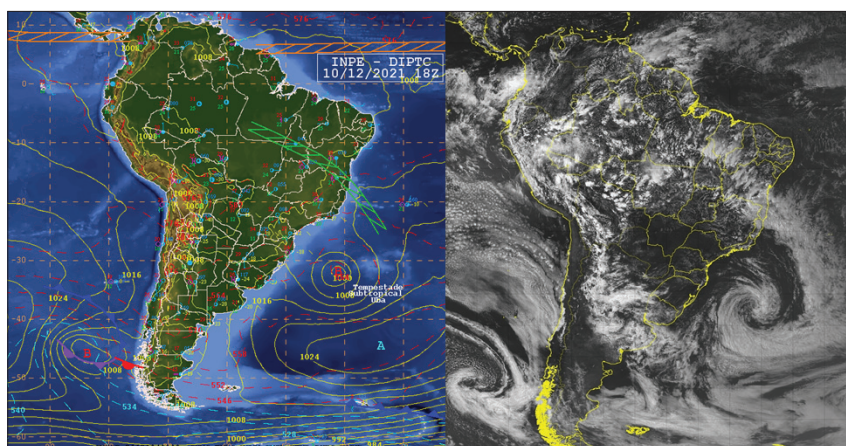


Fig. 3 - Zona de Convergência do Atlântico Sul-ZCAS, em dezembro de 2021 maior incidência no Estado da Bahia (Fonte: INPE, 2021).

Fig. 3 - South Atlantic-SACZ Convergence Zone, in December 2021 higher incidence in the State of Bahia (Source: INPE, 2021).

Além da anomalia desse fenômeno, as temperaturas da superfície dos oceanos Pacíficos e Atlântico contribuíram no agravamento do quadro de precipitação nessa época, pois houve uma variação do El Niño- Oscilação Sul. Este fenômeno designa-se por aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico, especialmente nas zonas equatoriais do globo, ocasionando no enfraquecimento

dos ventos alísios- deslocamento de massas de ar quente e úmido predominantes nas zonas equatoriais.

No caso do Brasil, a partir do deslocamento das águas superficiais quentes do Pacífico em direção à América do Sul, resultando em mais índices de chuvas no sul e menos nas regiões norte e sul do território brasileiro.

Com a La Niña, esse comportamento reage de forma contrária, o que repercutiu no aumento de 0,5 C° acima da média no Atlântico Sul da costa da região Nordeste do Brasil (INMET, 2021). Assim, intensificou correntes da Zona de Convergência do Atlântico Sul, aumentando a evaporação, densidade das nuvens e consequente elevados fluxos pluviométrico e fluviométrico, os quais atingiram várias cidades da Bahia, tais como Itambé, Itapetinga, Itororó, Itabuna, Ilhéus, Vitória da Conquista, dentre outras.

Resultados e discussão

Foram realizadas diversas análises territoriais, socioespaciais e ambientais, uma delas foi o cruzamento dos dados climáticos da região tais como: massas de ar, tipos climáticos e normal climatológica vigente com o volume de precipitação ocorridos, com destaque para aquelas cidades que tiveram maior incidência dos eventos de alagamentos e inundações. Conforme o Inmet (2021) observa-se que no mês de dezembro de 2021, o Centro Sul e Sul da Bahia teve um volume de chuvas 6 vezes acima da normal climatológica para a maioria das cidades atingidas pelas enchentes, conforme os dados do Cemaden(2021) algumas cidades esse percentual foi ainda maior (fig. 4).

Foi constatada que houve um volume de chuvas muito além da normal climatológica, outra questão é que tais chuvas ocorreram de forma concentrada em um intervalo de dez dias para a ocorrência das ZCAS. Nesse período foi detectada a formação de pelo menos três ZCAS no Brasil sendo que duas delas atingiram com maior incidência o Sul e Centro Sul da Bahia durante o mês de dezembro de 2021. No mapa da fig. 5, temos a incidência das áreas mais atingidas por esses fenômenos.

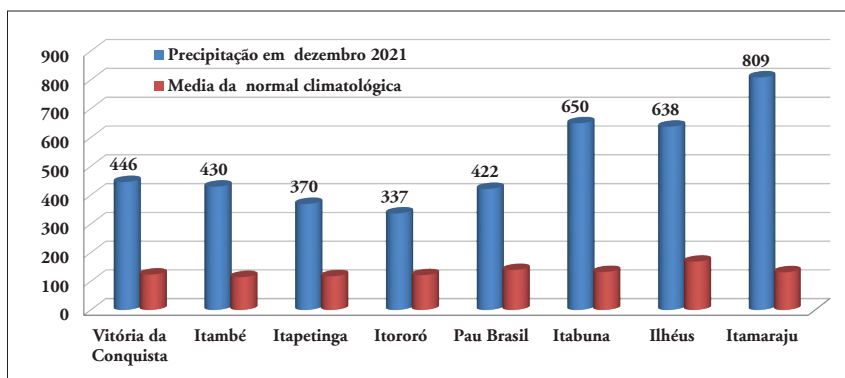


Fig. 4 - Precipitação do dezembro de 2021 em cidades do Sul e Centro Sul da Bahia (Fonte dos dados: Cemaden, dezembro de 2021).

Fig. 4 - Precipitation in December 2021 in cities in the South and Center South of Bahia (Data source: Cemaden, December 2021).

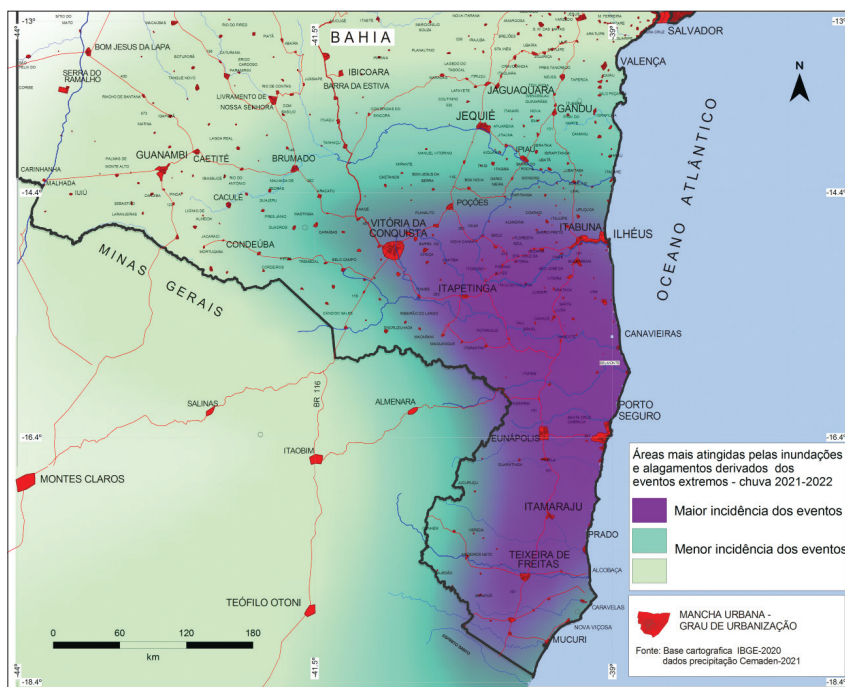


Fig. 5 - Áreas com maior incidência dos alagamentos e inundações dos eventos extremos das chuvas de dezembro de 2021 e 2022.

Fig. 5 - Areas with the highest incidence of flooding and flooding from extreme rainfall events in December 2021 and 2022.

Constata-se que existe uma parcela significativa de populações urbanas residindo em áreas susceptíveis ao risco ambiental, sobretudo aos riscos decorrentes de inundações provocadas por enchentes derivadas dos eventos extremos do clima. Constata-se também que a apropriação da natureza nas cidades baianas ocorre de forma sistematizada e constante em tais cidades, verifica-se o aumento das ocupações em áreas de preservação permanentes tais como margens de rios e planícies de inundação seja pela população de baixa renda que ocupa áreas no entorno dos rios, seja pela expansão dos condomínios fechados em áreas de fragilidade ambiental, com destaque para as cidades de Itambé, Itapetinga, Itororó, Itabuna, Ilhéus, Itamaraju, Teixeira de Freitas e Vitória da Conquista,

Foram analisadas as fragilidades ambientais das áreas atingidas pelas enchentes e que permanecem susceptíveis ao risco de enchentes, sobretudo aquelas que estão situadas em locais planos com rios perenes cortando a cidade ao meio é o caso de nessas cidades foram analisadas as vulnerabilidades sociais da população residente no entorno dos rios e os riscos ambientais decorrentes da forma de uso e apropriação da natureza no espaço urbano.

Observa-se que as cidades mais atingidas pelas enchentes, inundações e desabamentos de casas estão localizadas em trechos com fundo de vales de rios, e próximos à faixa litorânea que vai desde a divisa da Bahia com o Espírito Santo até o litoral do Recôncavo baiano. Na faixa pré-litorânea e litorânea destacamos as cidades de Itabuna, Ilhéus, Itamaraju e Teixeira de Freitas, como as cidades mais vulneráveis aos riscos de inundação, alagamentos e desabamentos provocados pelas chuvas derivadas dos eventos extremos. Isso porque essas cidades estão localizadas em áreas de drenagem de rios e ou urbanizadas em leitos e rios que possuem grandes áreas susceptíveis a inundações (fig. 6).

Em relação enchentes com inundações e alagamentos urbanos provocados pelas chuvas derivadas de eventos extremos, verifica-se que o Sul e Centro Sul da Bahia tiveram aumento considerável de municípios afetados por esses fenômenos climáticos dentre eles as enchentes, inundações e alagamentos de áreas urbanas e, com isso um aumento do numero de pessoas com vulnerabilidade urbana. Segundo os dados da defesa civil na Bahia em 2021 foram 166.000(cento e sessenta e seis mil) pessoas com um numero mais elevado de cidades que tiveram áreas de risco

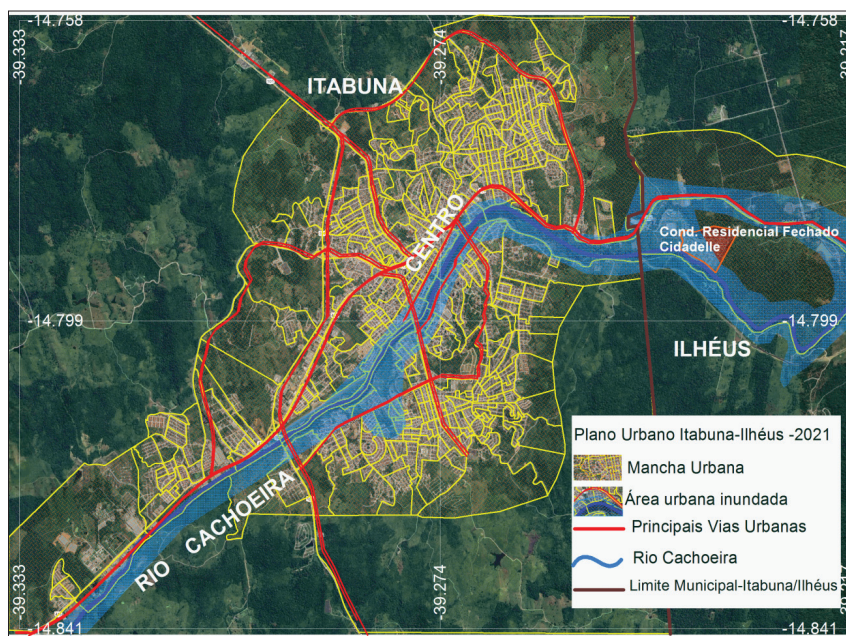


Fig. 6 - Área inundada em Itabuna e Ilhéus pelas águas das chuvas ocorridas no mês de dezembro de 2021 (Fonte: Airbus-Google Earth-Pro-2023. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/>)

Fig. 6 - Area flooded in Itabuna and Ilhéus by rainwater that occurred in December 2021 (Source: elab. by Rocha-2023. Image Airbus-Google Earth-Pro-2023. Available at: <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/>)

por conta das chuvas, nessas cidades também aumentou o número de desabrigados e desalojados, seguida do aumento das áreas com risco de desabamento de casas. Por outro lado verificou-se também que tais fenômenos: inundações, alagamentos e fortes enxurrada foram recorrentes nos anos de 2019, 2021 e 2022 em tais cidades. Isso fez com que aumentasse o número de famílias mais vulneráveis em um curto espaço de tempo. Outra questão são os movimentos de massa, seguidos de desmoronamentos de casas, constata-se que algumas cidades situadas em terrenos com maior declividade, decorrente de presença de morros e encostas escarpadas como Ilhéus, Itamaraju e outras cidades da zona costeira baiana sempre tiveram problemas desse tipo e com o aumento na frequência desses eventos extremos tais cidades passaram a apresentar maior vulnerabilidade em decorrência das chuvas.

Na porção interiorana do Centro Sul da Bahia há algumas cidades que merecem destaque na pesquisa por conta do numero de desabrigados pelas inundações de rios urbanos com água de chuvas derivadas dos eventos extremos. Dentre elas destacamos a cidade de Itambé-BA (fig. 7).

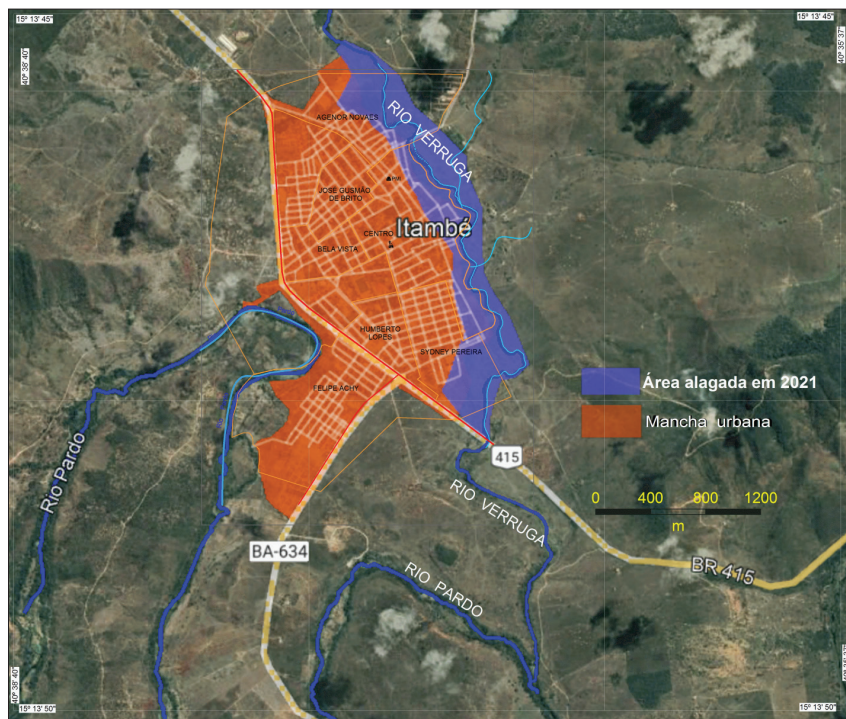


Fig. 7- Área de inundação e alagamento na cidade de Itambé-Bahia entre 21 a 26 de dezembro de 2021- margens do rio Verruga. Fonte: Imagem Airbus-Google Earth-Pro-2023. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/>

Fig. 7- Inundation and flooding area in the city of Itambé-Bahia between December 21 to 26, 2021- banks of the Verruga river. (Source: elab. por Rocha-2023. Image Airbus-Google Earth-Pro-2023. Available at: <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/>).

Itambé segue a lógica da maioria das cidades brasileiras que tiveram a origem no século XVIII e XIX, em quase todas elas, o núcleo urbano foi formado em margens e ou nascentes de rios. Historicamente no Brasil, existe forte relação do surgimento e desenvolvimento das cidades com margens de rios (Rocha, 2011). Isso deve ao

fato de que no período colonial as atividades produtivas do Brasil Colônia estiveram sempre ligadas ao processo produtivo da agricultura e ou da garimpagem, sobretudo do garimpo nas margens dos rios interiorano da então colônia (Rocha, 2018). A disponibilidade hídrica para a agricultura e abastecimento foram os princípios de apropriação de espaços próximos à cursos d'água em Itambé-Bahia.

A cidade de Itambé atualmente apresenta um nível de pobreza elevado, boa parte das casas da cidade possui baixo padrão e sem a infraestrutura mínima para a moradia 5,8 % delas ainda não possuem banheiro com sanitário (IBGE, 2018) por conta da concentração de renda derivada da pecuária extensiva praticada em larga escala no município. Com isso, a vulnerabilidade socioespacial é visível e ficou exposta com as enchentes do rio Verruga em 2021, nas cheias do rio a maioria das casas atingidas foram de pessoas de baixa renda, casas antigas do início do século XX feitas de adobão (fot. 1).



Fot. 1 - Áreas inundadas e alagadas em Itambé-Bahia com as chuvas entre os dias 21 a 27 de dezembro de 2021 (Fonte: Ascom-PMI, 28 de dezembro de 2021).

Disponível em: <https://www.itambe.ba.gov.br/noticias>.

Photo 1 - Inundated and flooded areas in Itambé-Bahia with the rains between December 21 to 27, 2021 (source: Ascom-PMI, December 28, 2021).

Available at: <https://www.itambe.ba.gov.br/News>.

A cidade de Itambé atualmente apresenta um nível de pobreza elevado, boa parte das casas da cidade possui baixo padrão e sem a infraestrutura mínima para a moradia. Segundo dados do IBGE, 5,8 % delas ainda não possuem banheiro com

sanitário (IBGE, 2018) por conta da concentração de renda derivada da pecuária extensiva praticada em larga escala no município. Com isso, a vulnerabilidade socioespacial é visível e ficou exposta com as enchentes do rio Verruga em 2021, nas cheias do rio a maioria das casas atingidas foram de pessoas de baixa renda, casas antigas do início do século XX feitas de adobão.

Conclusões

Pode-se dizer que a ocupação de terras ribeirinhas nas cidades baianas cortadas por rios que cruzam o espaço urbano vem aumentando de forma acelerada e contínua. Essa estratégia de ocupação das terras ribeirinhas no entorno dos rios passou a ser um problema crescente nos últimos anos e tende a ampliar dado ao rápido aumento da pobreza da população entre os anos 2014 e 2022. Período em que o processo de ocupação nas áreas de preservação permanentes aumentou, devido ao cancelamento dos contratos de construção de casas da faixa 1 do minha casa minha vida que é destinada a atender famílias de baixa renda com ganhos de até R\$ 1.600,00 mensais. Foi percebida que nas cidades mais atingidas pelas inundações, a construção das casas do programa minha casa minha vida ainda está abaixo da meta estabelecida pelo Governo Federal em 2009.

Por outro lado constata-se que houve um aumento no numero construções pelo setor imobiliário a maioria das cidades Bahia dobrou o numero de habitações entre 2010 e 2022 conforme os dados divulgados pelo Censo do IBGE (2022). Itambé tinha em 2010, 5.142 casas no espaço urbano e em 2022, esse numero está próximo de 9.000 (nove mil) moradias, Itabuna possuía em 2010, 61.142 unidades habitacionais e em 2022 a cidade já conta com mais de 90.000 (noventa mil) residências. Esses dados vêm demonstrando que o problema da falta de moradia está diretamente relacionada a renda, ou seja há muitos residentes que possuem mais de um imóvel no entanto, uma parcela significativa não possui acesso a moradia e acaba ocupando as áreas marginais dos rios e córregos dessas cidades. Constata-se com os dados disponibilizados pela defesa civil da Bahia em dezembro de 2021 que a maioria dos atingidos é de famílias de baixa renda que ocupam esses

locais irregulares das cidades. No Caso de Ilhéus houve um condomínio fechado de alto padrão construído em área de preservação permanente nas margens do Rio Cachoeira que teve metade das casas inundadas pela cheia do rio em 27 de dezembro de 2021.

Também verificou-se que em muitas cidades há condomínios de luxos que sofreram com as enchentes, boa parte das terras desses condomínios estão em áreas de preservação permanente e portanto são irregulares, constata-se com isso que houve negligenciamento do setor público que emite alvará para construção de condomínios em áreas de preservação com susceptibilidade de riscos e danos decorrentes das cheias dos rios. Essa situação foi verificada nas margens do rio Cachoeira em Itabuna e Ilhéus com a inundação do condomínio de Luxo Cidadelle, situado as margens do rio, com nitida ocupação da mata ciliar preservada por lei do Código florestal de 2012.

Em dezembro de 2021, mais de 200 (duzentas) cidades baianas foram atingidas pelas chuvas. Desse total 116 delas são cidades do Sul e Centro Sul da Bahia, de forma ampla e abrangente a maioria dos moradores dessas cidades enfrentaram calamidades decorrentes das chuvas extremas. Ao todo foram mais de 660.000 pessoas atingidas diretamente por alagamentos e inundação de casas pelas cheias dos rios. Segundo a Defesa civil da Bahia 66.000 famílias ficaram desabrigadas, milhares de casas e comércios foram destruídos. No tocante a cidade de Itambé, esse fenômeno ocorreu com mais intensidade nas margens do rio Verruga onde 660 famílias ficaram desabrigadas (Pmi, 2021). No dia mais chuvoso em 26 de dezembro de 2021 o rio subiu dez metros acima do seu nível normal. Alagando uma faixa urbana em toda a sua extensão no trecho urbano da cidade de Itambé-Bahia.

Diante do exposto podemos afirmar que existe variabilidade climática recorrente na região afetada pelos eventos ocorridos em 2021. Há uma tendência do aumento crescente tanto em volume quanto em duração da precipitação pluvial quando estes estão associados aos eventos extremos do clima. Também podemos afirmar que tem ocorrido nos últimos dez anos uma preocupação maior no meio científico quanto ao desenvolvimento de pesquisas que apontem soluções para os problemas advindos da ocorrência dos eventos extremos do clima. Percebe-se que houve um aumento do interesse das ciências sociais em especial da geografia e dos geógrafos

sobre a questão da compreensão da natureza e dos riscos que a apropriação dessa natureza pela produção de espaços sociais tem repercutido significativamente para o desenvolvimento de uma base filosófica e epistemológica mais robusta acerca da temática, principalmente, com preocupações mais recentes sobre as populações em situações de risco em pequenas e médias cidades que na maioria das vezes tem o acesso aos bens e serviços públicos dificultados, gerando assim uma série de riscos e vulnerabilidade social, ambiental e econômica além de outras situações em que o ambiente, conjugado a fatores socioeconômicos, expõe as populações a riscos, sobretudo nas cidades situadas em regiões de feições geomorfológicas bastante susceptíveis aos processos erosivos, com alto grau de fragilidade ambiental entre outros. É nesse contexto que recai o estudo que visa uma aproximação conceitual e epistemológica do tema apresentado aqui neste capítulo.

Referências bibliográficas

- Aristóteles (2002). *A Política*. Trad. Roberto Leal Ferreira são Paulo: Ed. Martins Fontes.
- BRASIL (2012). Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal. Brasília, DF, . Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm, acesso em 10 de Abril de 2021.
- CEMADEN - CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (2021). Dados das precipitações. Mapa interativo, Brasília, Mctic-Radar Pluviométrico. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/>, acesso em 20 de abril de 2023.
- Descartes, R. (2018). *O discurso do Método & ensaios*. Trad. Pablo Rubem Mariconda, São Paulo, Edunesp.
- Engels, F. (2020) A dialética da natureza, trad. Nélcio Schneider São Paulo, Boitempo,
- Feuerbach, L. (2013). *A essência do cristianismo*, trad. José da Silva Brandão, Rio de Janeiro, editora Vozes.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2002). *Clima do Brasil*, Rio de Janeiro, Geociências, IBGE.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2011). *Censo 2010*, Rio de Janeiro, IBGE. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em jan. 2023.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2018). *Pnad - Pesquisa Nacional por amostra de domicílios*, Rio de Janeiro, Pnad, IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html>, acesso em 26 de abril de 2023.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2020). *Mapas dos setores censitários da Bahia*, Rio de Janeiro, Geociências, IBGE,
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022). *Censo 2022*, Rio de Janeiro, IBGE. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>, acesso em julho 2023.

- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2021). As chuvas na Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo, dezembro. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas#>, acesso: 17 de agosto de 2022.
- Lefebvre, H. (2013). *La producción del espacio*. Madri, Capitán swing, 468 p.
- Lefebvre, H. (1978). *De lo rural a lo urbano*. Barcelona, Cultura Libre.
- Levi-Strauss, C. (1973). Structuralism and ecology. *Social Science Information*, 12(1), 7-23, Paris. DOI: <https://doi.org/10.1177/053901847301200101>
- Levi-Strauss, C. (1976). Structuralisme et empirisme. *L'Homme, Paris*, 16-2-3, 23-39.
- Lukacs, G. (2013). *Para uma ontologia do ser social II*. trad. Nélío Schneider São Paulo. Boitempo.
- Lukacs, G. (2012). *Para uma ontologia do ser social I*. trad. Nélío Schneider São Paulo. Boitempo.
- Marx, K. (2013). *O Capital*, trad. Rubens Enderle. São Paulo: Boitempo.
- PMI - PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAMBÉ (2021). *Chuvas deixam um rastro destruição em Itambé e equipes da prefeitura se mobilizam para ajudar as famílias atingidas*. Itambé, Acom, Prefeitura Municipal de Itambé. Disponível em: <https://www.itambe.ba.gov.br/noticias/>, acesso em julho de 2023.
- Porto-Gonçalves, C. W. (2002). Da geografia às geo-grafias: um mundo em busca de novas territorialidades. *En: La Guerra Infinita: Hegemonía y terror mundial*. Buenos Aires . Buenos Aires, Clacso, 217, 256.
- Rocha, A. A. (2011). *Sociedade e Natureza: a produção do espaço urbano em bacias hidrográficas*. Edições UESB: Vitória da Conquista
- Rocha, A. A. (2018). O papel de João Gonçalves da costa na produção do espaço baiano – entre os séculos XVIII e XIX: as origens do território de Vitória da Conquista. *Geopauta, [S. L.]*, v. 2, n. 128 3, 83-99. DOI: <https://doi.org/10.22481/rg.v2i3.3732>
- Rocha, A. A. (2019). A participação do capital e do mercado imobiliário na produção do espaço: os reflexos desse processo na cidade de Vitória da Conquista-BA. *Geopauta*, 3(4), 100-115. DOI: <https://doi.org/10.22481/rg.v3i4.5743>
- Rocha, A. A. (2020). Risco ambiental na produção do espaço em pequenas e médias cidades: bases epistemológicas. *Territorium*, 27(1): *Riscos, Segurança Comunitária, Emergência e Proteção Civil*. Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança; IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, ISSN: 0872-894, Coimbra, 167-173. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_27-1_13
- SEI. (2003). Pluviosidade na Bahia, Salvador: Divisão de Mapas-Sei,
- Smith, N. and O'Keefe, P. (1980). Geography, Marx and the Concept of Nature. *Antipode*, 12: 30-39. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8330.1980.tb00647.x>
- Smith, N. (1988). *Desenvolvimento desigual. Natureza, capital e a produção do espaço*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 192 p.
- Spinoza, B. (2011) *Breve tratado de deus do homem e de seu bem estar*, Belo Horizonte, Editora autentica
- SUDEC (2021). *Defesa Civil Estadual atualiza dados sobre municípios afetados pelas chuvas na Bahia*. Salvador, Sudec, dezembro de 2021, disponível em <https://www.bahia.ba.gov.br/2021/12/noticias/29>, acesso em janeiro de 2022.

**CENÁRIOS PROSPETIVOS PARA A BACIA
HIDROGRÁFICA TRANSFRONTEIRIÇA DO
RIO QUARAÍ/CUAREÍM NA FRONTEIRA
DO BRASIL E DO URUGUAI**

**PROSPECTIVE SCENARIOS FOR THE CROSS-
BORDER HYDROGRAPHIC BASIN OF THE
QUARAÍ/CUAREÍM RIVER ON THE BORDER
OF BRAZIL AND URUGUAY**

Aline Andressa Bervig

Universidade Federal de Uberlândia (Brasil)
Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva, Departamento de Geografia
ORCID: 0000-0002-4021-9547 alinebervig@gmail.com

Armando Gallo Yahn Filho* (*in memorium*)

Universidade Federal de Uberlândia (Brasil)
Instituto de Economia e Relações Internacionais
ORCID: 0000-0002-4021-9547

Resumo: O espaço geográfico é intensamente modificado, muitas vezes, sem planejamento e sem o olhar nas consequências e nos impactos que determinada atividade humana pode prejudicar o meio ambiente. Para buscar esse equilíbrio pode-se fazer um recorte espacial específico em uma bacia hidrográfica transfronteiriça, ou seja, aquela que cruza fronteira de dois ou mais países. Onde nesse espaço, a prospecção torna-se uma ferramenta que se propõe a elaborar cenários para o futuro, buscando amenizar ou até evitar impactos negativos. Nesse sentido, a área de estudo desse trabalho foi a bacia hidrográfica transfronteiriça do Rio Quaraí/Cuareím, localizada na fronteira do Brasil com o Uruguai.

O objetivo principal foi elaborar cenários prospectivos, através do método do francês Michel Godet, nesse recorte espacial. Auxiliado pela gestão e a governança, acredita-se que a cenarização pode ser utilizada para visualizar uma situação futura, na busca de evitar um cenário catastrófico.

Palavras-chave: Planejamento, governança, gestão ambiental, prospecção, Michel Godet.

Abstract: Geographic space is intensely modified, often without planning and without looking at the consequences and impacts that certain human activity can harm the environment. To seek this balance, a specific spatial selection can be made in a transboundary river basin, that is, one that crosses the border of two or more countries. Where in this space, prospecting becomes a tool that aims to develop scenarios for the future, seeking to mitigate or even avoid negative impacts. In this sense, the study area of this work was the transboundary hydrographic basin of the Quaraí/Cuareím River, located on the border between Brazil and Uruguay. The main objective was to develop prospective scenarios, using the Frenchman Michel Godet's method, in this spatial area. Aided by management and governance, it is believed that scenarioization can be used to visualize a future situation, in an attempt to avoid a catastrophic scenario.

Keywords: Planning, governance, environmental management, prospection, Michel Godet.

Introdução

O futuro não é previsível. Nenhum ser humano ou ser vivo pode ousar dizer ou se portar como tal, no sentido de ter certeza ou clareza com relação ao que vai ocorrer no futuro próximo, a médio ou a longo prazo. O que se pode realizar é uma prospecção, ou seja, traçar evidências com o que aconteceu no passado de determinado lugar, visualizar o presente e modificar o futuro, buscando diminuir situações complexas e de difícil resolução ou até mesmo tragédias. *“Talvez não sejamos capazes de evitar catástrofes (embora às vezes isso até seja possível), mas certamente podemos aumentar nossa capacidade de responder e nossa aptidão para detectar oportunidades que, de outro modo, seriam desperdiçadas”* (Schwartz, 2003; 16).

Na visão do autor, o ser humano passa por situações difíceis e complexas e ele acaba criando reações a elas. Uma delas é a negação, onde há a dificuldade de acreditar que determinada situação inevitável aconteceu, por exemplo: uma tragédia aérea. A outra é a própria defesa, onde muitas pessoas reagem de formas diversas na busca da aceitação do fato ocorrido. Inevitavelmente, as duas são ineficientes. Em outras situações, as pessoas não se enquadram em nenhuma das situações anteriores, elas simplesmente não tomam atitude alguma. Para Schwartz (2003, p.23) *“Em um mundo onde as crises ocorrem em intervalos regulares, que alteram profundamente os pressupostos básicos sobre como as coisas funcionam, a estratégia mais eficiente é a flexibilidade consciente, ou seja, manter o equilíbrio entre as reações de curto prazo e a visão de longo prazo, e fornecer a preparação, para que você possa mudar rapidamente de direção se for necessário”* (Schwartz, 2003: 23).

No mesmo sentido do pensamento do autor, a compreensão da visão da prospectiva é necessário fazer uma volta ao passado. A humanidade sempre teve anseio em conhecer e prever o futuro. Muitas vezes, isso ocorria porque os governantes do passado, Séculos XIX e XX, queriam utilizar das informações das previsões futurísticas, na tentativa de tomar as melhores decisões no presente (Marcial e Grumbach, 2008). E aqui surge a prospecção.

Mas quando surgiu a prospecção? Antes de adentrar no surgimento da prospecção, há a necessidade de diferir de previsão, onde essa é, apenas, uma adivinhação realizada de determinada situação.

Conforme Berger (1964) citado por Schenatto *et al.* (2011):

“A primeira dessas abordagens interpreta o futuro como produto da adivinhação. Essa concepção perdura até nossos dias, mas predominou principalmente na época medieval, com hegemonia dos magos e feiticeiros. Já o enfoque unidirecional surgiu nos tempos modernos, com o apoio das ciências matemáticas e da estatística. Nessa compreensão, o futuro é modelado com a aplicação de modelos de projeção, utilizando séries históricas de referência. O terceiro enfoque surgiu no final da década de 1950, e interpreta o futuro como dependente da ação do homem, dando origem à aparição da prospectiva, sob inspiração de Berger” (1964).

Já a prospecção é um emaranhado de dados que se levanta para buscar antecipar o futuro, com base em histórico (do passado), analisando o presente e tentar visualizar os possíveis problemas que podem acometer um local, uma região, uma nação ou nações transfronteiriças ou fronteiriças. Surge aqui os cenários prospectivos.

A palavra cenário possui diversos significados, sua origem vem do teatro, e na sequência dos *scripts* do cinema. Nessa ocasião, ela está interrelacionada com a visão da prospectiva, com a ideia de que os futuros são múltiplos e tomados de incertezas.

Conforme Godet, 1993:

“Na França, a metodologia de cenários foi aplicada pela primeira vez durante um estudo prospectivo geográfico realizado em nome da Datar em 1970. Desde então, esse método foi adotado em setores como indústria, agricultura, demografia, emprego etc. e aplicado em diferentes níveis geográficos - países, regiões, mundo” (Godet, 1993, p. 10).

Para Schwartz (1996) *apud* Moretti (2017) “[...] cenários são uma ferramenta para ordenar a percepção sobre ambientes alternativos futuros, nos quais as decisões pessoais podem ser cumpridas. Ou um conjunto de métodos organizados para sonharmos sobre o futuro de maneira eficiente”.

Já para Schoemaker e Heijden [(1992), *apud* (Marcial, 2003:45)]

“Os cenários são ferramentas que têm por objetivo melhorar o processo decisório, com base no estudo de possíveis ambientes futuros. Não devem ser tratados como previsões capazes de influenciar o futuro, nem como histórias de ficção científica montadas somente para estimular a imaginação. Os cenários são imagens alternativas de futuro que facilitam a tomada de decisões. Eles são ferramentas poderosas desenhadas para melhorar o processo de planejamento estratégico de uma organização, ao explorar um conjunto de situações. Um leque de cenários alternativos proporciona um caminho para se focar no futuro, porém sem perder a perspectiva das outras possibilidades. O horizonte temporal dos cenários prospectivos, que é o período coberto pelo estudo de cenarização, tem, em média, a um horizonte de dez anos, não é recomendado horizontes inferiores a cinco anos, pois o objetivo principal da elaboração de cenários é a de auxiliar na definição de estratégias, o que exige uma visão de longo prazo” ([Schoemaker e Heijden (1992), *apud* (Marcial, 2003:45)]).

A partir do início dos anos 70, os cenários começaram a ser utilizados com maior frequência, através do trabalho do francês Pierre Wack. A área de atuação dele foi em empresa petrolífera internacional a *Royal Dutch/Shell*. Além disso, cabe ressaltar que ele desenvolveu a metodologia, juntamente, com à *École Française de Prospective* (Escola Francesa de Prospectiva) Moretti (2017). Essa iniciativa fez com que as previsões, realmente, fossem deixadas de lado, e a prospecção começou a adquirir força no mundo empresarial, e, com o passar dos anos em outras áreas do conhecimento.

Mas, o marco científico sobre a metodologia de cenários prospectivos ocorreu no ano de 1987, quando Michel Godet publicou a sua obra intitulada “Cenários e a Administração Estratégica”.

Saindo do aspecto mundial, vindo para a região da América do Sul, principalmente, o Brasil e o Uruguai, que são países muito envolvidos nesse trabalho. Quando começou a ser utilizada a metodologia dos cenários

prospectivos nesses países? No Brasil, a elaboração de cenários prospectivos é muito atual. As primeiras empresas a utilizarem foram a Eletrobrás, no ano de 1987, e dois anos depois, em 1989 foi a vez da Petrobrás. A intenção principal de ambas as empresas era buscar visualizar a longo prazo como as suas atividades poderiam ser incrementadas e mais bem gestadas. No mesmo ano, o Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDES, começou a utilizar os cenários no aspecto mais econômico, o que ocasionou estreitamento com a política o que possibilitou grande discussões sobre essa metodologia (Moretti, 2017). Após esse início, rapidamente, a metodologia se expandiu para outros órgãos federais. No início do ano de 1990, foi a vez do Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq; em 1992, da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP; no final do ano de 1996 e início de 1997 foi criada a Secretaria de Assuntos Estratégicos – SAE, que publicou a obra intitulada “Cenários Exploratórios do Brasil 2020”. Após isso, a metodologia começou a ser largamente utilizada, em diversas áreas do conhecimento (Moretti, 2017).

Já no Uruguai, foi criada no ano 1960 “*La Comisión de Inversiones y Desarrollo Económico – CIDE*”, A Comissão de Investimentos e Desenvolvimento Econômico, que através dela se elaborou o primeiro diagnóstico sistemático e de longo prazo sobre o funcionamento econômico nacional, levando a criação do Plano Nacional de Desenvolvimento. Embora este plano tenha sido aplicado apenas parcialmente, o diagnóstico e as propostas fizeram desta instituição um marco na história política, social, econômica e cultural do Uruguai. Bittencourt *et al.* (2012, p. 79). O trabalho elaborado pela CIDE deu origem, entre os anos de 1965 e 1974, a um plano decenal, o Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (PNDES, 1965-1974).

Para Garcé (2002, p. 62) as principais metas do PNDES foram:

“1) *el énfasis en la industrialización, especialmente en la fabricación para la exportación;*
2) *en la reivindicación de la reforma agraria;* 3) *en el diagnóstico estructuralista de la inflación;* 4) *el énfasis en la integración económica como forma de superar el “desarrollo en compartimentos estancos;* 5) *en la jerarquía de las reformas institucionales y, en particular, de la técnica de programación*” (Garcé 2002, p.62)

Como as preocupações uruguaias eram várias, no ano de 2007, elaborou-se a obra intitulada “Uruguay: Agenda 2020”.

Conforme Arocena y Caetano (2007, p. 19):

“El principal desafío fue identificar algunas tendencias en Uruguay más allá del corto plazo, buscando trascender las urgencias de la coyuntura. En tiempos de câmbio, con una visión integral y abierta de construcción colaborativa y multidisciplinar, buscamos configurar escenarios de futuros posibles. Buscamos promover una forma de análisis reflexivo que nos permitiera identificar eventos, escenarios o imágenes futuras de Uruguay, pensando en revisar sugerencias para la construcción de proyectos colectivos deseables” (Arocena y Caetano, 2007, p. 19)

E, atualmente, o Governo uruguaio vem trabalhando intensivamente com cenários prospectivos. Para isso, estão em andamento quatro grandes estudos.

Conforme Planificación (2017, p. 12) sendo eles:

“1) Prospectiva de la demografía de Uruguay al 2050 y sus consecuencias 2) Estudio prospectivo – sistemas de género, igualdad y su impacto en el desarrollo de Uruguay al 2050; 3) Ejercicio prospectivo – la cultura como impulsor del desarrollo sostenible en Uruguay 2050; 4) Proceso Visión Tacuarembó 2050 en la Región Norte; y 5) Ejercicios prospectivos en diez complejos estratégicos en Uruguay” (Planificación, 2017, p. 12)

Cabe também ressaltar, que os cenários prospectivos estão fortemente relacionados a questão do território. Aqui menciona-se a prospectiva territorial. Ela constitui um instrumento privilegiado para ajudar a compreensão das dinâmicas territoriais, num contexto sempre mais marcado pela descentralização, pela autonomia de decisão e pela necessidade de cooperar Godet (2000).

Nesse sentido o objetivo desse capítulo foi a aplicação dos cenários prospectivos para a bacia hidrográfica transfronteiriça do Rio Quaraí/*Cuareím*, na fronteira do Brasil e do Uruguai. Na atualidade, sabe-se que os usos da água são variados e que a demanda por parte da Humanidade só tende a aumentar, o que pode gerar risco de escassez. Na área de estudo a água é compartilhada entre os dois países fronteiriços, mesmo assim ocorrem alguns conflitos principalmente no que tange o uso da água em maior proporção por parte do Brasil. Visando mitigar esses conflitos buscou-se da prospecção para pré-visualizar o futuro próximo.

Área de estudo

O Rio Quaraí/*Cuareim* é um afluente pela margem esquerda do Rio Uruguai, integrando a bacia do Rio da Prata (fig. 1). A bacia do Rio Quaraí/*Cuareim* possui uma área de drenagem de cerca de 14.800 km², dos quais aproximadamente 6.700 km² (45 %) em território brasileiro e cerca de 8.100 km² (55 %) no extremo Noroeste do Uruguai. Esta é uma bacia transfronteiriça de águas compartilhadas entre o Brasil e o Uruguai, sendo a fronteira entre os países o curso principal do Rio Quaraí/*Cuareim* PPGICBRQ (2005); Villanueva *et al.* (2002); Junges (2013); Bervig (2015).

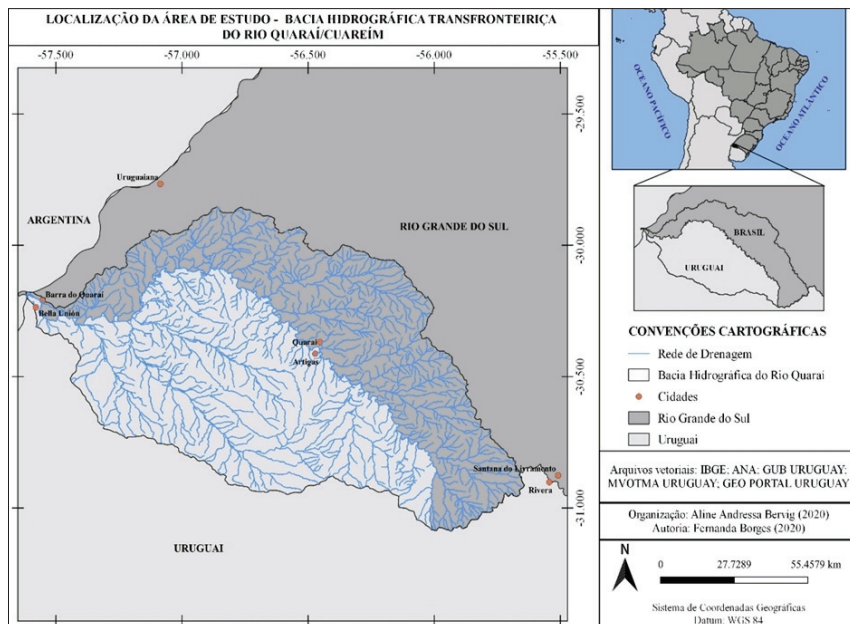


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

Fig. 1 - Location of the study area.

O comprimento total da calha principal de drenagem é de 351 km, a diferença das cotas altimétricas, da nascente até o exutório, é de 326 metros, e a altitude média da bacia é de 200 metros. Situada entre os meridianos 55°35'W e 57°40'W e

os paralelos 29°40'S e 30°55'S, a bacia apresenta, segundo a classificação climática de Köppen, um Clima Temperado Úmido, na variedade de Clima Subtropical do tipo "Cfa" (PPGICBRQ, 2005).

A bacia hidrográfica do Rio Quaraí/*Cuareim* está localizada no Brasil, no Estado do Rio Grande do Sul, pertencendo a ela os Municípios de: Barra do Quaraí/RS, Quaraí/RS, Santana do Livramento/RS e Uruguiana/RS. Já no Uruguai estão: Artigas/UY, *Bella Unión*/UY, *Rivera*/UY, os quais pertencem, respectivamente, aos Departamentos de Salto, Artigas e Rivera.

Esse rio possui uma característica interessante a ser ressaltada. Antes de chegar nas cidades-gêmeas do município de Quaraí/RS e o Departamento de Artigas/UY, o rio se torna internacional entre os dois países, fazendo parte da fronteira do Brasil e do Uruguai, e depois ele percorre uma distância de 350 km. Durante esse trajeto ele é considerado um rio com característica levemente meândrica, chegando a ser consecutivo. Ao longo de suas margens estão as cidades de Quaraí/RS e Artigas/UY, e na sua foz estão as cidades de Barra do Quaraí/RS e *Bella Unión*/UY.

A bacia hidrográfica está localizada numa região litológica diversa. As nascentes estão em locais de rochas sedimentares intercaladas com derrames basálticos. Os solos são rasos, com profundidade de, no máximo, 0,5 m, característica que ocasiona a diminuição da capacidade de armazenamento de água no solo e proporciona o *run-off* em eventos de chuva. Essa característica tem efeitos na vulnerabilidade a eventos de inundações, especialmente nas cidades de Quaraí/RS (na parte superior das fotos) e Artigas/UY (na parte inferior das fotos). Ekstrand *et al.* (2009), conforme pode-se observar na fot. 1.

As inundações fluviais são muito frequentes na área de estudo, elas são consideradas fenômenos naturais. Mas, a característica da região da bacia hidrográfica com solos rasos combinado ao alto volume de precipitação anual, em média de 1.800mm/ano, faz com que seja uma área de risco, altamente suscetível à inundações e problemas para a população em geral.

Na busca de prevenção a essa característica particular da área de estudo, acredita-se que a elaboração de cenários prospectivos corrobore com a busca de mitigar tal problema e outros que ocorrem nesse local. Os cenários são considerados uma ferramenta que trabalha com um número de variáveis-chave e de atores, que foram, respectivamente,



Fot. 1 - Imagens demonstrando as inundações que ocorrem no Rio Quaraí/Cuareím

Photo 1 - Images demonstrating the floods that occur in the Quaraí/Cuareím River.

(Links: A) <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2019/01/20/homem-morre-ao-tentar-atravesar-ponte-submersa-e-ser-levado-pela-correnteza-em-quarai.ghtml>

B) https://www.jornalvs.com.br/_conteudo/2015/12/noticias/rio_grande_do_sul/256229-sobe-para-2-2-mil-o-numero-de-familias-atingidas-pela-chuva-no-estado.html)

34 (trinta e quatro) e 11 (onze), para que se busque um leque de variações com a situação de risco exposta anteriormente. O horizonte temporal foi escolhido o ano de 2035, pois os cenários não podem ser analisados em curto e nem longuíssimo prazo. O ideal é ser 20 ou no máximo 30 anos, desde o início da prospecção.

Para Buarque (2003) “[...] os cenários constituem instrumentos úteis para apontar o panorama provável se nada for feito e podem ajudar a identificar quando e quais as medidas corretivas a serem tomadas”.

E para Brasiliano (2003, p.51):

“A atividade de planejamento de riscos, envolve, sempre, uma visão prospectiva, uma visão de futuro, mesmo porque os objetivos a serem alcançados se referem a fatos futuros. Todo planejamento de riscos é, por consequência prospectivo. [...] O gerenciador de riscos deve aliar ao domínio das técnicas de prospectiva, sua imaginação e lógica, pois o planejamento de gestão de riscos é um processo decisório”.

Após a explanação acima, na sequência do trabalho serão detalhados os procedimentos operacionais, ou seja, como a prospecção foi elaborada. Serão expostas as variáveis-chave, os atores e demais passos dessa forma de se buscar trabalhar o futuro, com base no passado e no presente de determinado espaço geográfico.

Procedimentos operacionais

Como o ambiente atual está cada vez mais globalizado e turbulento, os métodos prospectivos assumem o papel de iluminar o futuro, não único e definido, mas oferecendo possibilidades sobre os cenários possíveis e desejáveis. Os métodos prospectivos são ferramentas que permitem certa flexibilidade estratégica para a tomada de decisão no presente em relação ao que será o futuro, obtendo a oportunidade da ação prévia ao invés da aceitação Godet (1993) e Fonseca (2018).

Desde o surgimento dos métodos e das ferramentas prospectivos, foram criadas duas correntes principais. A primeira ficou conhecida como “Escola francesa” ou “*La Prospective*”, que surgiu na França por volta da década de 1960, tendo como fundador Bertrand de Jouvenel. Esta corrente propõe trabalhos que abordam questões futuras e considera a criação e a modificação do futuro de modo intencional pelos atores sociais Azevedo Filho; Perestrelo; Molina-Palma (2015).

Já a segunda corrente surgiu nos Estados Unidos, também na década de 60, tendo como fundador Herman Khan e Peter Schwartz. Essa corrente possui é baseada na estratégica voltada para políticas de segurança, ou seja, ela busca na prospecção possibilitar formas de defender determinado território. Ela possui suas raízes nas tradições inglesa, alemã e americana, conhecida como a corrente anglo-saxônica e considera que a tecnologia é o principal motor da mudança socioeconômica Souza (2009).

As duas correntes são distintas, a primeira envolvendo atores sociais e a segunda mais voltada para a área da segurança. Nesse contexto da bacia hidrográfica transfronteiriça do Rio Quaraí/*Cuareím* o foco não está na área da segurança militar, mas sim no envolvimento de vários atores sociais, econômicos, público e privado, entre outros. Por esse motivo os cenários prospectivos desse trabalho utilizarão a corrente francesa, principalmente pelo aspecto humano estar inserido nesse contexto, nas suas mais variadas dimensões sociais, econômica, política, entre outras Saragoça (2012).

O método dos cenários prospectivos criado por Michel Godet inserido na corrente francesa da “*La Prospective*” é constituído de três fases para a sua elaboração, podendo ser criado da forma completa ou compacta.

Dentre os métodos de análise prospectiva estratégica, um dos que merece destaque é o método dos cenários, pois apesar da elaboração de cenários e da análise prospectiva não serem semelhantes, a construção de cenários constantemente assume um papel central em grande parte dos estudos prospectivos Godet; Durance; Dias (2008); Fonseca (2018) Para Godet (1993 *apud* Fonseca, 2018, p. 2): “Embora haja autores que defendam que não há um método dos cenários, mas sim muitas formas de construir cenários parece, no entanto, que na maioria dos especialistas existe um consenso de qualificar como método dos cenários toda a tentativa que compreenda certo número de etapas bem precisas (análise do sistema, retrospectiva, estratégia dos atores, elaboração de cenários), que estão encadeadas logicamente” (Godet, 1993).

A elaboração dos cenários prospectivos foi, e é, através da evolução das variáveis-chave e nas hipóteses criadas através do comportamento de atores Sutter (2012). Nesse sentido, o método dos cenários elaborado por Michel Godet estrutura a elaboração daqueles, com o objetivo de criar estratégias de ação e proporcionar que elas sejam realizadas principalmente em médio prazo e longo prazos, ou seja, acima de dez anos. Para facilitar a elaboração dos cenários, o primeiro passo é a construção dos primeiros dados a serem utilizados nos cenários (fig. 2).

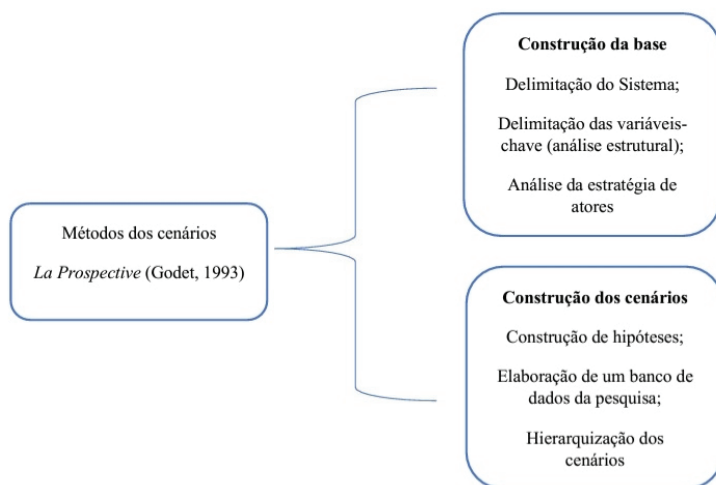


Fig. 2 - Etapas para a elaboração de cenários prospectivos por Michel Godet – 1993
(Adaptado de: Godet,1993; Fonseca, 2018).

Fig. 2 - Steps for preparing prospective scenarios by Michel Godet – 1993
(Adapted from: Godet,1993; Fonseca, 2018).

As etapas construção das bases e a construção dos cenários são detalhadas a seguir:

- *Construção da base*: pode ser definido como o estado do sistema, incluindo as variáveis-chave e o conjunto dos atores envolvidos, que estarão expostos na elaboração dos cenários prospectivos. É proposto por Godet *et al.* (2008) que seja realizado um levantamento aprofundado do sistema, de modo que se deve ter bem definidos as variáveis para que elas sejam inseridas e analisadas por uma matriz;
- *Construção dos cenários*: é o estudo das incertezas para o futuro. Pelo método de Michel Godet, nessa etapa é realizada uma análise morfológica das variáveis e dos fatos futuros mais importantes e que podem alcançar muitos potenciais cenários (Fonseca, 2018).

Os cenários prospectivos

A primeira etapa para a elaboração dos cenários prospectivos é imprescindível conhecer a área de estudo que se está buscando prospectar, através disso é possível visualizar os problemas que se busca amenizar ou extinguir no futuro. Para que isso ocorra é necessário conhecer as chamadas sementes de futuro.

As sementes de futuro

O início da elaboração dos cenários prospectivos é um grande desafio para o cenarista. Marcial (2004, p. 58) mencionou que “[...] *o futuro deixa, no passado e no presente, sementes que podem vir a germinar ou não. Que podem se transformar em belas árvores frutíferas, plantas que nunca dará frutos ou mesmo plantas daninhas*”. Neste sentido, utilizando uma ferramenta que ajuda na construção de um cenário prospectivo, independentemente do método a ser trabalhado, é importante verificar algumas “sementes de futuro” a partir da descrição do sistema que foi feito acima. Em outras palavras, elas agregam valor ao sistema cenarizado. Para a mesma autora Marcial (2008, p. 58): A identificação e análise dessas sementes, na ótica da visão prospectiva, é que poderá levar à identificação de possibilidades de futuros com

maior consistência. Todas as sementes são elementos integrantes dos cenários e, em alguns casos, seus determinantes, e devem ser identificados e analisados à luz do sistema de cenarização. (Marcial 2008, p. 58) As sementes de futuro são: tendências de peso, fatos ou elementos predeterminados, fatos portadores de futuro, incertezas críticas, surpresas inevitáveis e coringas (*wild cards*).

Tendências de peso

Conforme Marcial (2008, p. 59): As tendências de peso foram definidas por Godet e referem-se àqueles eventos cuja perspectiva de direção é suficientemente consolidada e visível para admitir sua permanência no período considerado. São movimentos muito prováveis de um ator ou variável dentro do horizonte do cenário. As tendências de peso não determinam a lógica dos cenários, mas podem ser vistas como aquelas variáveis que irão dar o “tom” nos enredos e não podem deixar de ser contempladas ou mesmo analisadas em qualquer estudo de caso (Marcial 2008, p. 59). Conforme a definição colocada, vemos como uma primeira tendência de peso o crescimento da população da bacia, principalmente nos últimos anos. Muitos uruguaios, que antes viviam tranquilamente no Uruguai, agora buscam vir para o Brasil, devido ao alto custo de vida no país de origem, dando ênfase a Departamentos próximos ao de Artigas no Uruguai. O aumento das atividades econômicas são outra tendência de peso, pois é algo que já vem acontecendo há anos e continuará acontecendo na bacia. Devido ao crescimento da população da bacia e o aumento das atividades econômicas, o aumento da demanda pela água deve ser considerado também uma forte tendência de peso.

Fatos ou elementos predeterminados

Segundo Marcial (2010, p. 59) “[...] *os fatos ou elementos predeterminados também foram definidos por Godet e referem-se àqueles eventos já conhecidos e certo, cuja solução ou controle pelo sistema ainda não se efetivou*” De acordo com tema do nosso cenário,

as enchentes podem ser consideradas um fato predeterminado, continuam sendo um grande problema, quando ocorrem precipitações elevadas na região da bacia hidrográfica. As mesmas ocorrem e ainda causam grandes estragos, principalmente, nas construções muito próximas das margens do Rio Quaraí/*Cuareím*, pois ainda não se encontrou uma solução para evitá-las. A poluição da água do desse rio é uma grande preocupação e que ainda não tem solução. Há a preocupação de fazê-la, só que com praticamente nenhuma efetividade.

Fatos portadores de futuro

Conforme Marcial (2010, p. 59): “[...] *os fatos portadores de futuro também foram definidos por Godet, e constituem-se em sinais ínfimos, por sua dimensão presente, existentes no ambiente, mas imensos por suas consequências e potencialidades*”. Nesse sentido, podemos considerar como fato portador de futuro o reflorestamento das Áreas de Preservação Permanentes/*montes ribereños*. Há vários locais que estão suprimindo essas áreas, exigindo que eles sejam inseridos em áreas de reflorestamento. Existem ínfimas iniciativas de reflorestamento das APP’s/*montes ribereños*, mas ainda pouco eficientes para a solução do problema. Porém, com um olhar de longo prazo, podemos pensar que esse reflorestamento trará benefícios para o ecossistema da bacia.

Incertezas críticas

As incertezas críticas, conforme Marcial (2010, p. 60) “[...] *foram definidas por Peter Schwartz como sendo aquelas variáveis incertas que são de grande importância para a questão principal*”. São fatos portadores de futuro considerados mais importantes e com grau de incerteza maior para a questão principal, ou seja, aqueles que determinam a construção de cenários. Nesse sentido, pode-se considerar como uma incerteza crítica a criação de um possível fundo financeiro para o saneamento básico que os municípios da bacia hidrográfica ainda não possuem. Isso é tocante, uma vez

que pode alterar a qualidade de vida das pessoas que residem nessa região. Pode-se dizer, também, que a pobreza é uma incerteza crítica, pois a própria economia, seja brasileira ou uruguaia, pode variar para melhor ou pior a qualquer momento, sem garantia de que a taxa de desemprego vai aumentar ou diminuir, bem como a distribuição de renda. Por fim, a governança multinível é uma incerteza crítica, pois não se sabe quantos atores dos diferentes níveis territoriais vão começar a fazer parte ou continuar ou até mesmo deixar de participar. Na sequência do trabalho estarão todos os atores expostos em detalhes.

Surpresas inevitáveis

Conforme Marcial (2008, p. 60), as surpresas inevitáveis são: “[...] *forças previsíveis, pois têm suas raízes em forças que já estão em operação neste momento, mas não se sabe quando irão se configurar nem se pode conhecer previamente suas consequências e como afetará. Geralmente são classificadas, de forma errônea, como tendências*” (Marcial, 2008, p.60). Nesse sentido, pode-se mencionar a modificação da paisagem em locais que eram destinados a rizicultura. A inserção de novas culturas é surpresa inevitável, pois a região da bacia hidrográfica tem a característica de não deixar terras sem utilização, porém não se sabe quais serão essas culturas e/ou quando elas ocorrerão.

Coringas ou *wild cards*

Ao contrário das surpresas inevitáveis, cuja probabilidade de ocorrência é grande, os coringas ou *wild cards* referem-se às grandes surpresas, difíceis de serem antecipadas ou entendidas; possuem pequena probabilidade de ocorrência, são de grande impacto Marcial (2008). E “[...] *geralmente surpreendem a todos, em parte porque se materializam muito rapidamente, tão rapidamente que sistemas sociais não podem efetivamente respondê-los*” (Petersen, 1999; p. 4) Atualmente, a inexistência de um ator supranacional coordenando a gestão em ambos os lados da Bacia

hidrográfica do Rio Quaraí/*Cuareím*, pode ocasionar uma gestão transfronteiriça menos eficaz, levando a um possível comprometimento da gestão, não se atingindo as metas pretendidas. E, normalmente, numa situação assim, pode ocasionar a inoperância da *Comisión del Rio Cuareím* do lado uruguaio e da Comissão Mista brasileiro-uruguaia no lado brasileiro.

Através do conhecimento das sementes de futuro pode-se refletir acerca do sistema que se está trabalhando, no caso desse trabalho foi a bacia hidrográfica transfronteiriça do Rio Quaraí/*Cuareím*. Essa reflexão proporciona elencar as chamadas variáveis-chave e o atores que estarão envolvidos na elaboração dos cenários prospectivos.

As variáveis-chave e os atores do cenário prospectivo

As variáveis-chave são aquelas imprescindíveis para se conhecer a área de estudo, buscando envolver o maior número de aspectos político-sócio-econômico—ambientais. Essa etapa tem por objetivo elencar as principais variáveis influentes e dependentes, proporcionando, assim que sejam expostas as principais e mais essenciais para a evolução de todo o sistema. Inicialmente, se cria um número elevado de variáveis, visando atender o máximo de possibilidades das relações no local eleito de análise. Após essa etapa surgem as variáveis influentes que são aquelas que mais influenciam em todas as demais, e as variáveis dependentes que, por sua vez, são aquelas que mais dependem das outras para serem realizadas. As variáveis que mais influenciam o sistema são chamadas de variáveis-chave.

As variáveis-chave eleitas de análise foram: escassez hídrica, qualidade da água, esgoto, resíduos sólidos, atividades econômicas, precipitação, modificação da paisagem, diversidade biológica, área de preservação permanente, reflorestamento, desmatamento, qualidade do solo, quantidade do solo, arenização, inundações fluviais, população, crescimento desordenado das cidades, uso do território, quantidade de água subterrânea, qualidade de água subterrânea, aquecimento global, capacidade de diálogo, Educação Ambiental, corredor ecológico, políticas de desenvolvimento sustentável, atuação dos governos municipais brasileiros na

gestão da bacia, atuação dos governos municipais uruguaios na gestão da bacia, atuação do governo estadual do Rio Grande do Sul na gestão da bacia, atuação do governo departamental de Artigas na gestão da bacia, atuação do Governo Federal do Brasil na gestão da bacia, atuação do Governo Federal do Uruguai na gestão da bacia, atuação da sociedade civil na gestão da bacia e a governança multinível.

Após conhecer as variáveis-chave da área de estudo é necessário saber quais são os atores envolvidos na cenarização. O chamado jogo dos atores é uma etapa crucial para os cenários prospectivos, pois procura-se avaliar as relações de força entre os atores e analisar as suas convergências e divergências em relação a determinado objetivo e desafios. O objetivo da utilização do método é fornecer a um determinado ator formas de apoio à decisão para a implementação da sua política de alianças e de conflitos (Godet, 2010).

Já os atores são: o Brasil, o Uruguai, o Rio Grande do Sul, o Departamento de Artigas, a academia brasileira, a academia uruguaia, a sociedade brasileira, a sociedade uruguaia, os municípios brasileiros, os municípios uruguaios e a Comissão Mista brasileiro-uruguaia.

As variáveis-chave e os atores são eleitos através de um estudo prévio da área de estudo, ou seja, para que seja realizada essa etapa da prospecção há a necessidade de que se conheça profundamente o espaço. Uma das etapas:

A) Identificação dos desafios estratégicos e dos objetivos associados

Após a etapa acima, a próxima a ser realizada é a chamada identificação dos desafios estratégicos e dos objetivos associados. A análise dos atores em função das suas finalidades, dos seus projetos e meios de ação, permite revelar um certo número de desafios estratégicos relativamente aos quais os atores têm objetivos convergentes ou divergentes (Godet, 2010).

Para a área de estudo desse trabalho elencou-se dois desafios estratégicos: a gestão sustentável da bacia hidrográfica e o desenvolvimento econômico, esses dois se destacaram ao longo das análises realizadas nesse trabalho. Um desafio importante é a utilização equitativa da água e aumento do desenvolvimento econômico. E pensando os objetivos específicos dessa parte da elaboração dos cenários prospectivos e, também

dos objetivos específicos desse respectivo trabalho, elencou-se 8 (oito) objetivos, que visam, justamente, as questões ambientais e econômicas, bem como a participação de atores subnacionais. Considerado o exposto acima, elaborou-se o QUADRO I.

QUADRO I - Desafios estratégicos e os objetivos específicos dos atores
Desafios estratégicos Objetivos específicos
Gestão sustentável da bacia hidrográfica.

TABLE I - Strategic challenges and the specific objectives of the actors
Strategic challenges Specific objectives
Sustainable management of the river basin.

Desafios estratégicos	Objetivos específicos
Gestão sustentável da bacia hidrográfica	Objetivo 1 (O1): realizar a gestão compartilhada da bacia (cooperação)
	Objetivo 2 (O2): atender as necessidades socioeconômicas dos atores brasileiros
	Objetivo 3 (O3): atender as necessidades socioeconômicas dos atores uruguaios
	Objetivo 4 (O4): ampliar a participação dos atores subnacionais na gestão da bacia hidrográfica
	Objetivo 5 (O5): elaborar uma legislação única para a gestão da bacia hidrográfica
Desenvolvimento econômico	Objetivo 6 (O6): utilizar a água para a produção econômica uruguaia
	Objetivo 7 (O7): utilizar a água para a produção econômica brasileira
	Objetivo 8 (O8): criar um modelo de produção integrada

Fonte: Godet, 1993 / Source: Godet, 1993.

A análise dos atores em função das suas finalidades, dos seus projetos e meios de ação, permite revelar um certo número de desafios estratégicos relativamente aos quais os atores têm objetivos convergentes ou divergentes.

B) Posicionamento dos atores em função dos objetivos e identificação das convergências e divergências

A próxima etapa é chamada como posicionamento dos atores em função dos objetivos e identificação das convergências e divergências, onde nela serão analisadas a relação de cada ator com os 8 (oito) objetivos específicos expostos no Quadro 1. Nesta etapa, trata-se de descrever, através de uma matriz “atores x objetivos”, a atitude de cada ator, na atualidade, em relação a cada objetivo, indicando o seu acordo (+1), o seu desacordo (-1) ou a sua neutralidade (0) (Godet, 2010). Para isso foi elaborado o QUADRO II, com os dados a seguir:

QUADRO II - Relação dos atores e dos objetivos específicos.

TABLE II - List of actors and specific objectives.

	O 1	O 2	O 3	O 4	O 5	O 6	O 7	O 8
A1	0	+1	0	0	-1	-1	+1	-1
A2	+1	0	+1	+1	-1	+1	0	-1
A3	+1	+1	+1	+1	-1	0	+1	-1
A4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	-1
A5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
A6	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
A7	+1	+1	0	+1	+1	0	+1	0
A8	+1	0	+1	+1	+1	+1	0	0
A9	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0
A10	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0
A11	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Fonte: Godet, 1993 / Source: Godet, 1993.

Após a elaboração do Quadro II, surge a necessidade de verificar o grau de convergência e divergência dos objetivos específicos com cada ator. Para isso, foi elaborado outro quadro demonstrando todas essas relações (QUADRO III).

QUADRO III – Convergência e divergência entre os objetivos específicos e os atores.

TABLE III - Convergence and divergence between specific objectives and actors.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	Conv.	----	2	4	2	2	2	2	0	2	2	2
	Div.	----	1	0	2	3	3	1	1	2	2	3
A2	Conv.	2	----	5	5	4	4	3	4	4	4	4
	Div.	1	----	0	1	2	2	1	1	1	1	2
A3	Conv.	4	5	----	5	5	5	4	3	5	5	5
	Div.	0	0	----	1	2	2	1	1	1	1	2
A4	Conv.	2	5	5	----	6	6	4	5	5	5	5
	Div.	2	1	1	----	1	1	0	0	0	1	1
A5	Conv.	2	4	5	6	----	8	5	5	7	7	8
	Div.	3	2	2	1	----	0	0	0	0	0	0
A6	Conv.	2	4	5	6	8	----	5	5	7	7	8
	Div.	3	2	2	1	0	----	0	0	0	0	0
A7	Conv.	2	3	4	4	5	5	----	3	5	5	5
	Div.	1	1	1	0	0	0	----	0	0	0	0
A8	Conv.	0	4	3	5	5	5	3	----	5	5	5
	Div.	1	1	1	0	0	0	0	----	0	0	0
A9	Conv.	2	4	5	5	7	7	5	5	----	7	8
	Div.	2	1	1	0	0	0	0	0	----	0	0
A10	Conv.	2	4	5	5	7	7	5	5	7	----	7
	Div.	2	1	1	1	0	0	0	0	0	----	0
A11	Conv.	2	4	5	5	8	8	5	5	8	7	----
	Div.	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	----

Fonte: Godet, 1993 / Source: Godet, 1993.

C) Hierarquização das prioridades no que diz respeito aos objetivos de cada ator

Os QUADROS elaborados na fase anterior, ou seja, do posicionamento dos atores em função dos objetivos e identificação das convergências e divergências são muito elementares, só leva em consideração o número exato de convergências e divergências entre os atores e os objetivos.

Há a necessidade de aproximar as informações contidas nesses quadros da realidade. Convém ter em consideração igualmente a hierarquia dos objetivos de cada ator. Avalia-se, assim, a intensidade do posicionamento de cada ator por meio de uma escala específica (Godet, 2010).

A escala específica a ser utilizada será:

- **Nível 0:** o objetivo é pouco consequente para o ator;
- **Nível 1:** o objetivo favorece de modo limitado, no tempo e no espaço, o processo de operação (gestão);
- **Nível 2:** o objetivo é indispensável para o sucesso de seus projetos;
- **Nível 3:** o objetivo é indispensável para o sucesso de suas missões;
- **Nível 4:** o objetivo é indispensável para sua própria existência.

Para isso, elaborou-se o QUADRO IV a seguir:

QUADRO IV - Hierarquização das prioridades no que respeita aos objetivos de cada ator.

TABLE IV - Ranking of priorities with regard to the objectives of each actor.

	O 1	O 2	O 3	O 4	O 5	O 6	O 7	O 8
A1	2	2	1	2	1	1	2	1
A2	3	2	3	2	1	3	1	1
A3	3	2	2	3	1	2	3	2
A4	3	2	3	3	1	3	2	2
A5	2	3	2	3	2	2	3	2
A6	2	2	3	3	2	3	2	2
A7	3	3	3	3	2	2	2	1
A8	3	3	3	3	2	3	2	1
A9	3	3	2	3	2	3	3	2
A10	3	2	3	3	2	3	3	2
A11	4	3	3	3	3	3	3	1

Fonte: Godet, 1993 / Source: Godet, 1993.

D) Formulação das recomendações estratégicas e das questões-chave para o futuro

Após todas as etapas descritas e apresentadas anteriormente foi possível elaborar dois cenários prospectivos, conforme Godet (1993 pgs.16,17) recomenda: um ideal e o outro catastrófico. Nas palavras do autor, “a prospectiva é uma reflexão sistemática que visa orientar a ação presente à luz dos futuros possíveis”. Nesse sentido, é que recomenda-se a elaboração de, no mínimo, dois cenários prospectivos. Há a possibilidade serem elaborados vários outros, dependendo da área de estudo de cada trabalho.

E) O cenário mais favorável: caminho do paraíso

Os países que compõem a bacia hidrográfica transfronteiriça do Rio Quaraí/*Cuareím*, ou seja, o Brasil e o Uruguai elaboram uma legislação integrada para a gestão da bacia hidrográfica. Com isso, além dos acordos já existentes há vários anos, a proteção das Áreas de Preservação Permanentes/*montes ribereños*, auxiliando o reflorestamento e diminuindo o desmatamento. Além da proteção do Bioma Pampa, ocorrerá dessa forma a proteção do Aquífero Guarani. Por serem um patrimônio regional, a inserção de Organizações Internacionais, por exemplo a Organização das Nações Unidas – ONU, agregou ainda mais proteção para o bioma, para o aquífero e a para bacia hidrográfica.

A inserção internacional e todos os acordos e os tratados e toda a legislação integrada elaborada, proporciona cada vez mais influência das Universidades federais e particulares e as Escolas públicas e privadas na resolução dos problemas ambientais. Ambas recebem grande quantidade de investimentos internacionais e dos governos brasileiro e uruguaio. Um dos grandes problemas ambientais, no ano atual de 2035, é o crescimento da população e o aumento da produção de alimentos e a maior diversidade econômica na própria área da bacia hidrográfica do Rio Quaraí/*Cuareím*.

Com o crescimento populacional, aumenta a necessidade por energia, fazendo necessário aumentar a sua produção. No ano de 2035, o aumento da produção de energia solar já é uma realidade, que pode ainda mais ser incentivada com facilidades

de financiamento junto a bancos ou empresas privadas. A necessidade de conter o aumento do aquecimento global é uma realidade, e já começa a trazer benefícios ao próprio homem e demais seres vivos.

A inserção da sociedade em geral, só acrescentou fatores positivos na gestão integrada da bacia hidrográfica, uma vez que ela trouxe ideias que solucionaram as enchentes nas margens do Rio Quaraí/*Cuareím*. Os atores subnacionais, o Estado do Rio Grande do Sul e o Departamento de Artigas, totalmente integrados auxiliam e tornam a governança multinível exequível e, quando a demanda é a água, a governança hídrica multinível é muito forte na região, tornando-se um exemplo mundial e fonte de pesquisas de universidades do mundo todo. Os governos brasileiro e uruguaios estão em total harmonia. O que já era, há décadas, uma realidade dos municípios brasileiros e uruguaios. A convergência é sempre vencedora entre todos os atores. Essa integração facilita a aplicação de políticas que promovam o desenvolvimento ambiental e econômico.

F) O cenário catastrófico: “*Welcome to the jungle*”

O Brasil e o Uruguai não conseguem mais realizar acordos multilaterais nem bilaterais para o meio ambiente. A fragilidade da cooperação toma conta na região, criando a situação dos países ficando isolados. O Brasil impõe, cada vez mais as suas decisões e isso gera um clima de tensão e propício ao conflito na região fronteira. Os países sul-americanos estão totalmente influenciados pela China, a inserção dessas novas culturas acaba se tornando prejudicial para o contexto da bacia hidrográfica do Rio Quaraí/*Cuareím*, pois ambas desconhecem as potencialidades e as particularidades dessa região.

O clima de tensão leva a inoperância de tratados e acordos antes firmados na bacia hidrográfica. A poluição aumenta de maneira exponencial, não há mais regulamentação dos órgãos competentes, os dejetos lançados no rio e no solo acabam por contaminá-los, prejudicando o abastecimento de água para a população e para as lavouras, além de diminuição abrupta de áreas de plantio. A escassez de água é uma realidade. A falta de cuidados com o Aquífero Guarani gera consequências negativas, pois a negligência desse reservatório natural de água, também está poluído.

Além disso, a obtenção por energia elétrica está um caos, sendo essa totalmente dependente da solar, não havendo uma variação na matriz energética, isso prejudica toda a cadeia produtiva da região.

A fauna, a flora, a diversidade biológica sofrem uma devastação na região. A própria inexistência de um corredor ecológico aumenta, consideravelmente, esse problema. O crescimento desordenado das cidades, a incapacidade de pessoas que desconhecem a região de gestá-la, só aumentam o caos. Aqui mais uma vez, a falta de coordenação e políticas sul-americanas conjuntas e em cooperação dificulta a conservação do Bioma Pampa e devasta a região da BHT do Rio Quaraí/*Cuareím*.

Essa situação de descoordenação entre os atores ocasiona um enfraquecimento da governança multinível, o que só tende a aumentar o estado caótico na região. E isso só piora com a inexistência de um ator supranacional coordenando a gestão em ambos os lados da Bacia hidrográfica do Rio Quaraí/*Cuareím*, pode ocasionar uma gestão transfronteiriça menos eficaz, levando a um possível comprometimento da gestão, não se atingindo as metas pretendidas. E, normalmente, numa situação assim, pode ocasionar a inoperância da *Comisión del Rio Cuareím* do lado uruguaio e da Comissão Mista brasileiro-uruguaia no lado brasileiro. “*Welcome to the jungle!*”

Considerações finais

Os cenários prospectivos sobre o futuro da gestão compartilhada na BHT do Rio Quaraí/*Cuareím* revelaram a importância das diversas variáveis de trabalho, sendo elencadas 34 (trinta e quatro), o número elevado se deve ao fato de buscar trabalhar com os vários aspectos que envolvem o recorte espacial da bacia hidrográfica, ficando nos eixos sócio-políticoeconômico-ambiental. O jogo dos atores também demonstrou a importância de cada um deles, e proporcionou reflexões para um futuro de médio prazo, ou seja, o ano de 2035. Como já foi mencionado anteriormente, a prospecção é diferente da previsão. E a prospecção é muito utilizada nos mais diversos ramos do conhecimento na busca de diminuir as possibilidades de erros e já no presente tomar decisões que visem um futuro mais equilibrado e sustentável. E para a área de riscos os cenários prospectivos mostrou-

se uma ferramenta eficaz, pois aponta os problemas e cria prognósticos para que se mitigue ou resolva os problemas ambientais. Por fim, nesse sentido tanto a análise da atual gestão compartilhada na bacia hidrográfica transfronteiriça do Rio Quaraí/*Cuareim*, no seu panorama geral, na fronteira do Brasil e do Uruguai, quanto a elaboração de cenários prospectivos sobre o futuro dela, se demonstraram ferramentas eficazes e propícias para serem utilizadas. Elas elencaram, através de várias pesquisas e análises, de forma mais articulada como cada ator atua e quais as variáveis devem ter maior ou menor atenção. Os cenários prospectivos foram fundamentais para que se demonstre como a governança multinível é riquíssima para se alcançar o cenário mais favorável no ano de 2035. Por outro lado, percebe-se que a total falta de governança multinível e de coordenação centralizada dos governos federais na gestão da bacia hidrográfica leva a um cenário mais catastrófico, sem qualquer *chance* de obter uma gestão efetiva. Por isso é importante fazer uso do método prospectivo para saber quais são os fatores de risco que estão presentes ao longo do tempo e do espaço até se chegar no horizonte temporal de 2035. Assim fazendo, é possível desde já elaborar uma estratégia de ação para obter os resultados desejados, e evitar os não desejados. Chegando assim, em alguns prognósticos para esse recorte espacial.

Referências bibliográficas

- Arocena, R., Caetano, G., & Achugar, H. (2007). *Uruguay: agenda 2020: tendencias, conjeturas, proyectos*. Taurus.
- Azevedo Filho, E. T., Perestrelo, M., & Molina-Palma, M. A. (2015). As descobertas do pré-sal e os desafios competitivos da indústria brasileira do setor de petróleo e gás: uma abordagem prospectiva. *Cidades, Comunidades e Territórios*, (31), ISSN 2182-3030, 85-98.
- Berger, G. *Phénoménologie du temps et prospective*. Paris: PUF, 1964.
- Bervig, A. A. (2015). *Diagnóstico das Áreas de Preservação Permanente nas margens dos rios transfronteiriços: o caso do Rio Quaraí/Cuareim (Doctoral dissertation, Dissertação de Mestrado)*. Apresentada no Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria–UFSM). Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/9442>, acesso em: 15 de julho de 2023 às 13h55min.
- Bittencourt, G., Galván, E., Moreira, C., Goyetche y D. Vázquez (2012). La planificación en el contexto de las estrategias de desarrollo de la posguerra y la experiencia de la CIDE. En Enrique V. Iglesias. *Intuición y ética en la construcción de futuro*. Montevideo: Red Mercosur de Investigaciones Económicas. (2012)

- Buarque, S. (2003). *Metodologia e Técnicas de Construção de Cenários Globais e Regionais (Texto para Discussão no. 939)*. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasília.
- Brasiliano, A. C. R. (2003). *Manual de Planejamento: Gestão de Riscos Corporativos - PGDR* – São Paulo: Sicurezza.
- Ekstrand, S., Mancinelli, C., Houghton-Carr, H., Govers, G., Debels, P., Camano, B., ... & Duque, A. (2009). *TWINLATIN: Twinning European and Latin American river basins for research enabling sustainable water resources management*. Final report.
- Fonseca, L. S., Oliveira, C. M., Azevedo Filho, E. T. (2018). A prospectiva estratégica e o método dos cenários de Godet: um mapeamento sistemático. *Anais XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção "A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil"* Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_264_515_35914.pdf, acesso em: 15 de julho às 13h57min.
- Garcé, A. (2022). *Ideas y competencia política en Uruguay (1960-1973). Revisando el "fracaso" de la CIDE*. Montevideo: Ediciones Trilce.
- Godet, M. (1993). *Manual de prospectiva estratégica: da antecipação a ação*. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- Godet, M. (2000). The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls, in *Technological Forecasting and Social Change*, V. 65, N°1, New York.
- Godet, M., Durance, P., Dias, J. (2008). *A prospectiva estratégica para as empresas e os territórios*. Disponível em: <http://www.lapropective.fr/dyn/francais/actualites/TOPOSPortugaisV190510.pdf>, acesso em: 15 de julho às 13h58min.
- Junges, D. M., Trentin, R. (2013). A Demanda de Água Para Orizicultura e Gestão Transfronteiriça a Partir do Uso do Solo na bacia Hidrográfica do Rio Quaraí. Eixo: Bacias hidrográficas, processos fluviais e as repercussões sobre o espaço geográfico. *XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: Uso e Ocupação da Terra e as Mudanças das Paisagens*. Vitória (ES), 8 a 12 de julho de 2013. Departamento de Geografia. CCHN. UFES.
- Marcial, E. C., Grumbach, R. J. S. (2003). *Cenários Prospectivos: Como Construir um Futuro Melhor*. Rio de Janeiro. FGV.
- Marcial, E. C., Grumbach, R. J. S. (2008). *Cenários Prospectivos: Como Construir um Futuro Melhor*. (5ª Edição Revista e Ampliada) Rio de Janeiro. FGV.
- Moretti, C.S. (2017). Cenários em segurança: visão prospectiva. Disponível em: <https://administradores.com.br/artigos/cenarios-em-seguranca-visao-prospectiva>, acesso em: 15 de julho de 2023 às 13h59min.
- Petersen, J. L. (1999). *Out of the blue: how to anticipate big future surprise*. New York: Madison Books.
- PLANIFICACIÓN, DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEL URUGUAY (2017). *Introducción a la Prospectiva – Síntesis metodológica*. Disponível em: https://www.opp.gub.uy/sites/default/files/documentos/2018-05/Manual_Prospectiva.pdf, acesso em: 15 de julho de 2023 às 14h.
- PPGICBRQ (2005). *Projeto Piloto de Gestão Integrada de Cheias na Bacia do Rio Quaraí. Informe Final*. DNH (Dirección Nacional de Hidrografía del Uruguay) e IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Brasil).
- Saragoça, J. (2012). *Governo Electrónico Local: Diagnóstico Sociológico, Estratégias de Actores e Futuros Possíveis para o Distrito de Évora, Portugal. [Tese de Doutoramento em Sociologia]*. Diagnóstico e Prospectiva Social. Évora: Universidade de Évora.
- Schenatto, F. J. A; Polacinski, E; Abreu A. F. de; Abreu P. F. de. (2011) Análise crítica dos estudos do futuro: uma abordagem a partir do resgate histórico e conceitual do tema. *Revista Gest. Prod.*, São Carlos, v. 18, n. 4, p. 739-754, 2011

- Schwartz, P. (2003). *Cenários: As Surpresas Inevitáveis*, tradução Maria Batista. –Rio de Janeiro: Campus.
- Schwartz, P. (2003). *A arte da Visão de Longo Prazo: Caminhos para um Insight Estratégico para Você e sua Empresa*, tradução Luiz Fernando M. Esteves. 2ª ed. – São Paulo: Nova Cultura.
- Souza, J. B. (2009). *Planejamento de Cenários Prospectivos: Um breve debate sobre as abordagens existentes*. XII SEMEAD- Seminários em Administração, São Paulo. XII SEMEAD.
- Sutter, M. B., Estima, D., Polo, E. F., Coulter, J. T. (2012). Construção de Cenários: Apreciação de Métodos mais utilizados na Administração Estratégica. *Espacios*, Vol. 33 (8) 2012. p. 13.
- Villanueva, A. O. N., Viegas, J. S., Tröger, F. H. (2002). *Gestão Integrada de Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí / Cuareim (Brasil/Uruguai)*. Recompilação das Informações Básicas Existentes e Diagnóstico Preliminar (lado brasileiro). IPH/UFRGS, Global Water Partnership, Organização Meteorológica Mundial.

**ABORDAGEM SEMI-QUANTITATIVA PARA
MAPEAMENTO DE PERIGOS E RISCOS DE
ENXURRADA (FLASH FLOODING) EM ÁREAS
URBANAS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE
IBIÚNA (ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL)**
SEMI-QUANTITATIVE APPROACH FOR FLASH
FLOODING HAZARD MAPPING IN URBAN AREAS:
CASE STUDY AT THE CITY OF IBIÚNA
(SÃO PAULO STATE, BRAZIL)

Paulo Cesar Fernandes da Silva

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (Brasil)
Núcleo de Geociências, Gestão de Riscos e Monitoramento Ambiental
epcfsilva@sp.gov.br

Pedro Carignato Basilio Leal

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (Brasil)
Núcleo de Geociências, Gestão de Riscos e Monitoramento Ambiental
pedro.leal@sp.gov.br

Resumo: Fenômenos hídricos, como enxurradas e alagamentos, não são necessariamente vinculados ao regime fluvial, mas sim a deficiências da drenagem, em particular, à coleta e à condução das águas pluviais. O presente trabalho apresenta desenvolvimentos metodológicos voltados à determinação de escores numéricos para mapeamento de perigos (e riscos) provocados por processos de enxurrada, tendo como área piloto o Município de Ibiúna, situado na porção centro-leste do Estado de São Paulo (SE Brasil). Trata-se de uma abordagem numérica e semiquantitativa, que busca estimar os efeitos da energia cinética

das águas pluviais em áreas urbanas. Para tal, foram investigados os seguintes parâmetros: (a) declividade da área drenada; (b) condições de superfície (pavimentação ou não); (c) velocidades médias de escoamento superficial em função das declividades no trecho; (d) coeficientes de escoamento superficial, que consideram a densidade e o tipo da ocupação urbana, e o tipo de solo (arenoso ou argiloso) em trechos não pavimentados. Novos limiares e classes de perigo específicos para o processo de enxurrada foram estabelecidos. Resultados preliminares sugerem a adequação e aplicabilidade da abordagem ora apresentada.

Palavras-chave: Enxurradas, escoamento superficial, drenagem urbana, mudanças climáticas, adaptação.

Abstract: Phenomena such as flash flooding and ponding are not necessarily associated with river dynamics. The present paper presents methodological developments aimed to devise sets of numerical scores particularly suitable for flash flooding hazard mapping. The study area encompasses the municipality of Ibiuna (centre-eastern part of the State of São Paulo, Southeast Brazil). Such developments refer to a numerical and semi-quantitative approach designed to estimate the effects of kinetic energy related to *runoff* on urban areas. The investigation focused on the following parameters: a) slope gradients; b) land surface conditions (pavement or not); c) average flow velocities as a function of slope gradients; d) *runoff* coefficients based on type and density of land occupation and based on soil types (sandy or clayey) for non-pavement surfaces. Newer and specific flash flooding categories were proposed (including respective grades and lower-upper limits). Preliminary results suggest the suitability and applicability of the approach hereby presented.

Keywords: Flash floods, surface *runoff*, urban drainage, climate changes, adaptation.

Introdução

A urbanização crescente, somada à ausência de planejamento e ordenamento territorial, em países em desenvolvimento como o Brasil, são alguns dos fatores que têm agravado os efeitos das mudanças climáticas (Jha *et al.*, 2012; Sosnoski *et al.*, 2018; Canil e Moretti, 2020). Os riscos de inundações, decorrentes da ocupação urbana nas proximidades de cursos d'água, têm sido mapeados e avaliados de forma sistemática no Estado de São Paulo (Tominaga e Gramani, 2016; Ferreira *et al.*, 2020). Entretanto, certos fenômenos hídricos, como enxurradas e alagamentos, não são necessariamente vinculados ao regime fluvial, mas sim a deficiências da drenagem urbana, em particular, à coleta e à condução das águas pluviais (Brasil, 2007). A enxurrada é definida como o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, sendo comum a ocorrência de enxurradas ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d'água com significativo gradiente hidráulico e em terrenos com alta declividade natural (Amaral e Ribeiro 2009).

O presente trabalho apresenta desenvolvimentos metodológicos voltados à determinação de escores numéricos para mapeamento de perigos (e riscos) associados aos processos de enxurrada, tendo como área piloto o Município de Ibiúna, situado na porção centro-leste do Estado de São Paulo (SE Brasil). Trata-se de um método de aproximação, com abordagem semiquantitativa específica para este tipo de fenômeno, que busca estimar e incorporar os efeitos da energia cinética das águas pluviais, particularmente no cálculo da variável Perigo (por vezes também denominado por Suscetibilidade ou Ameaça). Vale assinalar que, a despeito da formação rápida do fenômeno e de seu alto poder destrutivo com grande potencial de danos e fatalidades, em geral, nos mapeamentos de risco, os fenômenos de enxurrada (flash flooding) têm sido tratados e analisados como um processo correlato, no âmbito dos processos fluviais de cheias e inundações (Lumbroso e Gaume, 2012).

O Município de Ibiúna localiza-se a 72 km da Cidade de São Paulo (capital do Estado), com uma área total de 1.060 km² e população de cerca de 80.000 habitantes (segundo censo 2021). O município está situado em posição geográfica adjacente à Região Metropolitana de São Paulo (limite geopolítico que engloba 39 municípios, inclusive a capital), sendo considerado uma estância turística, de características rurais,

tendo a agricultura como sua principal atividade econômica (fig. 1). Sua hidrografia tem como principais rios, o Una, o Sorocaba e o Sorocamirim, que fazem parte da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Possui uma topografia ondulada a relativamente acidentada, sustentada por relevos de morros altos, que segundo Ross e Moroz (1993) constituem o domínio geomorfológico denominado como Planalto Atlântico, sub-compartimento Planalto de Ibiúna e São Roque, onde o substrato rochoso local é composto predominantemente por granitos de textura variada (grossa, porfirítica, a termos mais finos e levemente inequigranulares) e, secundariamente por rochas metamórficas (gnaisses e migmatitos de textura bandada), com altitudes variando entre 800 e 1000 metros. No trecho urbano principal, onde estão situados a sede administrativa do município, núcleos residenciais mais consolidados, bem como a infraestrutura de comércio e serviços, destaca-se alternância de trechos de encosta com declividade média a alta (20 a 30 % ou superior) e trechos com topos aplainados, com cotas altimétricas entre 840 e 900 metros. Este contexto geomorfológico local é definido pela presença predominante de granitos no substrato rochoso. Contextos similares são observados em núcleos urbanos e residenciais menores (por vezes com maiores altitudes e declividades superiores a 30 %), que se localizam em bairros mais afastados da sede administrativa, tais como o distrito de Paruru e o bairro Ressaca (ambos a oeste). Estes locais, assim como outros núcleos residenciais, mais afastados do centro, configuram ocupações urbanas em consolidação, que se distribuem de forma relativamente esparsa e espaçada em meio a extensos trechos rurais.

Os mapeamentos de riscos a movimentos de massa, inundações e processos correlatos são realizados de forma sistemática no Estado de São Paulo, seguindo as diretrizes do Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos (Decretos Estaduais: Nº 57.512/2011 e Nº 64.673/2019). Os mapeamentos são executados principalmente por instituições do setor público (ou por empresas privadas mediante contratação), sendo voltados, em particular, às ações de defesa civil (prevenção, mitigação e resposta à emergência), bem como para orientar as autoridades locais (municipais) na gestão de seu território (planejamento regional e urbano). No caso da escolha do município de Ibiúna, para desenvolvimento do presente estudo, foram levados em consideração, não apenas os critérios geopolíticos e administrativos para execução de mapeamentos de risco, mas também o contexto

geológico-geomorfológico peculiar descrito anteriormente, que parece determinante para o significativo histórico de ocorrência dos processos de enxurrada nos trechos urbanos do município.



Fig.1 - Localização geográfica da área de estudo: 1) Município de Ibiúna; 2) Limite Municipal (Fonte dos dados cartográficos: ANA, 2010 e IBGE, 2022).

Fig. 1 - Geographic location of the study area: 1) Municipality of Ibiúna; 2) Municipal Limit (Source of cartographic data: ANA, 2010 and IBGE, 2022).

Dados e Metodologia

Mapeamento de Perigos e Riscos de Inundação e Processos Correlatos

Os mapeamentos de perigos e riscos procuram produzir informações sobre a probabilidade de ocorrência de inundações e processos correlatos, incluindo estimativas sobre a potencial magnitude e distribuição espacial dos fenômenos, e características tais como a profundidade a ser atingida pela água e potenciais danos (Dias *et al.*, 2015; FEMA, 2018, Brites *et al.*, 2020). No Brasil, e em particular no Estado de São Paulo, tomando como exemplo as abordagens utilizadas em Gramani

et al. (2004), Brasil (2007), e Mirandola *et al.* (2014), observa-se que a maioria dos estudos utiliza métodos qualitativos. De maneira geral, tais métodos fundamentam-se em evidências de campo e no registro de ocorrências, apoiados principalmente no relato de moradores e de agentes públicos (defesas civis municipais, em particular), culminando numa avaliação e estimativa dos perigos e riscos, com base em critérios predominantemente subjetivos e/ou na experiência profissional. Apesar de sua razoável eficácia para o gerenciamento de emergências e a convivência com situações de risco, verifica-se que os resultados desses mapeamentos de risco têm aplicação limitada para fins de planejamento e dimensionamento dos impactos econômicos e priorização de ações que requeiram intervenções estruturais (obras civis) voltadas à mitigação e remediação, o que é importante para os tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas.

Nesse sentido, alguns autores tem proposto a adoção de abordagens numéricas e/ou semi-quantitativas para estimar, mapear, e comunicar a suscetibilidade e/ou probabilidade de ocorrência de fenômenos hidrológicos/atmosféricos tais como enchentes, inundações e enxurradas, indicando também a possível severidade desses fenômenos, em termos de alcance (distribuição espacial e atingimento), assim como os potenciais danos materiais, socioeconômicos e ambientais (Sá e Vicêncio, 2011; Lumbroso e Gaume, 2012; Diakakis *et al.*, 2016; Sosnoski *et al.*, 2018). Segundo o Guia Metodológico para a Produção de Cartografia de Risco de Inundações (Dias *et al.*, 2015), a cartografia de perigosidade representa a delimitação de áreas onde a inundação pode ocorrer, desagregada por diferentes graus de probabilidade (baixo, médio e alto ou períodos de retorno), tendo associado informações sobre o tipo e a extensão da inundação, a profundidade e, onde seja pertinente, a velocidade e/ou direção das correntes relevantes. Frequentemente os mapas de perigosidade são subdivididos em mapas de profundidade de inundação e de fluxo e propagação de cheia. A metodologia e os estudos de caso apresentados no referido Guia, enfocam as cheias rápidas em bacias de pequena dimensão, e sugerem sua aplicabilidade para avaliação do risco de inundação em cenários de alterações climáticas. Tais aspectos (grau de probabilidade de ocorrência, profundidade alcançada pela água, direção do fluxo hidrodinâmico superficial, rapidez dos fenômenos e área drenada de pequenas dimensões) são pertinentes ao presente trabalho e levados em consideração para a avaliação dos processos de enxurrada.

Outro exemplo importante, que utiliza abordagem numérica, e que tem aderência aos objetivos do presente trabalho, são as cartas de severidade de processos de inundação e correlatos (Flood Severity Grid), produzidas pela Federal Emergency Management Agency (FEMA) dos Estados Unidos (fig. 2). As cartas representam o efeito combinado da profundidade (D – *depth*) alcançada pela água e da velocidade de escoamento (V – *velocity*) em relação a um ou mais eventos chuvosos, onde a severidade ou magnitude do(s) fenômeno(s), expressa numericamente, resulta do produto direto entre duas variáveis ($D * V$). Nesse sentido, é interessante notar, que o resultado deste produto ou significado do “flood severity” pode ser considerado o equivalente à variável Perigo, conforme discutido a seguir.

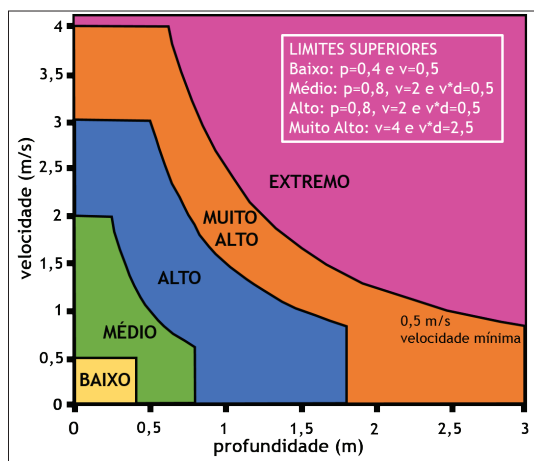


Fig. 2 - Classes de severidade de inundação. As classes representam numericamente o produto da profundidade vs. velocidade da água em um ou mais eventos chuvosos (Fonte: Adaptado de FEMA, 2018).

Fig. 2 - Flood Severity Grid. The classes numerically represent the product of the depth and velocity of the water in one or more rain events (Source: Adapted from FEMA, 2018).

Mais especificamente, no Estado de São Paulo, trabalhos anteriores envolvendo o uso de escores numéricos para estimar a probabilidade de ocorrência de inundações e processos correlatos (Fernandes da Silva *et al.*, 2011, 2014; Andrade *et al.* 2012) em termos de distribuição espacial e magnitude (Perigo), utilizam o método histórico-paleohidrológico de forma combinada, incorporando também elementos geológico-geomorfológicos e hidrológico-hidráulicos. Para reconstituir a extensão e a cota alcançada pelas águas em eventos pretéritos, a metodologia histórico-paleohidrológica emprega marcas deixadas em elementos artificiais (edificações, postes e torres de transmissão de energia elétrica, vias etc) ou naturais (taludes de

margem, vegetação, etc.), documentação histórica (manuscritos e impressos de arquivos, registros em jornais, bibliotecas, hemerotecas) e testemunhos (orais e audiovisuais). Assume-se que os níveis alcançados pela água no passado também poderão ser alcançados num futuro não muito distante. Na abordagem numérica semi-quantitativa, proposta pelos autores indicados acima, além da premissa e critérios do método histórico, são também combinados: a) as informações dos trabalhos de campo incluindo inventário fotográfico dos locais e observações diversas, tais como características, condicionantes e parâmetros morfométricos relacionados ao curso d'água, detalhes relacionados às intervenções no canal de drenagem e à ocupação territorial do entorno; b) interpretação e análise de mapas (geológicos, topográficos, cadastrais etc) e imagens (aéreas, ortofotos e de satélite) enfocando feições geomorfológicas locais e do canal de drenagem, bem como da infraestrutura urbana local (distribuição e organização da rede viária, existência ou não de pavimentação, redes de coleta de esgoto e águas pluviais). Para o cálculo da variável *Perigo*, utiliza-se a seguinte formulação: $P = NAt * Fc$, onde são considerados, os seguintes parâmetros: a) *NAt* – nível ou altura atingida pela água em determinado local e em determinado evento chuvoso; b) frequência ou número de ocorrências do fenômeno num mesmo local em determinado intervalo de tempo (10 anos); c) número de pontos de observação numa determinada área ou setor urbano (medições diretas em campo ou inferidas a partir de registros diversos incluindo mídia impressa, imagens, relatos). No caso, *NAt* (escalar, expresso em escores numéricos) é multiplicado por um fator de correção (*Fc*), variável (também escalar), conforme número de ocorrências e de pontos de observação no setor (itens b e c acima mencionados).

Todavia, tal formulação tem se demonstrado insuficiente ou inadequada quando aplicada aos processos de enxurrada, o que motivou a presente investigação e novos desenvolvimentos metodológicos. Nesse sentido, um dos objetivos específicos do trabalho foi o de identificar e estabelecer quais parâmetros e/ou fatores podem ser utilizados para incorporar de maneira mais efetiva a energia cinética (intrínseca ao fenômeno de enxurrada), ao cálculo da variável *Perigo*, como indicado na fórmula apresentada acima. Subordinadamente, os efeitos do relevo ou topografia do local (características do terreno), textura/mineralogia do solo e aspectos relacionados à

ocupação urbana (considerados como indutores ou potencializadores do perigo de ocorrência dos fenômenos de enxurrada), também devem ser levados em consideração. Cabe assinalar que, no caso de processos de enxurradas em trechos urbanos, as vias são os principais elementos em risco, envolvendo ainda pessoas e bens (p.ex. veículos), e subordinadamente, as edificações (habitações, comércio e serviços) situadas no entorno das vias e/ou no trajeto do fluxo hidrodinâmico.

Parâmetros e Abordagens para Avaliação e Mapeamento do Processo de Enxurrada

Em muitos lugares ao redor do mundo, e num cenário de mudanças climáticas, os fenômenos de enxurrada tem se apresentado como o mais destrutivo dos desastres naturais, causando uma quantidade significativa de danos e fatalidades. Na Europa, já no período entre 1950 e 2006, aproximadamente 40 % dos óbitos relacionados a eventos de cheias foram causados por enxurradas (Barredo, 2007). Mais recentemente, no Brasil, destacam-se três grandes eventos relacionados a cheias rápidas e fenômenos de enxurrada (com a concorrência de outros fenômenos, como corridas de massa - lama e detritos – e deslizamentos): Estados de Alagoas e Pernambuco em 2010, Itaoca no Estado de São Paulo em 2014 e Petrópolis no Estado do Rio de Janeiro em 2022 (Tominaga *et al.* 2011; Brollo *et al.* 2015; Alcântara *et al.* 2023). Em contrapartida, como já apontado por autores em nível internacional, a escassez de dados sobre os fenômenos de enxurradas (flash floods), e em particular, a falta de precisão de estimativas sobre descargas e vazões, velocidades de escoamento, e profundidades a serem atingidas pela água, tem sido um obstáculo para a melhoria dos sistemas de previsão e alerta de cheias rápidas e destrutivas, bem como ao planejamento e gerenciamento de emergência, seja em bacias hidrográficas situadas em áreas remotas, seja em bacias com trechos urbanizados e já sujeitos à impermeabilização, e mais especialmente em bacias (incluindo microbacias) totalmente urbanas (Costa e Jarret, 2008; Marchi *et al.* 2010; Lumbroso e Gaume, 2012; Diakakis *et al.*, 2016).

A abordagem aqui apresentada procura explorar e adaptar metodologias voltadas ao estudo de cheias e inundações, que em geral envolvem os regimes fluviais e as características de bacias hidrográficas, e metodologias e estudos hidrológicos

direcionados a projetos de dimensionamento e implantação de sistemas de drenagem urbana. Trata-se de um método de aproximação, com abordagem numérica e semi-quantitativa, que busca superar dificuldades como a escassez, descontinuidade e/ou inconsistência de dados de chuva, fluviometria e vazão, entre outros, o que sobremaneira impõe grandes limitações para avaliação das relações intensidade-duração-frequência dos eventos chuvosos, inviabilizando a determinação de parâmetros (importantes) como tempo de concentração, *runoff* e tempo de retorno. Todavia, como indicado em Lumbroso e Gaume (2012) e em FEMA (2018), parâmetros e/ou regras adicionais podem e devem ser utilizados para estimar indiretamente as descargas, vazões, e consequentemente a severidade dos processos de enxurrada (flash floods). Nesse sentido, no presente trabalho de investigação, são explorados alguns parâmetros associados ao terreno e procedimentos, tais como o uso de dados empíricos de declividade para estimar as velocidades de escoamento superficial nos trechos analisados, e a ponderação de potenciais vazões e volumes de *runoff* utilizando coeficientes de escoamento superficial tabulados e generalizados em literatura, e adotados por organizações de pesquisa e do poder público (ASCE, 1969, 1992; São Paulo, 1980; IPH/PMPOA, 2005; MPCA, 2008; McCuen, 2017), responsáveis pelo estudo, monitoramento, e alerta de eventos chuvosos, e bem como por projetos e implantação de sistemas de drenagem urbana, e de obras civis destinadas ao gerenciamento e controle de cheias.

Há que se observar que, diferentemente de estudos hidrológicos para manejo de bacias hidrográficas ou projetos hidráulicos em trechos urbanos, que procuram aferir, mensurar, ou estimar quantitativamente, parâmetros como vazão, descarga hidráulica, rugosidade, tempo de retorno de chuvas intensas, tempo de concentração, na maioria dos casos, empregando métodos com modelação matemática e/ou estatística, tais como método racional, o método do hidrograma unitário, e método do hidrograma unitário sintético, assim como técnicas de estimativa empírica com base na equação de Manning (São Paulo, 1980; Lumbroso e Gaume, 2012; Menezes Filho e Sá, 2019), os mapeamentos de perigo e risco de inundações e enxurradas, podem ser considerados como modelos de aproximação, destinados ao planejamento regional e urbano, orientações/restrições ao desenvolvimento em áreas sensíveis à ocorrência dos fenômenos,

prescrevendo intervenções estruturais (obras civis) de mitigação/remediação/adaptação em situações de risco já instaladas, bem como ações não estruturais (de defesa civil) para redução e convívio com o risco, inclusive de resposta à emergência (Tucci, 2005).

Dimensões da Bacia de Drenagem (Área Drenada sob análise)

Em bacias de drenagem localizadas em áreas urbanas, o conhecimento das percentagens de trechos permeáveis e impermeáveis é bastante importante. Quando a urbanização atinge uma bacia, a percentagem de sua área impermeável cresce, resultando em significativas mudanças da relação chuva-deflúvio. Em geral, a taxa de infiltração decresce, o deflúvio superficial direto (*runoff*) é incrementado, o tempo de concentração - T_c (tempo gasto para que todo o trecho drenado ou bacia contribua para o escoamento superficial na seção transversal considerada) diminui, e as descargas e vazões nas extremidades do trecho também aumentam substancialmente (São Paulo, 1980). A vazão máxima pode ser estimada com base na precipitação, por métodos que representam os principais processos da transformação da precipitação em vazão, dentre os quais, o método racional que engloba todos os processos em apenas um coeficiente de deflúvio ou escoamento superficial (C). O coeficiente de deflúvio ou escoamento superficial é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou relativo a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram.

O método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima para bacias pequenas ($\leq 2 \text{ km}^2$). O método considera a duração da precipitação intensa como sendo igual ao tempo de concentração. Ao considerar esta igualdade admite-se que a bacia é suficientemente pequena para que esta precipitação ocorra de maneira uniforme e contínua (em termos de intensidade e distribuição espacial no trecho em estudo) e que as condições de permeabilidade das superfícies permaneçam constantes durante toda a duração da chuva. O método ao adotar um coeficiente único de perdas (C), implica numa relação fixa para toda a área

de drenagem, estimado com base em determinadas características da bacia ou área de drenagem, e não avalia de forma detalhada ou específica o volume da cheia e a distribuição espacial de vazões. Por outro lado, sabe-se que o tempo de concentração pode variar significativamente em função da declividade do terreno, tipo de superfície ou material de cobertura do solo, capacidade de infiltração, e comprimento da superfície de escoamento, além de outros fatores. O método também não considera que, num tempo inferior a T_c , embora nem toda a área esteja contribuindo com escoamento superficial, a intensidade maior da precipitação pode sobrepujar este fato e causar uma vazão de escoamento superficial maior do que aquela com duração igual à T_c . Certamente estas condições diferem bastante da complexidade e da realidade, mas são premissas que se adotadas com as devidas ressalvas e precauções podem trazer resultados práticos quando aplicadas para um trecho restrito e a propósitos específicos. Em bacias de pequenas dimensões ou trechos urbanos restritos, predominantemente pavimentados e impermeabilizados (baixíssimas taxas de infiltração), as condições mais críticas ocorrem devido a precipitações convectivas que possuem pequena duração e grande intensidade. Notadamente em eventos chuvosos de grande intensidade e curta duração, a vazão de escoamento superficial é, em geral, muito superior ao tempo de concentração (T_c) da água na bacia/microbacia de drenagem (Tucci, 2014) ou, como no caso do presente estudo, onde os trechos ou setores analisados, envolvem uma única via, ou segmentos de uma via, ou ainda um conjunto limitado de vias.

Nesse contexto, no presente estudo, considera-se que as dimensões da área drenada a ser avaliada seja de 1-2 km², não devendo exceder 5 km². Acredita-se que dentro destes limites seja possível realizar estimativas com as seguintes condições: a) variação temporal da intensidade de chuva = constante; b) variação espacial da intensidade de chuva = constante; c) armazenamento das águas pluviais na rede de canais = desprezível; d) escoamento superficial = predominante em superfícies impermeabilizadas, onde parte significativa da precipitação é transferida ao escoamento superficial em terrenos e vias pavimentadas (asfalto e concreto). Por conseguinte, a investigação se abstém da utilização de parâmetros, tais como tempo de concentração (T_c) e o tempo de retorno da precipitação pluviométrica.

Profundidade da lâmina de água (Área Drenada sob análise)

A partir de dados e informações coletadas em trabalhos de campo na área estudo (fot. 1A e 1B), verificou-se que profundidade da lâmina d'água (NAt) atingida pelas águas pluviais, em fenômenos de enxurrada, nos trechos estudados situa-se abaixo de 0,7 metro. Nesse contexto adotou-se o uso de classes e limiares discretizados de 0,4 e 0,8 m e transformados em valores escalares de 0.1072 e 0.4226 respectivamente, como sugerido em Fernandes da Silva *et al.* 2014.



Fot. 1 - Trabalho de campo na área de estudo para coleta de informações de profundidade da lâmina d'água (NAt) atingida pelas águas pluviais em fenômenos de enxurrada: A) medida com trena métrica na parede com marca d'água ou informação de moradores; B) medida com trena métrica (0,5 metros) no pneu do carro quebrado estacionado há muito tempo no local de enxurrada com evidências de restos de vegetação e lixo trazidos pela enxurrada (Fotografia de Paulo Leal / Acervo IPA, tirada em 28/03/2022).

Photo 1 - Fieldwork in the study area to collect information on the depth of the water layer (NAt) reached by rainwater in flood events: A) measurement with a tape measure on the wall with a watermark or information from residents; B) measurement with a tape measure (0.5 meters) on the tire of a broken car parked for a long time at the flood site with evidence of vegetation remains and garbage brought by the flood
(Photograph by Paulo Leal / IPA Collection, taken on 28/09/2022).

Declividade e Velocidades de Escoamento Superficial

Considerando os objetivos específicos do presente trabalho, denota-se que a velocidade de escoamento superficial tem especial relevância para incorporação dos efeitos da energia cinética das águas pluviais na fórmula de cálculo da variável

Perigo associado aos processos de enxurrada. Depreende-se da literatura nacional e internacional, que a declividade e/ou inclinação da superfície onde ocorre o escoamento (juntamente com outros fatores, como o tipo de material de superfície e o comprimento linear do trecho drenado até o ponto de deságue, assim como o próprio volume de *runoff*) influenciam substancialmente as velocidades do escoamento superficial. Métodos para cálculo do tempo de concentração, vazões, volumes de *runoff*, e percentual de remoção de partículas de solo, tem sido baseados em experimentos laboratoriais e de campo que envolvem fórmulas empíricas elaboradas para estimar tanto a profundidade ou altura da lâmina d'água quanto as velocidades de escoamento superficial, a partir de correlações com a declividade do terreno e o tipo de superfície e/ou material de cobertura (Brasil, 2005; Mahtabi e Taran, 2017; Danacova *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2019; Menezes Filho e Sá, 2019; Li *et al.* 2020; Wu *et al.*, 2021; Qiu *et al.*, 2021).

Considerando a ausência de dados referentes às velocidades de escoamento superficial em cada local, bem como a inexequibilidade prática para sua obtenção, o presente trabalho procurou elaborar uma equação experimental de ajuste que permitisse estabelecer uma relação matemática para estimar as velocidades de escoamento a partir de sua correlação direta com a declividade do terreno nos trechos estudados. Para tal utilizou-se uma população de dados empíricos incluindo 243 medidas de ângulos de inclinação do terreno (em graus), correspondendo a segmentos de vias e/ou trechos urbanizados. Os dados de inclinação do terreno foram obtidos por três tipos de procedimentos distintos: a) medidas tomadas diretamente no terreno durante os trabalhos de campo (com uso de bússola Clar/clinômetro) - fot. 2A e 2B; b) uso de imagens (satélite) para obtenção da distância linear do trecho em superfície e da amplitude altimétrica, com subsequente derivação da inclinação a partir de relações trigonométricas (ver breve discussão a seguir); c) uso de Imagens (satélite) explorando a ferramenta perfil de elevação do aplicativo *Google Earth*, que permite a visualização e obtenção de dados gráficos de distância linear em superfície e em mapa, cotas altimétricas e inclinações máxima e média do trecho analisado (ver breve discussão a seguir).

Com relação aos procedimentos assinalados acima nos itens (b) e (c), verificou-se que a derivação da inclinação do terreno a partir de relações trigonométricas (onde, distância linear superfície = hipotenusa, amplitude altimétrica = cateto, ângulo de

inclinação = corresponde à função seno), apresenta maiores imprecisões quando comparada às medidas obtidas diretamente no terreno (item a). Tal fato deve-se às limitações para obtenção da amplitude altimétrica a partir da própria imagem, ou ainda, a partir de curvas de nível em formato digital, disponíveis apenas em intervalos de 5m e 20m (na área estudada). Por outro lado, os valores de inclinação do terreno derivados pela ferramenta perfil de elevação do aplicativo Google Earth demonstraram-se consistentes quando comparados com as medidas diretas no terreno, indicando a adequabilidade e praticidade do uso da ferramenta para fins de obtenção (indireta) dos ângulos de inclinação.



Fot. 2 - Trabalho de campo na área de estudo para coleta de informações de declividade (inclinação da via/trecho: A) Exemplo de via pavimentada com concreto, em área de expansão urbana pouco/média consolidada e sistema de drenagem ausente; B) Exemplo de via pavimentada com asfalto, em área urbana consolidada e sistema de drenagem precário (Fotografia de Paulo Leal / Acervo IPA, tirada em 18/10/2022).

***Photo 2** - Fieldwork in the study area to collect information on slope (inclination of the road/ section: A) Example of a road paved with concrete, in an area of little/medium consolidated urban expansion and absent drainage system; B) Example of a road paved with asphalt, in a consolidated urban area and precarious drainage system (Photograph by Paulo Leal / IPA Collection, taken on 18/10/2022).*

A investigação para derivação empírica de equação experimental com o intuito de estimar as velocidades médias de escoamento superficial em cada trecho, teve como ponto de partida os valores propostos em ASCE (1969), com base no método SCS - método cinemático, utilizados para cálculo do tempo de concentração (TABELA I). A opção pela tabela ASCE (1969) deve-se à relativa simplicidade e representatividade da abrangência relacionada aos diferentes tipos de terreno, sem a

necessidade de incorporação de um grande número de detalhes e especificações sobre as características intrínsecas do terreno e sobre o tipo de ocupação, como nas tabelas MPCA (2008) e McCuen (2017). Uma vez que a maioria dos trechos de área urbana do Município de Ibiúna, onde há registros de processos de enxurrada, referem-se a vias pavimentadas (asfalto ou concreto), este foi o enfoque principal de investigação. Sendo assim, o procedimento para representação matemática dos dados por uma função explorou os intervalos de valores de velocidades médias correspondentes ao tipo de terreno “pavimentos”, segregados em 4 intervalos discretos (categorias) de declividade conforme apresentado na TABELA I. Os valores de declividade apresentados na tabela em percentagens, foram convertidos em graus para fins de investigação e desenvolvimento da equação de ajuste, sendo gerados valores por grau de inclinação até um máximo de 25° (equivalente à declividade de 46,61 %).

TABELA I - Velocidades médias de escoamento superficial (em m/s) recomendadas para cálculo do tempo de concentração (Tc), com base na declividade do terreno.

TABLE I - Average runoff velocities (m/s) suggested for estimates on time of concentration (Tc), according to slope gradients.

Descrição do escoamento	Declividade (%)			
	0 - 3	4 - 7	8 - 11	> 12
Sobre terreno				
Florestas	0 – 0,5	0,5 – 0,8	0,8 – 1,0	> 1,0
Pastos	0 – 0,8	0,8 – 1,1	1,1 – 1,3	> 1,3
Áreas cultivadas	0 – 0,9	0,9 – 1,4	1,4 – 1,7	> 1,7
Pavimentos	0 – 2,6	2,6 – 4,0	4,0 – 5,2	> 5,2
Em canais				
Mal definidos	0 – 0,06	0,6 – 1,2	1,2 – 2,1	

Fonte: Adaptado de ASCE, 1969 / *Source: Adapted from ASCE, 1969.*

A escolha de uma função não é óbvia, razão pela qual procurou-se observar graficamente a tendência dos dados experimentais e explorando equações matemáticas que pudessem se ajustar a tal tendência. Tomando como referência e ponto de partida os intervalos e valores indicados na TABELA I (para pavimentos) foram investigadas as funções linear, logarítmica e exponencial. Um dos principais desafios foi o de compatibilizar os valores discretizados de classes de declividade e classes de velocidade, com a necessidade de derivar uma equação de ajuste para uma função supostamente (ou

desejavelmente) contínua e capaz de representar a correlação entre as duas variáveis. Para tal, mantiveram-se fixos os valores limiares superiores de cada intervalo de velocidade de escoamento (a saber, 2,6; 4,0 e 5,2 m/s) respectivos aos intervalos de declividade, e a partir disso foram gerados experimentalmente valores intermediários de velocidades de escoamento utilizando incrementos de 0,1° dentro de cada intervalo de inclinação do terreno. Após diversas simulações e análises, optou-se pela equação linear de ajuste (1) apresentada a seguir, que se demonstrou razoavelmente consistente com a tendência de distribuição dos dados empíricos respectivos ao presente estudo, e representativa para os graus de inclinação do terreno observados na área de estudo (variando de 1,3 a 23°). Todavia, cabe assinalar também a possibilidade de ajuste segmentado, utilizando diferentes tipos de função por trechos de inclinação, conforme segue: função linear para inclinação baixa até 4°; função exponencial para inclinação moderada até 7°; e função logarítmica para inclinação acima de 7°). Tal possibilidade poderá vir a ser corroborada em estudos de detalhe subsequentes, envolvendo um volume maior de dados obtidos em campo e contextos geográficos-geomorfológicos distintos.

$$y = 0,5965x + 1,3333 \quad (\text{Equação 1})$$

onde y corresponde à velocidade média de escoamento superficial estimada para o trecho estudado, e x representa o ângulo de inclinação do terreno (em graus) atribuído ao trecho.

Apresentamos os resultados obtidos para a derivação de velocidades médias de escoamento superficial, utilizando dados reais de inclinação dos trechos analisados, explorando equações experimentais de ajuste com as funções linear, logarítmica e exponencial (fig. 3), em que as velocidades médias de escoamento superficial foram estimadas a partir de dados reais de inclinação do terreno, com uso de equações experimentais de ajuste, funções linear, logarítmica e exponencial. No eixo horizontal são destacados os valores (dados de base) de inclinação do terreno (2°, 4° e 7°), obtidos por aproximação e convertidos em graus a partir de ASCE (1969), utilizados como referência no cálculo iterativo (em incrementos de 0,1°) dos valores intermediários para investigação da relação matemática entre as variáveis declividade e velocidade de escoamento superficial, e por conseguinte, para derivação de equações de ajuste que descrevessem a tendência dos dados experimentais.

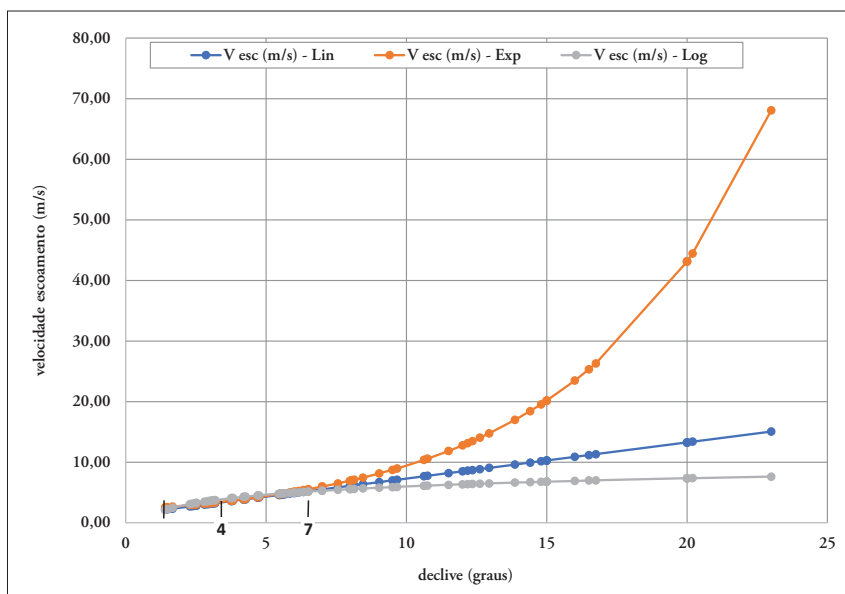


Fig. 3 - Gráfico de velocidades de escoamento superficial estimadas a partir da declividade.

Fig. 3 - Average runoff velocities estimated from empirical data on slope gradients.

Outrossim, como exemplificam os gráficos das fig.'s 4 e 5, é interessante notar que, tanto em experimentos laboratoriais como em experimentos de campo com dados empíricos, diferentes autores (Danacova *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2021; Qiu *et al.*, 2021) têm observado e demonstrado (com razoável consistência) a relação matemática linear entre as variáveis declividade, velocidade de escoamento superficial e profundidade da lâmina d'água, estudadas na presente investigação com o intuito de representar os efeitos da energia cinética das águas pluviais nos processos de enxurrada.

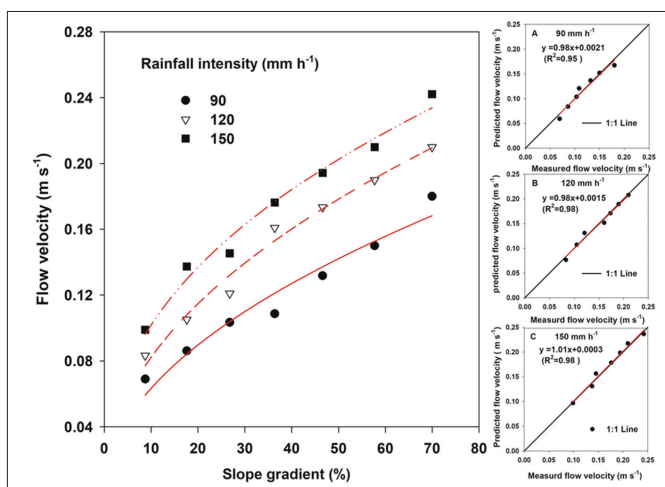


Fig. 4 - Resultados obtidos em experimento de campo. Influência do gradiente de declividade sobre a velocidade de escoamento sob 3 intensidades de chuva distintas (90 mm, 120 mm, 150 mm) (Fonte: Wu *et al.*, 2021).

Fig. 4 - Results obtained in field experiment. Influence of slope gradient on runoff velocity under 3 different rainfall intensities (90 mm, 120 mm, 150 mm) (Source: Wu *et al.*, 2021).

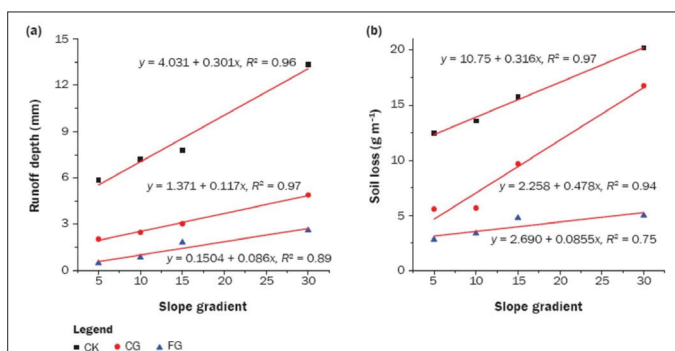


Fig. 5 - Relações entre declividade, profundidade da lâmina d'água e perda de solo. Resultados obtidos em experimento de campo no Loess Plateau, China. (a) Profundidade da lâmina d'água associada ao escoamento superficial (runoff). (b) Perda de partículas de solo para uma declividade de 30° (graus) durante evento de chuva natural (41 mm). Ensaios de campo envolvendo 3 tipos de cobertura de solo (mulching): sem mulching (CK); cascalho fino (FG); cascalho grosso (CG) (Fonte: Qiu *et al.*, 2021).

Fig. 5 - Relationships between slope gradient, runoff depth and soil loss. Results obtained in a field experiment on the Loess Plateau, China. (a) Depth of water layer associated with surface runoff. (b) Loss of soil particles for a 30° (degrees) slope during a natural rainfall event (41 mm). Field trials involving 3 types of soil cover (mulching): without mulching (CK); fine gravel (FG); coarse gravel (CG) (Source: Qiu *et al.*, 2021).

Coeficientes de Escoamento Superficial: densidade de ocupação e tipo de superfície

Do volume precipitado sobre uma bacia de drenagem, apenas uma parte atinge a seção de deságüe sob a forma de escoamento superficial, uma vez que parte da água é interceptada, outra preenche as depressões e outra infiltra-se no solo. O volume escoado representa, portanto, apenas uma parcela do volume precipitado. As quantidades (interceptadas, armazenada na superfície, infiltrada e escoada) podem variar consideravelmente de acordo com a intensidade e a duração da precipitação. O coeficiente de escoamento superficial (C) é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente (ou que atinge uma seção transversal de um curso d'água) e o volume de água precipitado por uma chuva isoladamente ou várias chuvas ocorridas num intervalo de tempo. Frequentemente os valores de C podem ser obtidos de tabelas elaboradas com base nas características da bacia hidrográfica (ou da área de drenagem).

No presente estudo foram adotados dois grupos principais de valores de coeficientes generalizados e tabelados em literatura nacional e internacional. Para trechos e vias sem pavimentação (com ou sem solo exposto, presença ou não de vegetação), utilizou-se a tabela de valores de C recomendados pela American Society of Civil Engineers (ASCE 1969), TABELA II, que pondera a influência de diferentes intervalos de declividade do terreno sobre o coeficiente de escoamento superficial, de acordo com o tipo de substrato (se predominantemente arenoso, se predominantemente argiloso), uma vez que o tipo de solo, por sua vez, afeta a taxa de infiltração da água. A tabela da ASCE é até hoje utilizada como referência por diferentes autores e instituições, com ou sem adaptações, complementações e/ou modificações. Para os trechos e vias pavimentados, utilizou-se a tabela de valores de C propostos pelo DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica (Estado de São Paulo) e Cetesb - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, e adotada pela Prefeitura de São Paulo, TABELA III, que toma como referências os valores propostos pela ASCE e outros, mas adota critérios específicos e práticos que levam em consideração a dinâmica territorial, em especial, a densidade de ocupação das áreas urbanas. Tal aspecto, com menores ou maiores limitações, procura

contemplar a influência dos trechos urbanos com características mais permeáveis e trechos de características de maior impermeabilidade. O uso de valores padronizados e tabelados de coeficientes de escoamento superficial pode ser considerado como um mecanismo indireto, proporcional e adimensional para ponderar os potenciais volumes de águas pluviais associados à energia cinética nos processos de enxurrada.

TABELA II - Coeficientes de escoamento superficial recomendados pela *American Society of Civil Engineers* (tipo de superfície e a declividade do terreno).

TABLE II - *Surface runoff coefficients recommended by the American Society of Civil Engineers (type of surface and slope of the terrain).*

Superfície	Intervalo	C valor esperado
PAVIMENTO		
asfalto	0,70 – 0,95	0,83
concreto	0,80 – 0,95	0,88
calçadas	0,75 – 0,85	0,80
telhado	0,75 – 0,95	0,85
COBERTURA: solo arenoso		
pequena declividade (2%)	0,05 – 0,10	0,08
média declividade (2 – 7%)	0,10 – 0,15	0,13
forte declividade (7%)	0,15 – 0,20	0,18
COBERTURA: solo argiloso		
pequena declividade (2%)	0,13 – 0,17	0,15
média declividade (2 – 7%)	0,18 – 0,22	0,20
forte declividade (7%)	0,25 – 0,35	0,30

Fonte de dados: Adaptado de ASCE, 1969, p. 51 / *Data source: adapted from ASCE, 1969, p. 51.*

TABELA III - Coeficientes de escoamento superficial com base na densidade de ocupação urbana. Valores adotados pela Prefeitura de São Paulo em projetos de sistema de drenagem urbana e obras hidráulicas destinadas ao gerenciamento e controle de cheias.

TABLE III - *Surface runoff coefficients based on urban occupation density. Values adopted by the City of São Paulo in urban drainage system projects and hydraulic works aimed at flood management and control.*

ZONAS	Valores de C
DE EDIFICAÇÃO MUITO DENSEA	
Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 – 0,95
DE EDIFICAÇÃO NÃO MUITO DENSEA	
Parte adjacente ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 – 0,70
DE EDIFICAÇÃO COM POUCAS SUPERFÍCIES LIVRES	
Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 – 0,60
DE EDIFICAÇÃO COM MUITAS SUPERFÍCIES LIVRES	
Partes residenciais com tipo Cidade-Jardim com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 – 0,50
DE SUBÚRBIO COM ALGUMA EDIFICAÇÃO	
Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções	0,10 – 0,25
DE MATAS, PARQUES E CAMPOS DE ESPORTES	
Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação	0,05 – 0,20

Fonte de dados/*Data source*: Wilken, 1978, p. 132, *apud* DAEE/Cetesb em São Paulo (1980), p. 146 e 147.

Fórmula de Cálculo do Perigo de Enxurrada (P_{enx})

Com a incorporação de parâmetros, conforme descrito nas seções anteriores, a saber, velocidade média estimada de escoamento superficial e coeficiente de escoamento superficial, o cálculo do Perigo (P_{enx}) relacionado ao processo de enxurrada é efetuado conforme a equação:

$$P_{enx} = Nat * V_{esc} * C * Fc \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

P_{enx} = Perigo de enxurrada

Nat (escalar) = nível de atingimento ou altura da lâmina d'água (observada ou inferida) durante processo de enxurrada;

V_{esc} = velocidade média estimada de escoamento superficial (em m/s) no trecho analisado;

C (escalar) = coeficiente de escoamento superficial (C) no trecho analisado;

Fc = fator de correção conforme frequência de ocorrência dos fenômenos de enxurrada no trecho analisado.

Os fatores de correção (Fc) visam ajustar os escores numéricos (de Perigo), obtidos após a operação (produto) envolvendo os escores referentes ao Perigo Preliminar (item 2 acima) e os coeficientes de escoamento superficial (item 3 acima), com base na frequência de ocorrência dos fenômenos de enxurrada. Foram definidos 3 limiares para aplicação de fatores de correção (Fc), tomando por referência um intervalo de 10 anos, conforme segue:

Fator de Correção (Fc)

1 ocorrência/10 anos	1,0000
até 2 ocorrências/10 anos	1,3325
mais de 2 ocorrências/10 anos	1,6323

As variações de declividade observadas ao longo da via, são determinantes para a segmentação (subdivisão) e escolha do trecho a ser analisado. Os procedimentos operacionais para o cálculo do Perigo (P_{enx}) envolvem os seguintes passos:

1. Num primeiro passo, os ângulos de inclinação medidos diretamente no terreno ou derivados a partir da imagem são utilizados na equação experimental (Equação 1) para estimar as velocidades médias de escoamento em cada trecho selecionado;

2. As velocidades estimadas para cada trecho sob análise são então utilizadas para computar o Perigo Preliminar, escores numéricos resultantes do produto entre a altura da lâmina d'água (NAt , escalar) e as velocidades estimadas (em m/s);
3. No procedimento seguinte, os escores numéricos correspondentes ao Perigo Preliminar em cada trecho são multiplicados pelos coeficientes de escoamento superficial, conforme critérios de tipo e densidade de ocupação (áreas pavimentadas total ou parcialmente) ou critérios relacionados ao tipo de solo e intervalos de declividade (áreas não pavimentadas, com ou sem vegetação), como apresentados na TABELA IV;
4. Aplicação (multiplicação) de fatores de correção aos escores numéricos obtidos no passo anterior (item 3), de acordo com a frequência de ocorrência dos fenômenos de enxurrada;
5. Classificação dos escores finais obtidos, para cada trecho analisado, de acordo com os graus e classes de Perigo de Enxurrada indicados a seguir;

TABELA IV - Valores de coeficientes de escoamento superficial (C) adotados no presente estudo*.

TABLE IV – *Table of runoff coefficients adopted in the present study.*

VIAS/TRECHOS/ÁREAS PAVIMENTADOS	Valores de C
OCUPAÇÃO ALTA DENSIDADE Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,825
OCUPAÇÃO MÉDIA DENSIDADE Parte adjacente ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,65
OCUPAÇÃO BAIXA DENSIDADE Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,55
OCUPAÇÃO BAIXA DENSIDADE COM SUPERFÍCIES LIVRES (30 A 50 %) Partes residenciais com tipo Cidade-Jardim com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,375
OCUPAÇÃO MUITO BAIXA DENSIDADE SUPERFÍCIES LIVRES (<30 %) Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções	0,225
ÁREAS VERDES/PARQUES Vias pavimentadas adjacentes a partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação	0,125
VIAS/TRECHOS/ÁREAS NÃO PAVIMENTADOS (TIPOS DE COBERTURA)	Valores de C
COM SOLO PREDOM. ARENENOSO E DECLIVE < 2°	0,08
COM SOLO PREDOM. ARENENOSO E DECLIVE 2 - 5°	0,13
COM SOLO PREDOM. ARENENOSO E DECLIVE > 5°	0,18
COM SOLO PREDOM. ARGILOSO E DECLIVE < 2°	0,15
COM SOLO PREDOM. ARGILOSO E DECLIVE 2 - 5°	0,20
COM SOLO PREDOM. ARGILOSO E DECLIVE > 5°	0,30

* Para vias e áreas pavimentadas (asfalto, concreto, calçadas): critérios por tipo e densidade de ocupação adotados pela Prefeitura de São Paulo. Para vias e áreas não pavimentadas (com ou sem vegetação, solo exposto): critérios relacionados ao tipo de solo (predominantemente arenoso ou predominantemente argiloso) combinados a intervalos de declividade em graus (inferior a 2°, de 2 a 5°, superior a 5°).

Fonte/Source: Modificado de/Modified from ASCE, 1969, Wilken, 1978 *apud* DAAE/Cetesb em São Paulo (1980).

Estudo e Definição de Limiares de Classes de P_{enx}

Para definição de novos limiares de Classes de Perigo, específicos para os processos de enxurrada, procedeu-se a uma avaliação estatística (descritiva e análise de curtose) dos escores numéricos obtidos para o Perigo Preliminar, bem como para os escores de Perigo (P_{enx}) anteriormente à aplicação de fatores de correção. Os dois conjuntos de escores numéricos foram analisados separadamente e também agrupados, com o intuito de compreender a distribuição dos dados, bem como parâmetros de tendência e dispersão. Após diversas tentativas e avaliações, optou-se por estabelecer os limiares inferiores e superiores das classes de Perigo com base na razão entre a média dos valores compreendidos entre os quartis dos dados agrupados e a variância da amostra. Neste procedimento, a amostra total dos dados agrupados foi segregada em quartis, e os valores determinados para cada quartil (em particular 1º, 2º e 3º quartis) foram utilizados como um primeiro limiar. Subsequentemente todos os valores compreendidos dentro dos limiares de cada quartil foram divididos pela variância da amostra total, e calculada a média destes valores respectivos ao quartil ponderados pela variância. Por fim, o valor de cada média por quartil foi utilizado para definir o limiar inferior e superior de cada classe de Perigo de Enxurrada, como apresentado a seguir. Cabe assinalar, que os valores de variância e desvio padrão para cada quartil ponderado, além da média, foram computados e utilizados de forma a assegurar a máxima separação entre cada uma das classes de Perigo propostas.:

P1 - Perigo Baixo: $P_{enx} \leq 0,3034$

P2 - Perigo Moderado: $0,3034 < P_{enx} \leq 0,6073$

P3 - Perigo Alto: $0,6073 < P_{enx} \leq 1,2209$

P4 - Perigo Muito Alto: $P_{enx} > 1,2209$

Resultados e Discussão

Um total de 9 (nove) áreas (bairros ou localidades, incluindo a área central do município), com registros de ocorrências de processos de enxurrada, foram

selecionadas para fins de investigação, desenvolvimentos metodológicos e aplicação prática, abrangendo um total de 55 vias, em sua maioria pavimentadas, no todo ou em parte. As áreas localizam-se na Zona 01 no trecho urbano central (onde está a sede administrativa do município), incluindo bairros Rosarial, bairros Laval I e II; na Zona 02 no bairro Ressaca e; Zona 03 no bairro Paruru (esses dois últimos situados a leste e a oeste respectivamente, e distantes até cerca de 25 km da sede administrativa do município), com tipos e densidades de ocupação distintas (fig. 6).

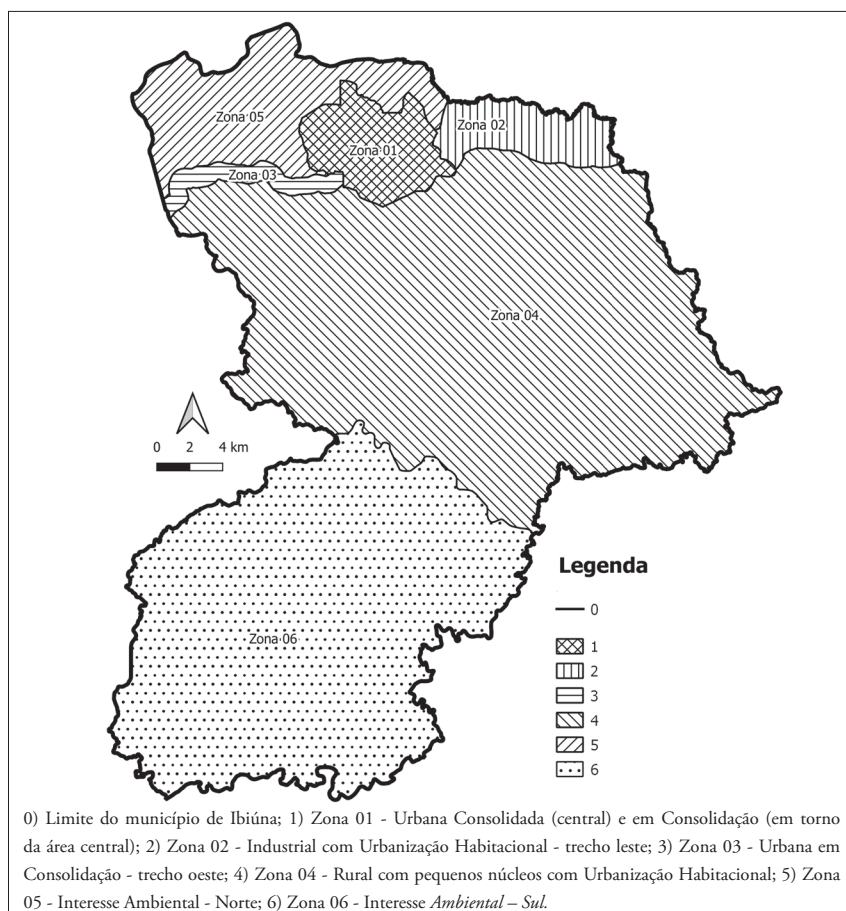


Fig. 6 - Zoneamento das cartas de risco de Áreas Residenciais / Comerciais / Serviços aos fenômenos geodinâmicos (Fonte dos dados cartográficos: IBGE, 2022 e IBIÚNA, 2016).

Fig. 6 – Risk zones in accordance with the Structural and Development Plan of the Municipality of Ibiúna (Source of cartographic data: IBGE, 2022 and IBIÚNA, 2016).

A TABELA V apresenta um resumo dos resultados obtidos com a aplicação da Equação (2) nos trechos (ou setores) sujeitos à ocorrência de processos de enxurrada (e com possibilidade de danos potenciais), localizados na área urbana central (denominada Centro/Rua dos Correios e entorno) e nos bairros Laval I e Laval II (situados a cerca de 1,5 km do centro). A tabela apresenta o conjunto de dados e parâmetros utilizados no cálculo do Perigo de Enxurrada (P_{enx}) para cada trecho avaliado incluindo: I) discriminação do trecho (nome da via/logradouro, identificado pela letra T e número, quando segmento da via); II) declividade (em graus); III) Nat (nível de atingimento ou altura da lâmina d'água - em formato escalar); IV) velocidade média estimada de escoamento superficial em função da declividade (em m/s) utilizando equação experimental; V) Perigo Preliminar ($P_{enx\ Prel}$) – resultante do produto $Nat * V_{escoamento}$; VI) valores resultantes do produto entre Perigo Preliminar e coeficientes de escoamento ($P_{enx\ Prel} * C$), de acordo com densidade de ocupação (vias/trechos/áreas pavimentadas) ou tipo de solo/declividade (vias/trechos/áreas não pavimentadas); VII) forma utilizada para obtenção da declividade do trecho; VIII) fator de correção (F_c) aplicado em função da frequência de ocorrência dos fenômenos de enxurrada; IX) Perigo de Enxurrada – valores finais resultantes após aplicação de fator de correção; X) Classificação final do Perigo de Enxurrada para o trecho analisado.

As células assinaladas com a cor amarela, na coluna VII (Declividade obtenção) correspondem a trechos não pavimentados, nos quais foram aplicados coeficientes C de acordo com o tipo predominante de solo e declividade (conforme indicado na TABELA IV), ou ainda trechos pavimentados cuja densidade de ocupação difere do contexto geral da via e/ou do entorno.

No que se refere à classificação do Perigo de Enxurrada para os 48 trechos analisados nas três áreas, os resultados apontam a existência de 10 trechos com perigo baixo P1 (20,8 %), 31 trechos com perigo moderado P2 (64,6 %), 4 trechos com perigo alto P3 (8,3 %) e 3 trechos com perigo muito alto P4 (6,25 %). Os trechos com perigo alto e muito alto estão concentrados na área urbana central, onde a frequência de ocorrência dos eventos de enxurrada supera o patamar de mais de duas ocorrências num intervalo de 10 anos, bem como a lâmina d'água alcançada nos eventos, de determinados trechos situados na Avenida Vereador João Benedito Mello Jr (conhecida como Rua dos Correios), localmente ultrapassa o limiar de 0,40 m.

TABELA V - Resultados do cálculo e estimativas do grau de Perigo em trechos sujeitos aos processos de enxurrada na área urbana central e bairros Laval I e Laval II.

TABLE V - General results, scores and estimated ranks for Flash Flooding Hazards. City centre and Laval I and Laval II districts.

Laval I por trechos	Decliv (graus)	NAt escalar	V _{esc} (m/s)	P _{enx} Prel	P _{enx} Prel * C med dens	Obtenção da declividade	Fator corr (Fc)	P _{enx} *Fc	Classe Perigo (P _{enx})
Rua Ramalho T1	5.67	0.1072	4.7152	0.5055	0.3286	Decliv med Google Earth	1.0000	0.3286	P2
Rua Ramalho T2	7.98	0.1072	6.0931	0.6532	0.4246	Decliv med Google Earth	1.0000	0.4246	P2
Rua 3 T1	4.27	0.1072	3.8801	0.4159	0.2704	Decliv med Google Earth	1.0000	0.2704	P1
Rua 3 T2	6.33	0.1072	5.1088	0.5477	0.3560	Decliv med Google Earth	1.0000	0.3560	P2
Rua 4 T1	5.6	0.1072	4.6734	0.5010	0.3256	Decliv med Google Earth	1.0000	0.3256	P2
Rua 4 T2	2.5	0.1072	2.8243	0.3028	0.1968	Decliv med Google Earth	1.0000	0.1968	P1
Rua 1 T1	3.07	0.1072	3.1643	0.3392	0.2205	Decliv med Google Earth	1.0000	0.2205	P1
Rua 1 T2	5.51	0.1072	4.6197	0.4952	0.3219	Decliv med Google Earth	1.0000	0.3219	P2
Rua 1 T3	3.82	0.1072	3.6116	0.3872	0.2517	Decliv med Google Earth	1.0000	0.2517	P1
Rua 2 T-W	5.85	0.1072	4.8225	0.5170	0.3360	Decliv med Google Earth	1.0000	0.3360	P2
Rua 2 T- E	2.38	0.1072	2.7527	0.2951	0.1918	Decliv med Google Earth	1.0000	0.1918	P1
Laval II por trechos	Decliv (graus)	NAt escalar	V _{esc} (m/s)	P _{enx} Prel	P _{enx} Prel * C med dens	Obtenção da declividade	Fator corr (Fc)	P _{enx} *Fc	Classe Perigo (P _{enx})
R Antonio Coelho Ramalho T1	5.55	0.1072	4.6436	0.4978	0.3236	Decliv med Google Earth	1.0000	0.3236	P2
R Antonio Coelho Ramalho T2	6.02	0.1072	4.9239	0.5278	0.3431	Decliv med Google Earth	1.0000	0.3431	P2
R Antonio Coelho Ramalho T3	5.45	0.1072	4.5839	0.4914	0.3194	Decliv med Google Earth	1.0000	0.3194	P2
Travessa Moraes T1	8.45	0.1072	6.3734	0.6832	0.4441	Decliv med Google Earth	1.0000	0.4441	P2
Travessa Moraes T2	10.63	0.1072	7.6738	0.8226	0.5347	Decliv med Google Earth	1.0000	0.5347	P2
R Alvaro C Camargo	8.14	0.1072	6.1885	0.6634	0.1990	*C esc solo argila s5° decliv	1.0000	0.1990	P1
R Guiomar Silva Ramalho	4.23	0.1072	3.8562	0.4134	0.2687	Decliv med Google Earth	1.0000	0.2687	P1
R Rosa Gonçalves da Silva	3.76	0.1072	3.5758	0.3833	0.2492	Decliv med Google Earth	1.0000	0.2492	P1
Rua D T1	9.24	0.1072	6.8447	0.7337	0.4769	Decliv med Google Earth	1.0000	0.4769	P2
Rua D T2	11.91	0.1072	8.4373	0.9045	0.5879	Decliv med Google Earth	1.0000	0.5879	P2
Rua D T3	1.81	0.1072	2.4127	0.2586	0.1681	Decliv med Google Earth	1.0000	0.1681	P1
R José Pereira L Fernandes	12.62	0.1072	8.8608	0.9499	0.6174	Decliv med Google Earth	1.0000	0.6174	P3
Centro / Rua dos Correios e Entorno	Decliv (graus)	NAt escalar	V _{esc} (m/s)	P _{enx} Prel	P _{enx} Prel * C med dens	Obtenção da declividade	Fator corr (Fc)	P _{enx} *Fc	Classe Perigo (P _{enx})
Av Ver João B. Mello Jr T1	2.91	0.1072	3.0688	0.3290	0.2138	* C esc Med Dens	1.6323	0.3490	P2
Av Ver João B. Mello Jr T2	3.15	0.1072	3.2120	0.3443	0.2841	Decliv med Google Earth	1.6323	0.4637	P2
Av Ver João B. Mello Jr T3	3	0.1072	3.1225	0.3347	0.2762	Decliv med Google Earth	1.6323	0.4508	P2
Av Ver João B. Mello Jr T4	1.47	0.4226	2.2099	0.9339	0.7705	medido no campo	1.6323	1.2576	P4
Av Ver João B. Mello Jr T5	1.4	0.4226	2.1681	0.9162	0.7559	medido no campo	1.6323	1.2339	P4
Av Ver João B. Mello Jr T6	2.29	0.4226	2.6990	1.1406	0.9410	medido no campo	1.6323	1.5360	P4
R Oswaldo Cruz	2.8	0.1072	3.0032	0.3219	0.2656	Decliv med Google Earth	1.6323	0.4335	P2
R Cristalino Rolim de Freitas	4.2	0.1072	3.8383	0.4115	0.3395	Decliv med Google Earth	1.6323	0.5541	P2
R João Vieira Ribeiro T1	3.78	0.1072	3.5878	0.3846	0.3173	Decliv med Google Earth	1.6323	0.5179	P2
R João Vieira Ribeiro T2	7.56	0.1072	5.8425	0.6263	0.5167	Decliv med Google Earth	1.6323	0.8434	P3
R João Vieira Ribeiro T3	1.67	0.1072	2.3292	0.2497	0.2060	Decliv med Google Earth	1.6323	0.3362	P2
R Lazara M. da Conceição T1	5.56	0.1072	4.6495	0.4984	0.3240	* C esc Med Dens	1.6323	0.5288	P2
R Lazara M. da Conceição T2	4.7	0.1072	4.1366	0.4434	0.0576	C solo aren 2 - 4° decliv	1.6323	0.0941	P1
R 15 de Novembro	4.75	0.1072	4.1664	0.4466	0.3685	Decliv med Google Earth	1.6323	0.6015	P2
R Cel Salvador R. de Freitas T1	2.95	0.1072	3.0927	0.3315	0.2155	* C esc Med Dens	1.6323	0.3518	P2
R Cel Salvador R. de Freitas T2	6.15	0.1072	5.0015	0.5362	0.4423	Decliv med Google Earth	1.6323	0.7220	P3
R Cel Salvador R. de Freitas T3	4.81	0.1072	4.2022	0.4505	0.3716	Decliv med Google Earth	1.6323	0.6066	P2
R Cel Salvador R. de Freitas T4	1.29	0.1072	2.1025	0.2254	0.1859	Decliv med Google Earth	1.6323	0.3035	P2
R Cel Salvador R. de Freitas T5	2.64	0.1072	2.9078	0.3117	0.2572	Decliv med Google Earth	1.6323	0.4198	P2
R Cel Salvador R. de Freitas T6	4.15	0.1072	3.8085	0.4083	0.3368	Decliv med Google Earth	1.6323	0.5498	P2
Tv Cerqueira Cesar	3.19	0.1072	3.2358	0.3469	0.2862	Decliv med Google Earth	1.6323	0.4671	P2
Tv Floriano Lima	2.52	0.1072	2.8362	0.3040	0.2508	Decliv med Google Earth	1.6323	0.4094	P2
Tv Martins Garcia	6.41	0.1072	5.1566	0.5528	0.4560	Decliv med Google Earth	1.6323	0.7444	P3
R Francisco de Barros T1	3.84	0.1072	3.6236	0.3884	0.3205	Decliv med Google Earth	1.6323	0.5231	P2
R Francisco de Barros T2	2.04	0.1072	2.5499	0.2733	0.2255	Decliv med Google Earth	1.6323	0.3681	P2

As imagens apresentadas nas fig.'s 5 e 6 correspondem aos trechos analisados e classificados quanto ao Perigo de Enxurrada, bem como as direções do fluxo hidrodinâmico superficial, nas três áreas aqui selecionadas para apresentação de resultados. A codificação de cores utilizada para representação dos diferentes graus de perigo nas imagens corresponde às cores e respectivas classificações apresentadas na TABELA V.

Conclusões

Os desenvolvimentos metodológicos apresentados no presente estudo, e os resultados obtidos na sua aplicação prática para caracterização e avaliação específica dos fenômenos de enxurrada no Município de Ibiúna, são bastante promissores. No entanto, devem ser considerados ainda preliminares, e portanto, tomados e utilizados com a devida precaução. Notadamente, a abordagem semi-quantitativa ainda está sujeita a aperfeiçoamentos, ajustes e modificações. Por exemplo, o uso da equação experimental para estimativa de velocidades médias de escoamento com base na declividade do terreno deve ser testado em aplicações em outras localidades e áreas geográficas, com contextos geológicos e geomorfológicos diferentes do estudo de caso aqui relatado. De forma similar, os limiares de classes de Perigo (*P_{enx}*) poderão ser revistos em função de novas aplicações práticas.

Novos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento poderão incorporar outros parâmetros e possibilidades no cálculo do Perigo de enxurrada. Dentre estes, o uso das dimensões de toda a área de drenagem, segregando a contribuição da área fonte (superfície das vias de proveniência das águas pluviais) e o comprimento linear do trecho onde efetivamente ocorre o escoamento superficial (em geral com características de fluxo turbulento devido à uma série de fatores ocorrentes na área urbana). O uso dessas dimensões pode vir a melhorar tanto as estimativas de velocidades médias de escoamento quanto estimativas de vazões e descargas hidráulicas no ponto de deságue do trecho/rua analisado, que na fórmula de cálculo proposta no presente trabalho, são ponderadas de maneira indireta, proporcional e adimensional pelo uso de valores tabelados de coeficiente de escoamento. Tal aspecto deve ser levando em conta, uma vez que o volume de água escoada pode

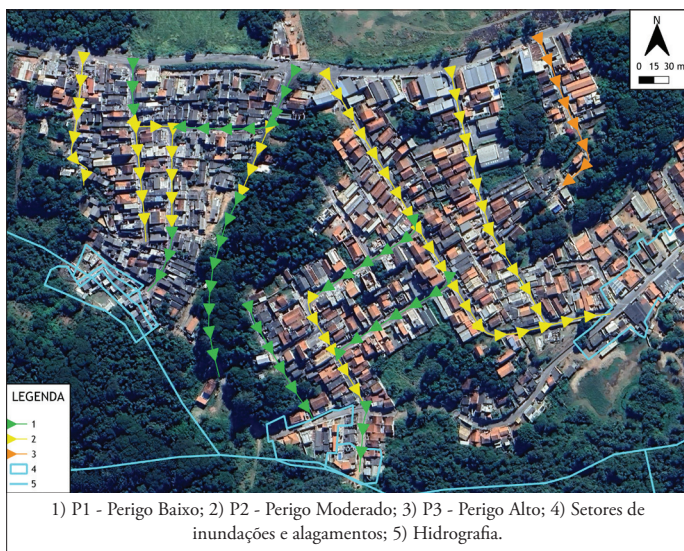


Fig. 8 - Mapa de Perigo de Enxurrada nos trechos e vias dos Bairros Laval I e Laval II (Fonte dos Dados Cartográficos: IBGE, 1981 e Google Satélite).

Fig. 8 - Flash Flooding Hazard Map for Laval I and Laval II districts (Source of Cartographic Data: IBGE, 1981 and Google Satellite).



Fig. 7 - Mapa de Perigo de Enxurrada nos Trechos de vias do Centro e entorno (Fonte dos Dados Cartográficos: IBGE, 1981 e Google Satélite).

Fig. 7 - Flash Flooding Hazard Map for City Centre and neighbourhood (Source of Cartographic Data: IBGE, 1981 and Google Satellite).

ser transferido, no todo ou em parte, para uma área de topografia mais plana com deficiências estruturais de drenagem e/ou depressão topográfica do terreno, configurando uma zona de alagamento. Em outros casos e locais específicos (observados no município de Ibiúna e em outros no Estado de São Paulo), o processo de enxurrada poderá ocorrer de forma simultânea com processos de inundação (vinculado ao regime fluvial), onde há o transbordamento das margens do curso d'água concomitantemente ao deságue do trecho sujeito à enxurrada, o que agrava sobremaneira os efeitos e os problemas, com consequente elevação local dos níveis de atingimento (*NAt*) ou elevação localizada da profundidade da água.

Outra possibilidade que merece ser melhor investigada para o cálculo do Perigo associado aos processos de enxurrada, diz respeito à presença e interferência de equipamentos de coleta e condução das águas pluviais, como canaletas, sarjetas, bueiros, e bocas de lobo. Estes equipamentos podem afetar (atenuar) os volumes e as velocidades do escoamento superficial, como apontado em Brasil (2005), IPH/PMPOA (2005), Tucci (2005,2014) e MPCA (2008). Como mencionado na introdução deste trabalho, não é incomum, que o processo de enxurrada e/ou o excesso de escoamento superficial das águas pluviais, ocorra de forma combinada ou possa ser decorrência da implantação de uma via sobre o curso de um córrego (na forma de galeria/tubulação subterrânea), ou ainda adjacente a um curso d'água com canalização aberta ou subterrânea. Tal aspecto poderá ser considerado com maior propriedade em futuros trabalhos com o intuito de aprimorar a abordagem metodológica aqui apresentada.

Por fim, cabe destacar, a aplicabilidade da variável Perigo de enxurrada (*P_{enx}*), na forma proposta no presente trabalho, no cálculo do Risco e do Dano Potencial, em futuros trabalhos de mapeamento de risco (a começar pelo próprio Município de Ibiúna), em função da análise de uso e ocupação do solo, onde são avaliados aspectos específicos quanto à vulnerabilidade das edificações e demais elementos em risco. De forma similar, o presente estudo e resultados obtidos demonstram sua aplicabilidade também nas áreas de Hidrologia Urbana, elaboração de políticas públicas e de gerenciamento de desastres.

Referências bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. PAÍSES. AMÉRICA DO SUL - ANA, BRASÍLIA (2010). Categoria: limites administrativos. Tipo de representação: vetor. Escala: 1:1.000.000. Sistema de referência de coordenadas: EPSG:SIRGAS 2000 (EPSG:4674). Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7cfd53c4-b4e1-4aba-a79b-857a19649df6/attachments/GEOFT_PAIS.zip, acesso em: 02 set. 2023.
- Alcântara, E., Marengo, J.A., Mantovani, J., Londe, L. R., San, R. L. Y, Park, E., Lin, Y.N., Wang, J., Mendes, T., Cunha, A. P., Pampuch, L., Seluchi, M., Simões, S., Cuartas, L.A., Gonçalves, D., Massi, K., Alvalá, R., Moraes, O., Souza Filho, C., Mendes, R.M., Nobre, C. (2023). Deadly disasters in southeastern South America: flash floods and landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio de Janeiro. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 23(3), 1157–1175.
- Amaral, R. e Ribeiro, R.R. (2009). Inundações e Enchentes. In: Tominaga, L.K., Santoro, J., Amaral, R. (eds.). *Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir* (39-52). São Paulo: Instituto Geológico, Imprensa Oficial do Estado.
- Andrade, E., Danna, L.C., Fernandes da Silva, P.C. (2012). Mapeamento de Perigos e Riscos de Inundação no Município de Aparecida (São Paulo). *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, Vol. 35 (2), 28-42. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2012_2_28_42
- ASCE – AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (1969). *Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers*. New York: Manuals and Reports of Engineering Practice, 37.
- ASCE – AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (1992). *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems, Manuals of Practice (MOP) MOP 77*. Prepared by the Task Committee of the Urban Water Resources Research Council of ASCE. Co-published by ASCE and the Water Environment Federation, 760 p.
- Barredo, J. I. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950-2005, *Journal of Natural Hazards*, 42 (1), 125-148
- BRASIL (2005). *Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), 2ª ed, 133 p.
- BRASIL (2007). *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Carvalho, C. S., Macedo, E.S., Ogura, A.T (orgs). Brasília: Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 176 p.
- Brites, A .P. Z., Tominaga, E. N, Barros, M. T. L., Conde, F. (2020). Methodology to Support Decisions for Flooding Control Measures in the City of São Paulo, Brazil. In: Ahmad, S. e Murray, R. (eds). *World Environmental and Water Resources Congress 2020*, ASCE, 261-298. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784482940>
- Brollo, M. J., Santoro, J., Rossini-Penteado, D., Fernandes da Silva, P. C., Ribeiro, R.R. (2015). Itaoca (SP): Histórico de acidentes e desastres relacionados a perigos geológicos. In: *Anais do XIV Simpósio de Geologia do Sudeste – Geodesastres 2015*. São Paulo: ABGE, CD-ROM, 5 p.
- Canil, K. e Moretti, R.S. (2020). Desafios para a articulação entre as cartografias de risco e o planejamento territorial. *Diálogos Socioambientais*, São Paulo, V.3, n.º 08, “Riscos e Desastres: compartilhando responsabilidades”, 19-23. URL: <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/dialogossocioambientais/issue/view/29>
- Costa, J. E. e Jarrett, R. D. (2008). An Evaluation of Selected Extraordinary Floods in the United States Reported by the U.S. Geological Survey and Implications for Future Advancement of Flood Science. *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2008-5164*, 232 p.
- Danacova, M., Vyleta, R., Valent, P., Hlavcova, K. (2017). The impact of slope gradients on the generation of surface runoff in laboratory conditions. In: *Proceedings of 17th International Multidisciplinary*

- Scientific GeoConference SGEM. Sofia: SGEM Scientific eLibrary, Hydrology and Water Resources, 677-684. DOI: <https://doi.org/10.5593/sgem2017/31/S12.085>
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Pallikarakis, A., Michalis Skordoulis, M. (2016). Factors controlling the spatial distribution of flash flooding in the complex environment of a metropolitan urban area. The case of Athens 2013 flash flood event. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 18, 171-180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.06.010>
- Dias, L., Braunschweig, F., Grosso, N., Costa, H., Garrett, P. (2015). *Guia Metodológico para a Produção de Cartografia de Risco de Inundações*. Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 38 p. Disponível em: <https://www.apseguradores.pt/Portals/0/doc/estudos/guia-risco-pt.pdf?ver=2019-03-07-120932-353> Acessado em 21 Ago. 2023.
- FEMA - FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (2018). *Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping. Flood Depth and Analysis Grids*. US Federal Emergency Management Agency (FEMA), Guidance Document 14. Disponível em <https://www.fema.gov/flood-maps/guidance-reports/guidelines-standards>, acesso em 01/12/2022.
- Fernandes da Silva, P. C., Andrade, E., Danna, L. C. (2011). Mapeamento de risco à inundação em municípios do Vale do Paraíba (SP): abordagem metodológica para delimitação e caracterização de setores de perigo. In: *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. São Paulo: ABGE, CD-ROM, 10 p.
- Fernandes da Silva, P. C., Andrade, E., Rossini-Penteado, D. (2014). Mapeamento de perigos e riscos de inundação: uma abordagem semi-quantitativa. *Revista do Instituto Geológico*, 35 (2), 13-38. DOI: <https://doi.org/10.5935/0100-929X.20140007>
- Ferreira, C. J., Fernandes da Silva, P. C., Vedovello, R., Rossini-Penteado, D. (2020). Avaliação de riscos geodinâmicos das Regiões Metropolitanas de São Paulo, Baixada Santista e Litoral Norte. *Diálogos Socioambientais*, São Paulo, V.3 , n.º 08, “Riscos e Desastres: compartilhando responsabilidades”, 31-35. URL: <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/dialogossocioambientais/issue/view/29>
- Gramani, M. F., Silva, F. C., Almeida Filho, G. S., Gouveia, M. I. F. (2004). Diagnóstico das inundações em áreas urbanas do Rio Paraíba do Sul e Mantiqueira, SP: Subsídios para o Plano de Contingência. In: *Anais do I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*. Florianópolis: GEDN/UFSC, 539-553.
- Huang, J., Kang, Q., Yang, J.X., Jin, P.W. (2019) Multifactor analysis and simulation of the surface runoff and soil infiltration at different slope gradients. In: *3rd International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2017)*.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022). Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais: Brasil e Estado de São Paulo. Rio de Janeiro. Categoria: limites administrativos. Tipo de representação: vetor. Escala: 1: 250.000. Sistema de referência de coordenadas: EPSG:SIRGAS 2000 (EPSG:4674). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=36516&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 02 set. 2023.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1981). São Roque: região sudeste do Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1981. 1 carta topográfica, color., 4465 × 3555 pixels, 5,50 MB, jpeg. Escala 1:50.000. Projecção UTM. Datum horizontal: marégrafo Imbituba, SC, Datum vertical: Córrego Alegre, MG. Folha SF 23-Y-C-V-2, MI 2792-2. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/mapas/GEBS%20-%20RJ/SF-23-Y-C-V-2.jpg>, acesso em: 09/09/2023.
- IBIÚNA. Lei 2129/2016. Institui revisão e os subsídios para o Plano Diretor da Estância Turística de Ibiúna. Disponível em: https://sapl.ibiuna.sp.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2016/1664/1664_texto_integral.pdf. Acesso em: 07/09/2023.
- IPH/PMPOA - INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS/PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE (2005). *Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre*. Tucci, C.E.M. e Villanueva, A.O.N.

- (coords.). Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS e Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 167 p. Disponível em: http://lproweb.procompa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima-versao.pdf, acessado em 31 Ago 2023.
- Jha, A. K., Block, R., Lamond, J. (2012). *Cidades e Inundações. Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI*. Washington, D.C., The World Bank, 49 p. (edição em português). URL: <http://www.gfdrr.org/gfdrr/urbanfloods>
- Li, X., Gao, J., Guo, Z., Yin, Y., Zhang, X., Sun, P., Gao, Z. (2020). A Study of Rainfall-Runoff Movement Process on High and Steep Slopes Affected by Double Turbulence Sources. *Scientific Reports* 10, 9001, 13 p. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66060-3>
- Lumbroso, D. e Gaume, E. (2012). Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges. *Journal of Hydrology*, Vol. 414-415, 16-30.
- Mahtabi, G. e Taran, F. (2017). Investigating the Effect of Slope on Runoff Coefficient of Surfaces with Different Materials under Natural Rainfall. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* No. 1, Vol. 11, 35-45. URL: https://idj.iaid.ir/article_79424.html?lang=en
- McCuen, R. H. (2017). *Hydrologic Analysis and Design*. Pearson Publishers, 4th edition, 833 p.
- Menezes Filho, F. C. M., Sá, R. A. (2019). Estudo comparativo entre equações empíricas e o método da velocidade estimada no tempo de concentração. *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 15 (1), 221-244.
- MPCA – MINNESOTA POLLUTION CONTROL AGENCY (2008). *Minnesota Stormwater Manual*. St. Paul, MN: Minnesota Pollution Control Agency, Version 2, 885 p. Disponível em: <https://www.pca.state.mn.us/business-with-us/minnesota-stormwater-manual>, acessado em 30 Ago 2023.
- Mirandola, F. A., Macedo, E. S., Gramani, M. F., Corsi, A. C., Canil, K. (2014). Mapeamento e gerenciamento de áreas de risco de deslizamento e solapamento de margem no município de Santo André, SP. In: *Anais do I Seminário Nacional sobre Urbanização de Favelas*. São Bernardo do Campo: UFABC, 16 p.
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, Volume 394, Issues 1-2, 118-133.
- Qiu, Y., Lu, W., Wang, X., Wang, Y., Li, J., Xie, Z. (2021). Runoff and soil and nutrient losses from gravel mulching: A field experiment with natural rainfall on the Loess Plateau of China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 76 (4), 359-368. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.2021.00084>
- Sá, L. e Vicêncio, H. (2011). Risco de Inundações: Uma metodologia para sua cartografia. *Territorium - Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança*, n.º 18 "Afirmar as Ciências Cindinicas". Editor: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, ISSN: 0872-8941, Coimbra 227-230. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_18_20
- SÃO PAULO (1980). *Drenagem Urbana: Manual de Projeto*. Fujita, O., Câmara, F.A., Assae, S. (coords.). São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 492 p.
- Sosnoski, A. S. K. B., Barros, M. T. L., Conde, F., Pion, S., Uemura, S. (2018). Defining Real-Time Flood Alerts with Multicriteria Analysis. In: *World Environmental and Water Resources Congress 2018*, ASCE, 30-37. DOI: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784481431.004>
- Ross, J. L. S. e Moroz, I. C. (1996). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. *Revista Do Departamento De Geografia. FFLCH/Universidade de São Paulo*, V.10, 41-58. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004>
- Tominaga, L. K., Ferreira, C. J., Souza, C. R. G., Andrade, E., Pressinotti, M. M. N., Fernandes da Silva, P. C., Mendes, R. M., Ribeiro, R. R. (2011). Desastres Naturais que atingiram o Estado de Alagoas

- em Junho de 2010. In: *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. São Paulo: ABGE, CD-ROM, 10 p.
- Tominaga, I. K. e Gramani, M. F. (2016). Identificação e Mapeamento de Riscos de Desastres Naturais. In: Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil de São Paulo, *Redução de riscos de desastres: uma construção de resiliência local* (69-93). São Paulo, Imprensa Oficial do Estado.
- Tucci, C. E. M. (2005). *Gestão de Águas Pluviais Urbanas*. Ministério das Cidades, Global Water Partnership - World Bank, Unesco, 269 p.
- Tucci, C. E. M. (2014). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 4ª Edição, 943 p.
- Wilken, P. S. (1978). *Engenharia de drenagem superficial*. São Paulo: Cetesb - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 478 p.
- Wu, B., Li, L., Xu, L., Wei, X., Li, X. (2021). The influence of slopes on interrill erosion processes using loessial soil. *Journal of Soils and Sediments*, 21, 3672–3681.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-021-03018-6>

**A RELAÇÃO ENTRE OS DESASTRES NATURAIS E
AS DESPESAS EMPENHADAS EM DEFESA CIVIL NO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA: UM ESTUDO DE CASO
NA BACIA DO RIO MARANGUAPINHO (2006-2020)**

**THE RELATIONSHIP BETWEEN NATURAL
DISASTERS AND EXPENDITURE ON CIVIL DEFENSE
IN THE CITY OF FORTALEZA: A CASE STUDY IN
THE MARANGUAPINHO RIVER BASIN (2006-2020)**

Lília Narcizo

Universidade Estadual do Ceará (Brasil)
Departamento de Física - Mestrado Profissional em Climatologia
ORCID: 0009-0006-5872-1785 lilinhasousa@gmail.com

José Brabo

Universidade Estadual do Ceará (Brasil)
Departamento de Física - Mestrado Profissional em Climatologia
ORCID: 0000-0001-6541-9855 jose.brabo@uece.br

Emerson Mariano

Universidade Estadual do Ceará (Brasil)
Departamento de Física - Mestrado Profissional em Climatologia
ORCID: 0000-0002-9131-9820 emerson.mariano@uece.br

Resumo: Os desastres naturais atingem a população urbana conforme sua fragilidade ambiental e social, inter-relacionados com sua organização e ocupação espaço-territorial. A pesquisa analisou a relação entre os desastres naturais, do tipo inundações e alagamentos da área periférica a bacia do Rio Maranguapinho, e o orçamento destinado à defesa civil de Fortaleza. Os objetivos específicos foram: analisar a variabilidade pluviométrica em Fortaleza e suas relações com as inundações e

alagamentos da bacia estudada; analisar as despesas empenhadas em defesa civil e identificar o seu comportamento em relação às ocorrências de inundações e alagamentos na região, no período de 2006 a 2020. A metodologia adotada foi bibliográfica e documental, com análise quantitativa dos dados obtidos junto à FUNCEME, à COPDC e à SEFIN de Fortaleza. Obteve-se como resultados que os eventos de inundações estão relacionados às chuvas leves e fracas, e de alagamentos associados às chuvas moderadas e fortes. No orçamento verificou-se uma gestão voltada à resposta e à recuperação, devido às despesas empenhadas se concentrarem no período de março a junho.

Palavras-chave: Inundações, alagamentos, desastres, orçamento público.

Abstract: Natural disasters affect the urban population according to their environmental and social fragility, interrelated with their organization and spatial-territorial occupation. The research analyzed the relationship between natural disasters, such as floods and flooding in the area peripheral to the Maranguapinho River basin, and the budget allocated to Fortaleza's civil defense. The specific objectives were: to analyze rainfall variability in Fortaleza and its relationships with floods and flooding in the studied basin; analyze the expenses committed to civil defense and identify their behavior in relation to the occurrences of floods and flooding in the region, in the period from 2006 to 2020. The methodology adopted was bibliographic and documentary, with quantitative analysis of data obtained from FUNCEME, COPDC and SEFIN in Fortaleza. The results showed that floods events are related to light and weak rain, and flooding is associated with moderate and heavy rain. In the budget, there was a management focused on response and recovery, due to the committed expenses being concentrated in the period from March to June.

Keywords: Floods, flooding, disasters, public budget.

Introdução

Os eventos naturais intensos, sejam eles graduais ou bruscos, podem se tornar perigosos às sociedades, devido aos prejuízos e danos que causam de ordem humana, material, ambiental e econômica.

O relatório anual do Centro de Pesquisas em Epidemiologia de Desastres – CRED, ligado à Universidade Católica de Louvain, na Bélgica, do ano de 2018, revelou a ocorrência de 315 desastres no mundo; dos quais resultaram em 11.804 vidas ceifadas, 68,5 milhões de pessoas afetadas e prejuízos orçados em 132 bilhões de dólares (Catanho, 2020). O mais interessante sobre o estudo, foi o levantamento de desastres pelo mundo de 2008 a 2018, onde se destacou que o maior número de desastres tem relação com a climatologia, a hidrologia e a meteorologia.

No Brasil, nos últimos dez anos, os desastres naturais causaram cerca de R\$ 401,3 bilhões em prejuízos, conforme levantamento feito pela Confederação Nacional de Municípios (Agência Brasil, 2023). A supressão de ecossistemas, desencadeada pelo crescimento urbano desenfreado, é um dos principais fatores de redução da resiliência das cidades, deixando-as mais vulneráveis aos problemas atuais e futuros, que já são e poderão ser acentuados pelas mudanças climáticas. Zanella *et al.* (2009, p.193) acrescenta que as populações de menor poder aquisitivo sofrem um ônus desproporcional com relação aos impactos provenientes de um desastre natural:

“O acesso às condições sociais de reprodução da sociedade não ocorre de forma homogênea, existindo espaços de interesse econômico, de conforto material, de condições ambientais, de reprodução material ou simbólica e de distinção social, que são apropriadas diferentemente. Os grupos sociais de maior renda ocupam os ambientes de amenidades sociais e ambientais e com melhor infraestrutura e serviços, enquanto que os de menor poder aquisitivo, os mais vulneráveis, tendem a localizar-se nas chamadas áreas de risco, ou seja, áreas de maior exposição à situações insalubres (contaminação de água, do solo, e do ar) e inseguras (riscos de acidentes de diversos tipos)” (Zanella *et al.*, 2009, p.193).

Assim, para serem realizadas as atividades de prevenção e preparação para redução ou mitigação dos desastres é necessário que as esferas federal, estadual e municipal

organizem os seus orçamentos haja vista a necessidade de implantação de uma infraestrutura que possibilite adaptar as comunidades às situações climáticas adversas.

No Brasil, as ações de gestão de riscos e de desastres são coordenadas pelo Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, através de órgãos públicos e privados vinculados nas esferas Federal, Estadual e Municipal, e desenvolvem-se de acordo com as condições sociais, econômicas, políticas e culturais.

Conforme dados extraídos do Relatório de Ocorrências da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil, Fortaleza hoje possui 89 áreas de riscos geográficos e sociais, mapeados por perímetros de percepção de riscos, que envolvem aproximadamente 24.000 famílias diretamente atingidas por alguma ação natural ou antropogênica de forma mais intensa e severa, já que nessas áreas não há infraestrutura adequada e as habitações nelas instaladas estão mais sujeitas aos efeitos de eventos adversos.

Em 2012, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), empresa governamental ligada ao Ministério de Minas e Energia, elaborou um documento identificando 25 áreas de alto e muito alto risco de movimentos de massa e de enchentes em Fortaleza, das quais 11 áreas reconhecidas envolvem os eventos de enchentes e inundações, afetando 16 bairros da capital cearense, banhados pelo Rio Maranguapinho, podendo afligir a um somatório de 8.520 (oito mil, quinhentos e vinte) imóveis e 35.080 (trinta e cinco mil e oitenta) pessoas. Desta forma, podemos aferir que a maior parte dos eventos de desastres associados a inundações em Fortaleza estão relacionados à Bacia do Rio Maranguapinho.

O objetivo geral da pesquisa é analisar a relação entre a variabilidade climática (com ênfase na pluviometria), os registros de ocorrências de inundações e alagamentos (área da bacia do Rio Maranguapinho) e as despesas empenhadas destinadas à Defesa Civil, em Fortaleza, no período entre os anos de 2006 a 2020. Os objetivos específicos são: apresentar o comportamento da variabilidade pluviométrica de Fortaleza no período de 2006 a 2020; analisar a relação entre as precipitações e os registros de ocorrências de inundações e alagamentos na região banhada pela bacia do Rio Maranguapinho em Fortaleza; analisar o orçamento municipal de Fortaleza, com foco nas despesas empenhadas voltadas para Defesa Civil; identificar a relação entre os registros de ocorrências de alagamentos e inundações e as despesas empenhadas em Defesa Civil no município de Fortaleza.

A pesquisa inicialmente revisa temas importantes para o profundo entendimento do assunto abordado. No capítulo materiais e métodos, explica-se como o estudo foi desenvolvido e as formas utilizadas para encontrar os resultados, que são apresentados no capítulo posterior através de discussões desenvolvidas acerca do assunto, ilustradas por meio figuras e gráficos, e por fim, discorre-se a conclusão e as perspectivas de trabalhos futuros.

Revisão Da Literatura

Desastres Naturais

A origem dos desastres naturais remete à própria sedentarização do homem, que, antes nômade, passou a fixar-se em espaços naturais com potencial de desenvolvimento de atividades essenciais para sobrevivência humana (Marcelino, 2008). Solos férteis, com recursos hídricos disponíveis, eram ambientes ideais para a agricultura, iniciando, assim, a ocupação das planícies fluviais e vertentes úmidas. Todavia, estes espaços também apresentam uma dinâmica natural singular, o que em determinadas situações pode expor a população, provocando danos sociais, econômicos e ambientais, principalmente com o crescimento das sociedades urbanas e a ocupação do solo de forma irregular e desenfreada, sem o devido reconhecimento das limitações do meio ambiente aliado a falta de ações do Poder Público e da sociedade civil na gestão do espaço (Olímpio, 2013).

Essa abordagem socioambiental apresentada indica um referencial sistêmico, holístico e complexo dessa relação entre a sociedade e o meio ambiente, contribuindo para uma nova perspectiva sobre riscos e desastres naturais.

Para Almeida (2011), risco é a percepção de um indivíduo ou grupo de indivíduos da probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente perigoso e causador de danos, cujas consequências são uma função da vulnerabilidade intrínseca desse indivíduo ou grupo. Nunes (2011) conceitua como a probabilidade de consequências danosas a partir da interação entre um evento deflagrador, natural ou não, e as condições de vulnerabilidade da população que, por sua vez, revelam o quanto um

sistema social é (in)capaz de enfrentar e/ou superar mudanças inesperadas, com rupturas nos seus modos de vida desencadeados pelos impactos socioambientais.

O risco não existe enquanto um objeto material, mas é apenas uma noção abstrata de ser vulnerável a um determinado perigo que pode ou não ocorrer no futuro, e nunca no presente. Já o desastre refere-se à própria materialização daquele, dada por uma série de impactos que põe em evidência a magnitude de um perigo e a sua relação com a vulnerabilidade socioambiental presente (Olímpio, 2013). Desastre, então, indica: acidente funesto ou infausto; fatalidade; revés grave (Ruth; Pires, 2001).

A Instrução Normativa nº 01 de 24 de agosto de 2012, do Ministério da Integração Nacional, que orienta as ações preventivas e de proteção e defesa civil no Brasil, define desastre como:

“[...] resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excede a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios [...]” (BRASIL, 2012).

Para Nunes (2015), os desastres são processos e produtos da interação conflituosa entre uma organização social e processos naturais, revelando desequilíbrio brusco e significativo entre o sistema natural, contrariamente ao sistema social. Os impactos derivados dependem da vulnerabilidade da população e podem representar forte modificação e até ruptura das funcionalidades do território, se configurando como o ápice de um processo contínuo.

A Secretaria Nacional de Defesa Civil classifica os desastres em naturais, humanos ou antropogênicos e mistos, estando a diferença entre eles relacionada ao nível de intervenção da sociedade no desencadeamento do fenômeno produtor do desastre. No Brasil, desde 2012, foi adotada a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), na qual estão tipificados todos os eventos que podem ser considerados desastres no país, sendo estabelecido através da Instrução Normativa nº 02/2016, do Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2016), a classificação dos desastres pela origem como naturais ou tecnológicos.

Lima (2020) explica que os desastres denominados naturais são originados por processos ou fenômenos naturais e efetiva-se em virtude dos riscos preexistentes na sociedade. Já os denominados tecnológicos são causados por condições tecnológicas ou industriais, incluindo falhas humanas e problemas de infraestrutura (QUADRO I).

QUADRO I – Classificação de Desastres quanto a origem segundo a COBRADE.

FRAME I - Classification of Disasters by origin according to COBRADE.

NATURAIS	TECNOLÓGICOS
Geológico	Desastres relacionados a substâncias radioativas
Hidrológico	Desastres relacionados a produtos perigosos
Meteorológico	Desastres relacionados a incêndios urbanos
Climatológico	Desastres relacionados a obras civis
Biológico	Desastres relacionados a transporte de passageiros e cargas não perigosas

Fonte: Adaptado do Anexo 05 da Instrução Normativa nº 02 de 2016/

Source: Adapted from Annex 05 of Normative Instruction No. 02 of 2016.

Monteiro (2016) considera que os desastres naturais estão diretamente relacionados à vulnerabilidade e à resiliência da sociedade a tais fenômenos, tendo o aumento da frequência de ocorrência em virtude do crescimento da população, que por sua vez passa a habitar áreas consideradas de risco (próximo às margens de rios e lagoas, encostas íngremes, etc.) e que antes não eram “palco” da ocorrência de desastre naturais.

Assim, sobre os desastres naturais, podemos dizer que é a consequência negativa da interação de uma série de variáveis, controláveis ou não, envolvendo riscos, ameaças e vulnerabilidades que podem ser organizados e administrados de forma a prevenir, controlar, minimizar ou reduzir os impactos avassaladores de suas ocorrências.

Nessa perspectiva, o desastre natural não é o próprio evento natural, mas o resultado da combinação entre risco ambiental e vulnerabilidade, que se efetiva em função do desajuste entre a organização territorial, com suas formas de uso e ocupação, e o funcionamento do sistema natural, com seus eventos extremos, que se caracterizam por excederem a capacidade normal da sociedade de suportá-los ou recuperar-se deles (Lima, 2018).

Gestão de riscos e de desastres

Partindo do entendimento da inevitabilidade das ocorrências de eventos naturais, desde 2010 a ONU lançou a campanha mundial “*Construindo Cidades Resilientes*”, com o objetivo de alertar os governos e a sociedade sobre a necessidade de preparar as cidades para o contexto dos desastres. De acordo com a ONU, as cidades resilientes serão capazes de “[...] *resistir, absorver, adaptar-se e recuperar-se dos efeitos de um perigo de maneira tempestiva e eficiente, através, por exemplo, da preservação e restauração de suas estruturas básicas e funções essenciais*”.

Em 2012, o governo brasileiro aprovou a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelecida por meio da Lei 12.608, a qual prevê que as ações de proteção e defesa civil sejam organizadas pelas ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação. O conjunto dessas ações é um processo contínuo, integrado, permanente e interdependente, configurando uma gestão totalmente integralizada. Essa política também determinou aos entes a adoção das medidas necessárias à redução dos riscos de desastre, além de estabelecer as diretrizes e os objetivos de uma nova abordagem sistêmica focada em prevenção e preparação, ações não reativas, no lugar de ações orientadas somente à emergência.

A mais recente norma que trata do conceito de defesa civil, a Instrução Normativa nº 02/2016, do Ministério da Integração Nacional (MI), já incorpora o termo “proteção”, no sentido de destacar o caráter integral e preventivo das ações instituídas pela PNPDEC, como segue: “*Proteção e defesa civil: conjunto de ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação destinadas a evitar desastres e minimizar seus impactos sobre a população e a promover o retorno à normalidade social, econômica ou ambiental*” (BRASIL, 2016).

A gestão de risco e a gestão de desastre abrangem momentos situacionais diferentes, pois a primeira refere-se a prevenção e a preparação anterior ao evento acontecer, e a segunda indica as ações de resposta durante a ocorrência e a recuperação após o evento desastre. Contudo, há uma interseção momentos antes do desastre acontecer entre ambas as gestões, referente ao momento de conhecimento do perigo iminente (fig. 1).

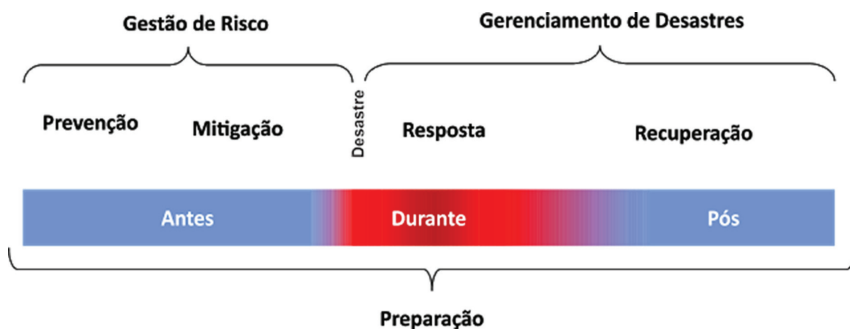


Fig. 1 - Momentos e Ações de gestão de proteção e defesa civil
(Fonte: Adaptado de ISDR - 2009 e Brasil - 2012).

Fig. 1 - Moments and Actions of civil defense and protection management
(Source: Adapted from ISDR - 2009 and Brazil - 2012).

A prevenção tem o objetivo de evitar ou de reduzir a instalação dos riscos de desastres no futuro (BRASIL, 2016). Está associada aos processos de planejamento, desenvolvimento e ordenamento territorial baseado no prévio conhecimento das características da região quanto à suscetibilidade a eventos adversos com potencial de causar danos.

Como não é possível prevenir todos os riscos de desastres, as suas consequências podem ser reduzidas ou evitadas através das ações de mitigação. A preparação para os desastres reúne o conjunto de ações que visam melhorar a capacidade de dar uma resposta adequada, de forma a reduzir as suas consequências danosas (BRASIL, 2016). As ações de resposta são medidas emergenciais, realizadas durante ou após o desastre, que visam ao socorro e à assistência da população atingida e ao retorno dos serviços essenciais. Corresponde ao socorro e à assistência aos afetados e ainda ao restabelecimento dos serviços essenciais, que é de competência primeira do município (BRASIL, 2012). A recuperação de cenários de desastres é a última fase do ciclo de gestão de proteção e defesa civil e abrange o conjunto de ações destinadas à reconstrução da infraestrutura danificada ou destruída, à reabilitação da economia e do meio ambiente da comunidade atingida, propiciando o seu retorno à condição de normalidade e ao bem-estar social, sempre levando em conta a prevenção e a mitigação de novos desastres (BRASIL, 2012).

Todas essas ações estabelecidas pela PNPDEC devem ser desenvolvidas pelo Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), o qual é constituído pelos órgãos e entidades da administração pública federal, estadual, municipal e pelas entidades públicas e privadas com atuações significativas na área de proteção e defesa civil. No âmbito do município de Fortaleza, o planejamento, a coordenação e a execução das ações referentes à Política Municipal de Defesa Civil, são desenvolvidas através de planos, programas, projetos e ações referentes à prevenção, ao socorro, à assistência e à recuperação, responsabilidade da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDC).

Orçamento público versus desastres

O orçamento público é o instrumento de planejamento que detalha a previsão dos recursos a serem arrecadados (impostos e outras receitas estimadas) e a destinação desses recursos (ou seja, em quais despesas esses recursos serão utilizados) a cada ano. Ao englobar receitas e despesas, o orçamento é peça fundamental para o equilíbrio das contas públicas e indica as prioridades do governo para a sociedade (BRASIL, 2023).

No orçamento encontramos um conjunto de informações que evidenciam as ações governamentais, porque ele é um elo capaz de ligar os sistemas de planejamento e finanças, contendo os valores que o governo pretende gastar com o seu funcionamento e com a execução das políticas públicas, tais como saúde, segurança, urbanismo, habitação, dentre outras.

No Brasil, o orçamento público é composto por um conjunto de leis que autorizam os chefes do Poder Executivo (Presidente da República, governadores e prefeitos) a realizarem as despesas públicas necessárias ao atendimento das demandas da sociedade, entretanto existe o envolvimento dos poderes executivo e legislativo, sendo aquele responsável pela elaboração e a execução, enquanto este terá responsabilidade de votação e controle.

Assim, durante o primeiro ano de mandato, o representante do poder executivo (presidente, governador e prefeito) deve elaborar seu Plano Plurianual (PPA), um instrumento de planejamento no qual constarão diretrizes e programas de governo

para 4 anos. Por sua vez, o orçamento público (LOA) especificará, para cada ano, quanto será gasto em cada programa, e de onde virão os recursos para financiá-los. No meio de campo entre PPA e LOA, temos a Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO), uma lei anual que regulamenta aspectos da elaboração e execução do orçamento público.

O orçamento público é materializado anualmente numa lei específica que “estima a receita e fixa a despesa”, que é a Lei Orçamentária Anual (LOA). Assim, não existe despesa orçamentária sem prévia autorização legislativa, porém existem algumas exceções, como aquelas realizadas por meio de créditos extraordinários, destinados a despesas urgentes e imprevistas, em caso de guerra, comoção interna ou calamidade pública.

Aprofundando as despesas públicas, podemos aferir ser de natureza discricionária (ou despesas não obrigatórias), aquelas realizadas a partir da disponibilidade de recursos orçamentários, e de natureza obrigatória, aquelas cuja execução o ente público não tem a discricionariedade para suspender. De acordo com a Lei nº 4.320/64, para realizar as despesas previstas no orçamento precisa seguir os estágios de empenho, liquidação de pagamento mostrados abaixo:

“O empenho é a etapa em que o governo reserva o dinheiro que será pago quando o bem for entregue ou o serviço concluído. Isso ajuda o governo a organizar os gastos pelas diferentes áreas do governo, evitando que se gaste mais do que foi planejado. Já a liquidação é quando se verifica que o governo recebeu aquilo que comprou. Ou seja, quando se confere que o bem foi entregue corretamente ou que a etapa da obra foi concluída como acordado. Por fim, se estiver tudo certo com as fases anteriores, o governo pode fazer o pagamento, repassando o valor ao vendedor ou prestador de serviço contratado” (BRASIL, 2023).

Para adaptar a legislação brasileira voltada a desastres e a legislação orçamentária, foram criadas normas específicas que visam enfrentar eventos adversos. A Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF), Lei Complementar nº 101 de 2000, tem objetivos macroeconômicos, financeiros e orçamentários. Visam à prevenção de déficits “imoderados e recorrentes” (na expressão da mensagem ministerial) e ao controle da dívida pública. O propugnado equilíbrio intertemporal das finanças públicas

encontra expressão normativa no §1º de seu artigo 1º, explicitado como pressuposto da responsabilidade na gestão fiscal (Oliveira, 2023).

Quando o desastre ocorre, cabe ao município a primeira resposta. Caso a capacidade de resposta da prefeitura municipal não seja suficiente, será preciso o apoio complementar do governo estadual e/ou federal. Para isso, necessita-se da homologação estadual e reconhecimento federal da Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP).

De acordo com o Decreto nº 7.257 de 2010, tanto a SE quanto a ECP referem-se a uma situação anormal, provocada por desastres, causadora de danos e prejuízos, contudo a primeira tem o comprometimento parcial da capacidade de resposta do poder público do ente atingido, e a segunda tem o comprometimento substancial dessa capacidade de resposta. Quando é reconhecido a SE ou o ECP, uma série de benefícios de natureza fiscal é estabelecida aos entes federados, possibilitando a atenuação dos rigores da LRF, tendentes a minimizar os efeitos da situação adversa enfrentada, de forma a permitir que as restrições advindas da norma voltadas ao equilíbrio das contas públicas e à responsabilidade na gestão fiscal possam ser momentaneamente flexibilizadas, até ulterior restabelecimento das condições adversas.

Desastres Naturais em Fortaleza

A classificação de desastres tem importância de ordem legal à medida que a decretação de Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública somente é realizada em função de desastres definidos no COBRADE.

Para a pesquisa, utilizamos o banco de dados da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Ceará (CEDEC/CE), onde são registradas as declarações de situações anormais (SE e ECP) dos municípios cearenses, de onde foi verificado que os maiores quantitativos de desastres naturais, mais de 90 %, são registros associados às secas e estiagens, o que se infere uma recorrência dessas tipificações, contribuindo com a indústria da seca, bem como, possibilitando uma interpretação de utilização desses recursos com um viés arrecadatório no estado (Lima, 2020), porém culturalmente estabelecida.

Apesar das médias pluviométricas do município de Fortaleza serem geralmente acima da média do estado, entre os anos de 2012 e 2016, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos afirmou que o estado do Ceará passou 5 anos seguidos de seca, levando o município a decretar, em 2017, Estado de Emergência por seca e estiagem, devido à baixa do volume das águas de abastecimento da cidade, que chegaram a atingir apenas 6,4 % da capacidade útil em todo o Ceará e dos 153 açudes monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, 34 chegaram a 0 % da capacidade (Agência Brasil, 2023). Em 2020, o município decretou novamente SE com relação a pandemia do COVID 19, ou seja, no intervalo de estudo foram registrados somente 2 (duas) vezes SE. Entretanto, não podemos concluir que devido a esse fato não existem desastres no município de Fortaleza, pois os desastres recebem classificação também quanto aos danos e aos prejuízos causados, conforme estabelece a Instrução Normativa 01/2012, Ministério da Integração (QUADRO II).

QUADRO II - Características dos Desastres quanto a danos e prejuízos versus intensidade.

FRAME II - Characteristics of Disasters in terms of damage and losses versus intensity.

CARACTERÍSTICAS	MÉDIA INTENSIDADE (NÍVEL I)	GRANDE INTENSIDADE (NÍVEL II)
Danos e prejuízos	Suportáveis e superáveis localmente	Insuportáveis e insuperáveis localmente
Nível de danos	Pelo menos dois tipos	Pelo menos dois tipos
Danos humanos	1 a 9 mortos; até 99 afetados;	Acima de 10 mortos; acima de 100 afetados;
Danos materiais	1 a 9: danos ou destruição	Acima de 10: danos ou destruição
	Instalações públicas;	Instalações públicas;
	Unidades habitacionais de baixa renda	Unidades habitacionais de baixa renda;
	Obras de infraestrutura	Obras de infraestrutura
Danos ambientais	Contaminação recuperável em curto prazo;	Contaminação recuperável em médio ou longo prazo;
	5 a 10 % da pop. Afetada (mais de 10 mil hab.);	Mais de 10 % da pop. Afetada (mais de 10 mil hab.);
	Até 40 % das unidades de conservação afetadas;	Mais de 40 % das unidades de conservação afetadas;
Prejuízos	Acima de 2,77 % da receita corrente líquida anual;	Acima de 8,33 % da receita corrente líquida anual;
	Relacionado com o colapso de serviços essenciais	Relacionado com o colapso de serviços essenciais;

Fonte/Source: BRASIL (2012).

Os principais desastres que causam danos e prejuízos na região de estudo são relativos às ameaças hidroclimáticas, pelo excesso ou escassez de chuvas na região. A escassez, denominada pela seca e/ou estiagem, é um período prolongado de redução ou ausência de chuvas, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição. Já o excesso é responsável pelo maior número de desastres naturais ocasionados na região, como alagamentos, enchentes, inundações, movimentos de massas e ressacas do mar, apesar de não se ter registrado a decretação de SE ou ECP nesse quesito.

Região de estudo

A pesquisa delimita-se ao estudo dos desastres naturais do tipo inundações e alagamentos na capital do Ceará (com ênfase pluviométrica na bacia do Rio Maranguapinho). O município de Fortaleza possui uma extensão territorial de aproximadamente 312,353 km² com 34 quilômetros de extensão de praias, classificada como um Município Costeiro (fig. 2), de acordo com os critérios estabelecidos no Decreto nº 5.300, de 07 de dezembro de 2004, (IBGE, 2021).

A bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho (fig. 3) está localizada na região oeste do Município de Fortaleza, banhando também os municípios de Caucaia, Maracanaú e Maranguape.

As mudanças climáticas em curso no planeta expõem as cidades litorâneas ao aumento do nível do mar, às mudanças na frequência e intensidade de tempestades, e ao aumento na precipitação e na temperatura dos oceanos (PBM, 2016). Cada um desses fatores associados às vulnerabilidades sociais aumentam as consequências dos desastres naturais ocasionados pelo aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de chuva, a exemplo de ocorrências de deslizamentos de terra, enchentes e enxurradas à população humana.

O sítio urbano fortalezense apresenta diversos setores suscetíveis às inundações, devido às características predominantes de relevo plano, com pequenos desníveis dos interflúvios em relação aos fundos de vales, intensificadas pelas ocupações irregulares das áreas marginais dos corpos hídricos (Souza *et al.*, 2009). Os Alagamentos, caracterizados pela extrapolação da capacidade de escoamento de

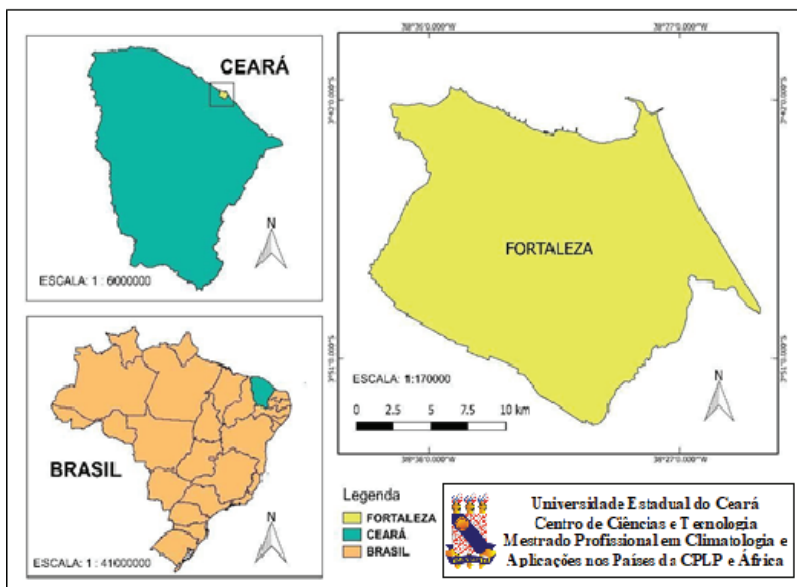


Fig. 2 - Mapa representativo da área de estudo (Fonte: IBGE - 2023).

Fig. 2 - Representative map of the study area (Source: IBGE - 2023).



Fig. 3 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho (Fonte: Albuquerque – 2017).

Fig. 3 - Location of the Maranguapinho River watershed (Source: Albuquerque – 2017).

sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas (Lima, 2020), acontecem em toda a região devido a existência de uma rede de drenagem desproporcional à dimensão que o crescimento físico da cidade atingiu.

Materiais e Métodos

O estudo em pauta foi produzido através de uma pesquisa explicativa e descritiva, com atividades analíticas, integrativas e de síntese em torno dos dados levantados, gerando avaliações multitemáticas. Teve-se como suporte a revisão bibliográfica sobre temas e bases teóricas conceituais e metodológicas.

Os dados referentes às inundações e aos alagamentos, com a influência da bacia do Rio Maranguapinho, foram coletados junto à Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Fortaleza, referente aos anos de 2006 a 2020, através do levantamento das ocorrências geradas na Coordenadoria Integrada de Operações de Segurança, nos bairros cobertos pela Bacia. Foi possível relacionar os registros de alagamentos e inundações nos 45 bairros que contemplam a bacia do Rio Maranguapinho com o regime das chuvas no período adotado, verificando qual é o comportamento perante a variabilidade.

Para as precipitações, foram usados os dados pluviométricos sob o banco de dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). De onde foram extraídas as informações das precipitações e organizadas planilhas eletrônicas para a construção de gráficos e tabelas com resultados de cálculos de estatística básica, dispostas no período de 2006 a 2020.

Para a precipitação diária, representativa da bacia do Rio Maranguapinho, foi utilizada a média dos totais de precipitações acumuladas nas 24 horas do período supracitado, colhidos nas estações de monitoramento dos municípios de Fortaleza, Maracanaú, Maranguape, Caucaia e Pacatuba, integrando todas as partes que influenciam o rio, deste a nascente até a foz.

Para determinar a intensidade de chuva diária, foi definido um dia de chuva quando a precipitação diária for maior ou igual a 2,2 mm, pois abaixo desse valor

considera-se um dia seco, já que em virtude das elevadas temperaturas e taxas de evaporação e evapotranspiração observadas essa quantidade irá evaporar antes mesmo de se infiltrar no solo. As secas requerem escalas de dias que se estendem há meses ou anos com pouca ou nenhuma precipitação, enquanto as enchentes ou cheias são associadas a eventos pluviométricos de dias ou horas.

A técnica dos quantis obtida em Xavier e Xavier (1987) para avaliar a ocorrência de anos secos ou chuvosos, oferecem uma vantagem à irregularidade na distribuição das chuvas para a região de estudo, porque os quantis possibilitam reduzir eventual assimetria na função densidade de probabilidades que descreve o fenômeno aleatório, principalmente tendo em vista que modelos tradicionais de relação fazem uso da normalização pela média e desvio padrão. Assim, para a realização deste estudo, os quantis utilizados referem-se as probabilidades (0,05) (0,25) (0,50) (0,75) e (0,95), ou seja, determinou-se a classificação da precipitação média diária acumulada na bacia em 24 horas relacionada às ordens quantílicas, escolhidas conforme as seguintes definições (TABELA I):

TABELA I - Classificação da intensidade da precipitação acumulada em 24 horas relacionada às ordens quantílicas.

TABLE I - Classification of the intensity of accumulated precipitation in 24 hours related to quantile orders.

Classificação	Intensidade (mm)
Chuva Leve (CL)	$2,2 \leq P < 5,0$
Chuva Fraca (CF)	$5,0 \leq P < 12,7$
Chuva Moderada (CM)	$12,7 \leq P < 25,4$
Chuva Forte (CFr)	$25,4 \leq P < 72,6$
Chuva Muito Forte (CMFr)	$P \geq 72,6$

Esses dados foram utilizados para análise de correlação entre inundações/ alagamentos e o número de dias de chuvas conforme classificação Leve, Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte anualmente, no período de estudo.

Abaixo são colocados alguns parâmetros estatísticos que foram usados na aplicação da metodologia.

- Média Aritmética: Corresponde aos somatórios dos elementos divididos pelo tamanho da amostra, em termos matemáticos é descrita por:

$$X_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Onde, a média, é o número da população ou amostra usada e é o valor da variável correspondente analisada.

- Variância (S^2) e Desvio Padrão (σ): São métricas que são usadas para medir o grau de dispersão das variáveis de uma determinada amostra em torno de um valor central. A medida de dispersão mais utilizada é o Desvio Padrão, o qual é definido pela raiz quadrada da variância.

$$\text{Variância:} \quad S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2 \quad (2)$$

$$\text{Desvio padrão:} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^K (x_i - \bar{x})^2 f_i}{n-1}} \quad (3)$$

$$\text{Coeficiente de correlação de Pearson:} \quad r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum ((x_i - \bar{x})^2) \cdot \sum ((y_i - \bar{y})^2)}} \quad (4)$$

$$\text{Coeficiente de determinação } R^2: \quad R^2 = \frac{(\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))^2}{\sum ((x_i - \bar{x})^2) \cdot \sum ((y_i - \bar{y})^2)} \quad (5)$$

Podemos explicar a correlação de Pearson, por meio do seu coeficiente de correlação de Pearson, o qual é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente oscila entre os valores -1 e 1. O valor 0 (zero) significa que não há relação linear, os valores -1 e 1 indicam relações lineares perfeitas, todavia inversas. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é associação linear entre duas variáveis. Considerando x_i e y_i os valores das variáveis X e Y. Já $\bar{x}$ e $\bar{y}$ são respectivamente as médias dos valores x_i e y_i (Paes, 1998).

Após calculadas as correlações com o auxílio do coeficiente de Pearson, podemos interpretar de acordo com o modelo proposto por Bisquera *et al.* (2004) (TABELA II).

As informações orçamentárias foram retiradas do demonstrativo de execução de despesas por subfunção da Secretaria Municipal das Finanças de Fortaleza, disponível no Portal da Transparência da Prefeitura de Fortaleza e realizado o estudo estatístico comparativo com as inundações e alagamentos. São utilizados os

TABELA II - Interpretação do valor do coeficiente de Pearson.

TABLE II - Pearson coefficient value interpretation.

Coeficiente	Interpretação
$r = 1$	Correlação perfeita
$0,8 < r < 1$	Muito alta
$0,6 < r < 0,79$	Alta
$0,4 < r < 0,59$	Moderada
$0,2 < r < 0,39$	Baixa
$0 < r < 0,19$	Muito baixa
$r = 0$	Nula

Fonte/Source: Bisquerra *et al.*, 2004.

dados de despesas empenhadas da Função Segurança Pública - Subfunção Defesa Civil, bimestral e anual, no período entre os anos de 2006 a 2020. A escolha pelo orçamento bimestral foi imposta pela forma em que os dados são disponibilizados.

Resultados e Discussões

Análise das precipitações no município de Fortaleza (2006-2020)

Nessa seção analisa-se as preipitações (médias mensais) no intervalo entre os anos 2006 e 2020 no município de Fortaleza-Ceará em milímetros de chuvas registradas pela FUNCEME (fig. 4).

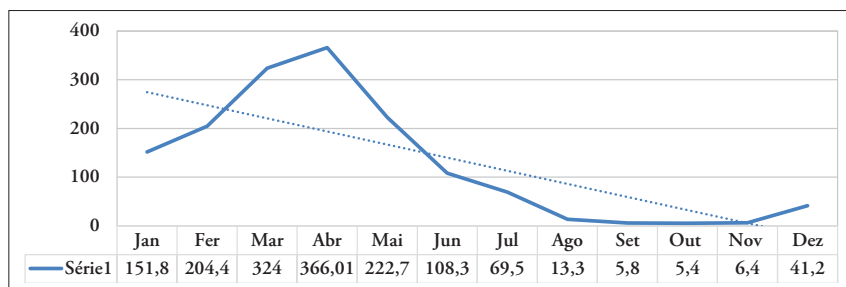


Fig. 4 - Precipitações médias mensais do município de Fortaleza-Ceará – 2006 à 2020 (Fonte: adaptado de Funceme, 2023).

Fig. 4 - Monthly average rainfall in the municipality of Fortaleza-Ceará – 2006 to 2020 (Source: adapted from Funceme, 2023).

A média de precipitações no período é de 126 mm mensais, contudo podemos observar da figura 4, que o comportamento das chuvas segue uma tendência decrescente que indica um primeiro semestre com altos índices de precipitações e uma queda significativa no segundo semestre. Desta forma, a quadra chuvosa é claramente perceptível entre os meses de fevereiro a maio no decorrer dos anos, variando entre máximos de até 366 mm, no mês de abril, e mínimos, próximo a 5 mm, nos meses de setembro e outubro. A significativa diferença na distribuição espaço-temporal da chuva, com prolongados períodos de deficiência hídrica, demonstra que é uma região bastante vulnerável às mudanças climáticas (fig. 5).

As precipitações anuais da série temporal de estudo contam com uma média de 1518 mm, significativamente superior à média do estado do Ceará, que se apresenta em torno de 720 mm (Lima, 2020), resultado das características litorâneas da região. Na figura 5, no período de estudo, destacam-se os anos de 2009, 2011 e 2019 com picos de chuvas próximos ou superiores à 2000 mm. Em contrapartida, ano de 2013 destaca-se com o menor índice de chuvas do período, com apenas 712 mm.

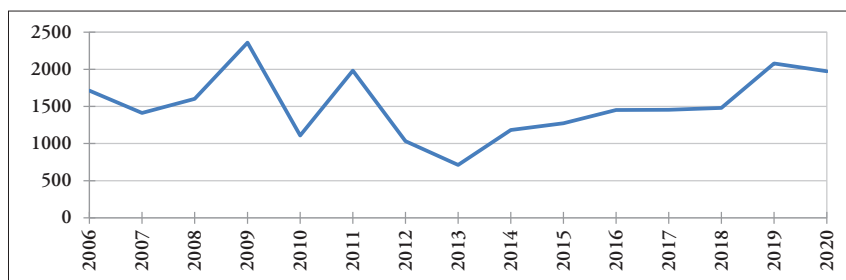


Fig. 5 - Precipitações anuais no município de Fortaleza/Ceará – 2006 à 2020
(Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de FUNCEME, 2023).

Fig. 5 - Annual rainfall in the municipality of Fortaleza/Ceará – 2006 to 2020
(Source: Elaborated by the author, adapted from FUNCEME, 2023).

Ocorrências de alagamentos e inundações na bacia do Rio Maranguapinho

Nessa seção os resultados se relacionam, a bacia do Rio Maranguapinho e as ocorrências registradas de alagamentos e inundações pela defesa civil do município de Fortaleza, anualmente e bimestralmente, entre os anos 2006-2020.

A TABELA III mostra uma síntese estatística de inundações e de alagamentos registrados na bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho, bimestral e anual, para o período estudado.

TABELA III - Estatística básica de registro de ocorrências bimestrais e anual de alagamentos inundações na bacia do Rio Maranguapinho (2006-2020).

TABLE III - Basic statistics of the registration of bimonthly and annual occurrences of flooding in the Maranguapinho River basin (2006-2020).

	Alagamentos		Inundações	
	Média	Dp	Média	DP
Jan-Fev	21,86	27,27	9,33	16,76
Mar-Abr	43,73	37,95	10,93	10,46
Mar-Jun	13,46	23,74	1,93	4,09
Jul-Ago	1,33	1,92	0,46	1,20
Set-Ouv	0,53	0,72	0,0	0,0
Nov-Dez	1,2	1,68	0,4	0,61
Ano	82,13	38,38	23,07	23,35

Observam-se as maiores médias bimestrais em março e abril, bem como janeiro e fevereiro, respectivamente, porém nesses bimestres também são observados os maiores desvios padrões, inferindo muita variabilidade no período de observações. Ressalta-se (TABELA III) uma média de registros com valores baixos para as inundações quando comparada aos alagamentos. Também, anualmente, as médias e desvios padrões de alagamentos tiveram valores maiores em magnitudes. Esses altos valores das médias de alagamentos explicam o fato de que nem todo registro de alagamentos ocasionam em desastres de inundações.

Entretanto, é importante salientar que, ao estudar as informações dos registros, podemos afirmar que ainda existe uma grande discrepância no entendimento real sobre a diferença entre alagamento e inundação para os operadores da defesa civil que trabalham recebendo os chamados, podendo haver registro de alagamento no lugar de inundação e vice-versa. Assim, quando somamos os dois tipos de ocorrências, podemos identificar a relação direta entre os registros dos eventos de inundações e alagamentos com a curva de precipitações na região (fig.6). Coincidindo os picos de menores registros com os anos 2008, 2010, 2013, 2017, 2018 e 2020.

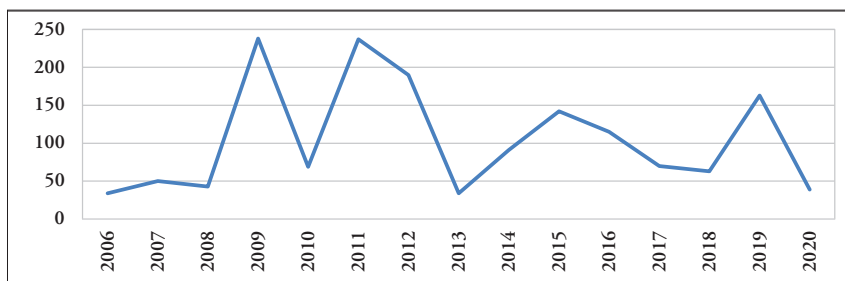


Fig. 6 - Registros de ocorrências de inundações e alagamentos nos bairros da Bacia do Rio Maranguapinho no período de 2006 à 2020 (Fonte/Source: SESEC, adaptado pelo autor).

Fig. 6 - Records of occurrences of flooding in the neighborhoods of the Maranguapinho River Basin from 2006 to 2020 (Source/Source: SESEC, adapted by the author).

A fig. 7 apresenta o número de ocorrências de alagamentos e inundações para os anos de 2006 a 2020. Em geral, as inundações são abaixo de 50 ocorrências registradas no período, ultrapassando essa marca somente os anos de 2011 e 2019. É importante destacar que a expressiva queda do volume de chuvas registrados nos anos de 2010 e 2013, representou em quase nulos os registros de inundações na bacia.

Quanto aos alagamentos, estes apresentam, dos 15 anos estudados, 9 anos de registros acima de 50 ocorrências, destacando-se os anos de 2009, 2011 e 2012 como de maiores registros.

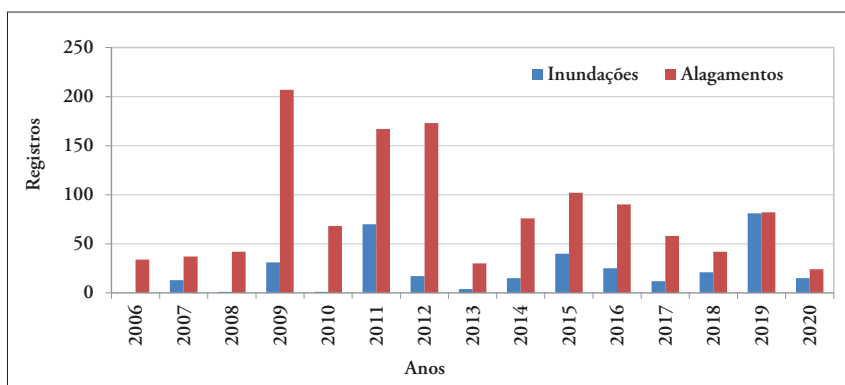


Fig. 7 - Registro de ocorrências de inundações e alagamentos na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020.

Fig. 7 - Record of occurrences of flooding in the Maranguapinho River basin – 2006 to 2020.

Ao analisar a variabilidade interanual em torno da média (fig. 8) nota-se os desvios normalizados pelo desvio padrão. Observa-se um predomínio de alagamentos e inundações com desvios negativos entre 2006 a 2013, exceto em 2009 e 2011, que foram observados desvios acima da média em ambos os desastres. A partir de 2013 até 2020, ocorreu também o predomínio de desvios negativos. Somente em 2019, ocorreu um número de registros de inundações bem acima da média.

Conforme já aprofundado na sessão do estudo das precipitações, foi verificado que nos anos de 2013 a 2018, a região Nordeste do Brasil, incluindo a capital cearense, área objeto em exame, experimentou um período de secas, destacando-se a expressiva queda do volume de chuvas registrados nos anos de 2010 e 2013, coincidindo em ambas as situações a intercorrência dos fenômenos El Niño e Dipolo do Atlântico desfavorável.

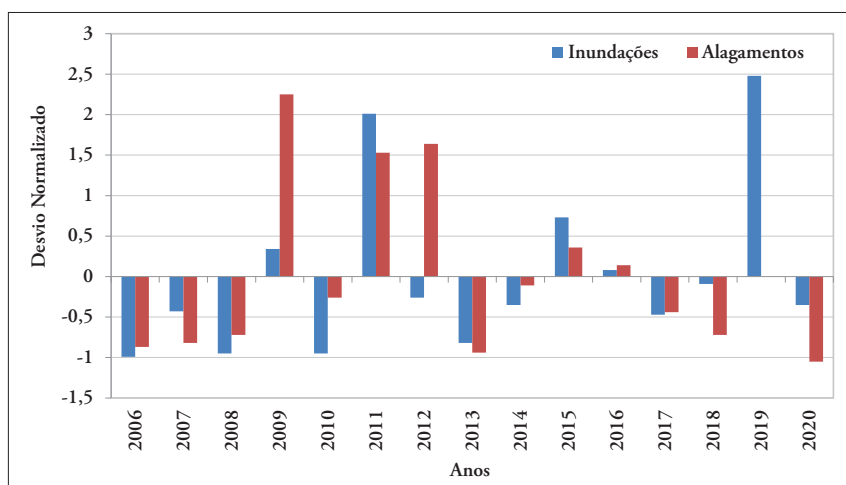


Fig. 8 - Desvios anuais normalizados pelo desvio padrão de inundações e alagamentos na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020.

Fig. 8 - Annual deviations normalized by the standard deviation of flooding in the Maranguapinho River basin – 2006 to 2020.

As fig. 9 e fig. 10 apresentam as ocorrências de alagamentos e inundações bimestrais na bacia do Rio Maranguapinho, no período de 2006 à 2020. Nota-se nessas figuras que esses desastres ocorrem em maior número nos bimestres de

janeiro-fevereiro e março-abril, em quase todos os anos. Ressalta-se, que nesses bimestres ocorre a quadra chuvosa dessa região da Bacia do Rio Maranguapinho, nos meses de fevereiro a maio. Nos demais bimestres do ano essas ocorrências tiveram um número menor de casos.

Os anos com maiores alagamentos nesses bimestres foram 2009, 2011 e 2012, com um número de casos próximos a 100 e 160 casos nos bimestres entre janeiro e junho. (fig. 9).

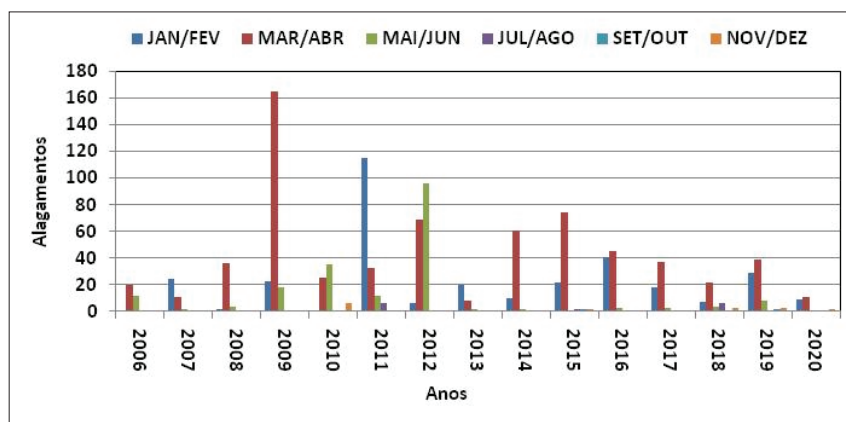


Fig. 9 – Registro de ocorrências de alagamentos por bimestres na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020.

Fig. 9 – Record of flooding occurrences by two months in the Maranguapinho River basin – 2006 to 2020.

O número de inundações por bimestre é bem menor do que o de alagamentos, com os maiores registros de casos, em torno de 40 a 60 casos, nos anos de 2011 e 2019 nos bimestres de janeiro-fevereiro e março-abril.

Uma diferença marcante nos registros de alagamentos e inundações nesses anos de estudo está na magnitude dos registros. Para os alagamentos esses registros superam na ordem de três vezes os de inundações em quase todos os anos, o que pode indicar uma falta de infraestrutura urbana adequada, sistemas de escoamento desproporcional à necessidade, problemas de limpeza urbana, um grande número de pessoas em áreas de assentamentos urbanos precários e vulneráveis, dentre outras situações.

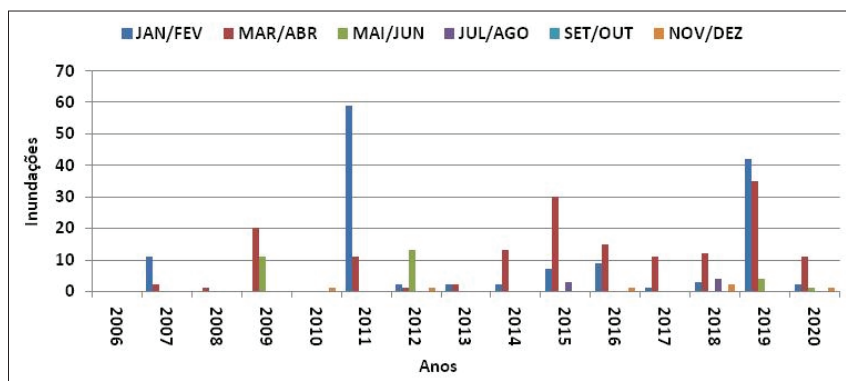


Fig. 10 - Registro de ocorrências de inundações por bimestres na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020.

Fig. 10 - Record of occurrences of floods by two months in the Maranguapinho River basin – 2006 to 2020.

Características das precipitações pluviométricas na Bacia do Rio Maranguapinho e suas relações com inundações e alagamentos

As figuras 11, 12, 13 mostram algumas características das precipitações na bacia do Rio Maranguapinho e suas associações com os casos registrados de alagamentos e inundações na bacia.

A fig. 11 mostra anualmente o número de dias com chuva leve (NDCL), fraca (NDCF), moderada (NDCM), forte (NDCFr) e muito forte (NDCMFr). Nota-se por essa figura, que o maior NDCL não tem relação direta com maiores registros de alagamentos e inundações. Também, não se evidenciou que para um maior(menor) NDCF e NDCMFr teríamos um maior (menor) número de alagamentos ou inundações.

Entretanto, por essa fig. 11 notou-se uma associação, não muito clara, porém diferenciando-se das demais categorias de dias de chuva, que nos anos em que as inundações e alagamentos tiveram maiores registros (2009, 2011, 2012 e 2019, principalmente), os NDCF e NDCM foram um pouco superiores aos demais anos.

A fig. 12 mostra anualmente o total anual da precipitação quando ocorreram dias com chuva leve (NDCL), fraca (NDCF), moderada (NDCM), forte (NDCFr) e muito forte (NDCMFr).

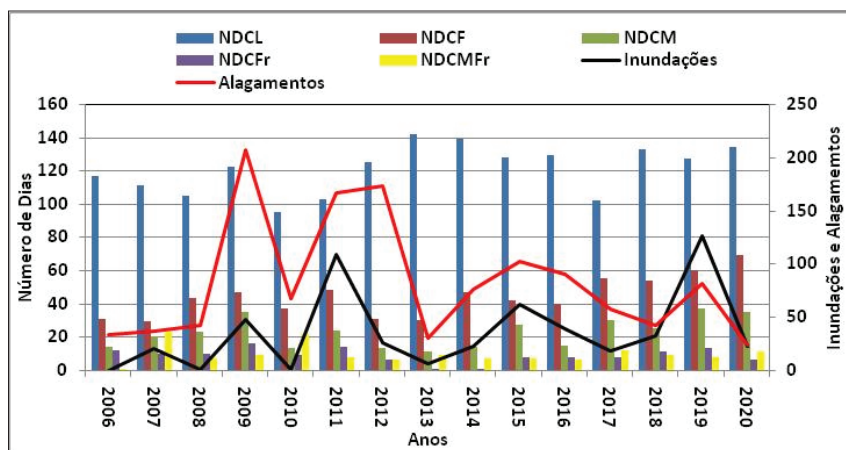


Fig. 11 - Número de dias com chuva leve (NDCL), fraca (NDCF), moderada (NDCM), forte (NDCFr) e muito Forte (NDCMFr) e ocorrências inundações e alagamentos na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020.

Fig. 11 - Number of days with light (NDCL), weak (NDCF), moderate (NDCM), heavy (NDCFr) and very heavy (NDCMFr) rain and flooding occurrences in the Maranguapinho River basin – 2006 to 2020.

Verificou-se uma maior variabilidade nos totais anuais médios na bacia para os dias com chuva muito forte e para todos os dias com chuva no ano, com totais acima de 2000, 3000 e até 5000 mm, pois foram consideradas as precipitações dos 4 municípios que as águas do Rio Maranguapinho banham. Em geral, nota-se por essa figura que os alagamentos e as inundações estão associados a anos mais chuvosos na bacia, com os totais associados a essas classes de chuva superiores a 2000, a exceção foi o ano de 2009, que foi observado um registro de ocorrência de inundações e alagamentos significativos e o total de precipitações para os dias com chuvas muito fortes não foi tão expressivo.

A variabilidade dessas características de chuvas em diversas categorias de precipitação média na Bacia do Rio Maranguapinho evidenciam que os desastres associados a inundações e a alagamentos não são consequências diretas de extremos pluviométricos, devem-se também a fatores de uso e ocupação do solo na área da bacia, diretrizes de planos diretores das cidades, drenagem urbana e consciência ambiental da população, quanto a preservação das vias sem lixo e a outros fatores que podem influenciar nesses desastres.

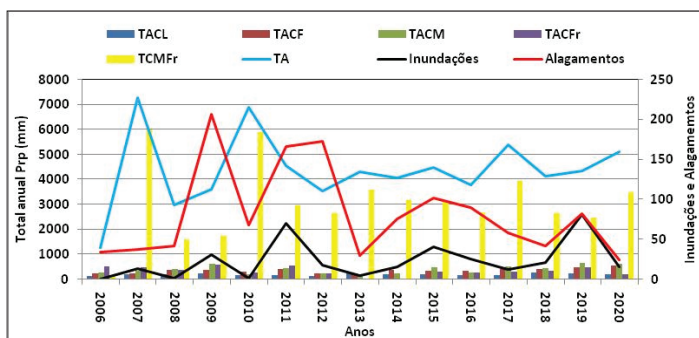


Fig. 12 - Total anual das chuvas quando associadas ao número de dias com chuva leve (TACL), fraca (TACF), moderada (TACM), forte (TACFr), muito Forte (TACMFr) e todos os dias de chuva (TA) e ocorrências de inundações e alagamentos na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020.

Fig. 12 - Annual total rainfall when associated with the number of days with light rain (TACL), weak (TACF), moderate (TACM), heavy (TACFr), very heavy (TACMFr) and all rainy days (TA) and occurrences of flooding in the Maranguapinho River basin – 2006 to 2020.

As fig.13 e 14 mostram que os desvios normalizados do número de dias em cada categoria de chuvas e dos seus totais acumulados anuais possuem associações mais explícitas entre os registros de casos de alagamentos e de inundações, tanto nas correlações positivas quanto nas negativas.

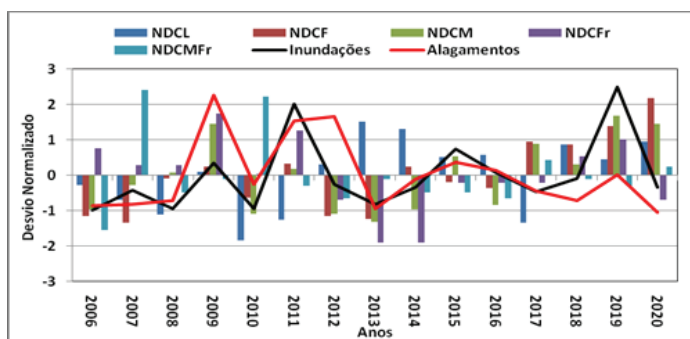


Fig. 13 - Desvios normalizados do número de dias com chuva leve (NDCL), fraca (NDCF), moderada (NDCM), forte (NDCFr), muito Forte (NDCMFr) e todos os dias de chuva (TA) e ocorrências de inundações e alagamentos na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020 .

Fig. 13 - Normalized deviations of the number of days with light rain (NDCL), weak (NDCF), moderate (NDCM), heavy (NDCFr), very heavy (NDCMFr) and every day of rain (TA) and flooding occurrences in the Maranguapinho River Basin – 2006 to 2020.

Essas evidências de desvios normalizados positivos e negativos das categorias de chuvas e os desvios positivos e negativos de alagamentos e inundações, em ambas as fig. 13 e 14, foram mais aparentes nos anos de 2009, 2011 e 2019 com desvios positivos, e nos anos de 2006, 2007, 2013 com os desvios negativos.

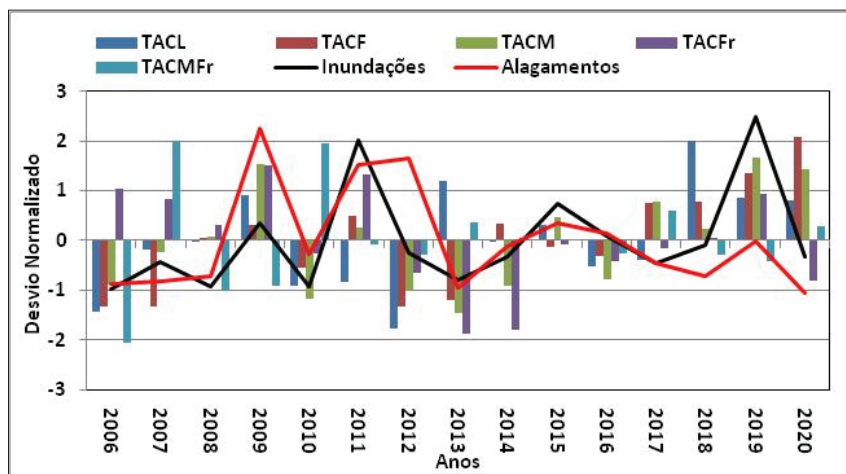


Fig. 14 - Desvios normalizados do total anual de precipitação associado número de dias com chuva leve (TACL), fraca (TACF), moderada (TACM), forte (TACFr), muito Forte (TACMFr) e todos os dias de chuva (TA) e ocorrências de alagamentos na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020.

Fig. 14 - Normalized deviations of the total annual precipitation associated with the number of days with light rain (TACL), weak (TACF), moderate (TACM), heavy (TACFr), very heavy (TACMFr) and all days of rain (TA) and occurrences of flooding in the Maranguapinho River basin – 2006 to 2020.

As TABELAS IV e V apresentam os coeficientes de correlação de Pearson entre os valores anuais do NDCL, NDCF, NDCM, NDCF_r, NDCM_r e seus totais de precipitação anual associados ao total de todos os dias com chuva nos anos entre 2006 a 2020, além dos registros de ocorrência de alagamentos e de inundações. Verifica-se, por essas tabelas, que os coeficientes variam de fraco a moderado e forte (Witte e Witte, 2005). As maiores correlações com valores de r foram para as variáveis NDCL (0,72), NDCF (0,89) e NDCM (0,59) para inundações, enquanto para os alagamentos, os maiores valores de correlação foram para NDCF (0,68), NDCM (0,79) e NDCF_r (0,72). Todas essas correlações foram significativas a 95 % segundo o teste t Student.

TABELA IV - Coeficientes de correlação de Pearson entre os números de dias com chuvas nas categorias NDCL, NDCF, NDCM, NDCF_r, NDCM_r e registros de inundações e alagamentos entre 2006 a 2020. Valores em negrito foram destacados no texto.

TABLE IV - Pearson correlation coefficients between the number of days with rain in the NDCL, NDCF, NDCM, NDCF_r, NDCM_r categories and flooding records between 2006 and 2020. Values in bold are highlighted in the text.

	Inundações		Alagamentos	
	r	sig(%)	R	sig(%)
NDCL	0,72	95,00	0,08	5,00
NDCF	0,89	95,00	0,68	95,00
NDCM	0,59	95,00	0,79	95,00
NDCF _r	-0,48	5,00	0,72	95,00
NDCM _r	-0,19	5,00	-0,36	5,00

Na TABELA V, as correlações também variam entre fraca, moderada e forte e as maiores quanto aos totais de precipitação anual refletiram as categorias com maiores coeficientes do quadro anterior. Os maiores valores em magnitudes foram significativos a 95 % segundo teste t Student, observados para TACL (0,70), TACF (0,86) e TACM (0,57) para inundações, enquanto para alagamentos, os maiores valores de correlação foram para TACF (0,70), TACM (0,80) e TAC_r (0,65).

TABELA V - Coeficientes de correlação de Pearson entre os totais anuais de chuva para o números de dias com TACL, TACF, TACM, TAC_r, TACM_r e TAT totais anuais e os registros de inundações e alagamentos entre 2006 a 2020.

TABLE V - Pearson correlation coefficients between annual total rainfall for the number of days with TACL, TACF, TACM, TAC_r, TACM_r and TAT annual totals and flooding records between 2006 and 2020.

	Inundações		Alagamentos	
	R	sig(%)	R	sig(%)
TACL	0,70	95,00	0,29	5,00
TACF	0,86	95,00	0,70	95,00
TACM	0,57	95,00	0,80	95,00
TAC _r	-0,63	5,00	0,65	95,00
TACM _r	0,11	5,00	-0,22	5,00
TAT	0,19	5,00	0,05	5,00

Análise do orçamento público do município de Fortaleza para as ações de Defesa Civil entre os anos de 2006-2020

Para uma melhor compreensão e exposição dos resultados da pesquisa, necessita-se subdividir essa seção em 2 tópicos. No primeiro, apresentamos a evolução das categorias de despesas empenhadas durante o período de estudo, e no segundo, os resultados estatísticos dessas mesmas despesas são comparados aos desastres do tipo inundações e alagamentos ocorridos nos bairros banhados pela bacia do Rio Maranguapinho.

Análise do Balanço Orçamentário referente a Subfunção Defesa Civil

Nessa seção analisa-se os orçamentos disponibilizados para defesa civil do município de Fortaleza anualmente e bimestralmente entre os anos 2006-2020 (fig. 15 e 16).

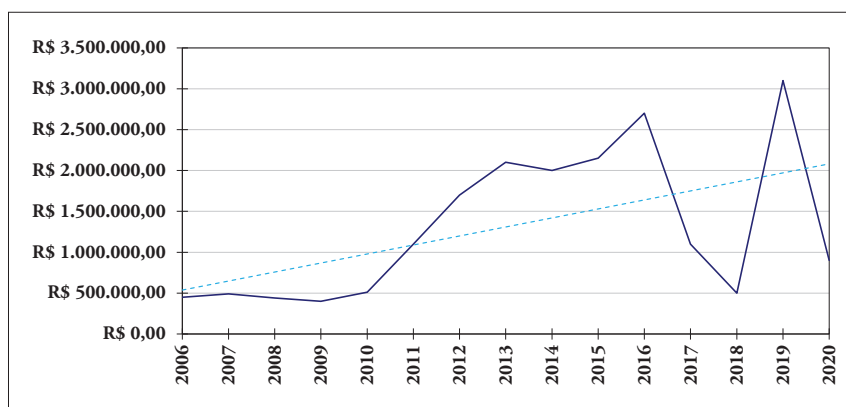


Fig. 15 - Despesas empenhadas pela Prefeitura de Fortaleza na Subfunção Defesa Civil, no período de 2006 à 2020 (Fonte: elaborado pelo autor, adaptado de SEFIN/Fortaleza).

Fig. 15 - Expenses committed by the City Hall of Fortaleza in the Civil Defense Subfunction, in the period from 2006 to 2020 (Source: elaborated by the author, adapted from SEFIN/Fortaleza).

Percebemos, a partir da fig. 15, que as despesas empenhas voltadas à Subfunção de Segurança Pública, Defesa Civil (Municipal) seguem uma linha de tendência

crescente no decorrer dos anos, sofrendo uma expressiva queda nos anos de 2017-2018. Saliento que nesse período houve a decretação da situação de emergência no município pelo quesito “seca e estiagem”, com a redução do volume de chuvas desde 2012. Podemos julgar que, devido às consequências orçamentárias resultantes da decretação da SE, as despesas tiveram limitação em seu empenho, sendo realizadas através de outros mecanismos de flexibilidade orçamentária, permitido ao Poder Executivo, deixar de realizar certas despesas em virtude da ausência de recursos, bem como, o emprego de recursos de outras fontes, como o governo estadual e federal.

De 2006 a 2010, os valores voltados à Subfunção de Segurança Pública, Defesa Civil (Municipal), figuravam para o reaparelhamento, para ações emergenciais e para ações preventivas de defesa civil. Em 2012, houve a publicação da Instrução Normativa nº 01 de 24 de agosto de 2012, do Ministério da Integração Nacional, que orienta as ações preventivas e de proteção e defesa civil no Brasil, indicando novos rumos de condução da Proteção e Defesa Civil Nacional, o que refletiu em um significativo aumento nos recursos para os anos seguintes, bem como, uma melhor distribuição e categorização dos gastos nas ações de Defesa Civil.

A publicação da Instrução Normativa nº 02 do Ministério da Integração Nacional refletiu em grandes mudanças no balanço orçamentário municipal a partir de 2016, aumentando a categorização do emprego das despesas. Estimulou a ampliação da política de abrigamento de Fortaleza, que passou a englobar as vertentes: Abrigo Público, Abrigo Solidário e o Programa de Locação Social, que atendem às necessidades da população na ocorrência de desastres naturais, ou diante da constatação do risco de desastre, as famílias atingidas, ou sob risco, são atendidas em uma das modalidades anteriormente citadas. A modalidade de Locação Social refere-se ao benefício temporário pago mensalmente em dinheiro às famílias que tiveram suas casas destruídas, ou que precisaram deixar preventivamente as suas moradias devido ao risco de desastre, quando se esgotam as outras modalidades. O Abrigo Público constitui da instalação das famílias atingidas em instituições públicas momentaneamente. O trabalho do Abrigo Solidário consiste em uma família ser acolhida por uma outra família, e ambas acompanhadas e assistidas sistematicamente, a fim de melhorar a estadia dos abrigados, até o restabelecimento da normalidade.

O presente estudo identificou, assim, uma constante evolução e busca dos governantes em aplicar os recursos para atender as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação adequadamente, principalmente a partir de 2014, retraindo-se em 2017, 2018 e 2020, períodos em que houve declaração de situação de emergência no município. Devido às grandes mudanças no balanço orçamentário no quesito Subfunção Defesa Civil na Função Segurança Pública, no período de 2006 a 2020 (QUADRO III):

QUADRO III – Evolução das Categorias da Função Segurança Pública – Subfunção Defesa Civil, no período de 2006 à 2020.

FRAME III - Evolution of Public Security Function Categories - Civil Defense Subfunction, from 2006 to 2020.

Evolução das Categorias da Função Segurança Pública – Subfunção Defesa Civil (2006-2020)	
2006 à 2010	Reaparelhamento da Defesa Civil
	Ações Emergenciais da Defesa Civil
	Ações Preventivas da Defesa Civil
2011	Reaparelhamento da Defesa Civil
	Ações Emergenciais da Defesa Civil
	Ações Preventivas da Defesa Civil
	Capacitação dos agentes da Defesa Civil
2012 à 2013	Reaparelhamento da Defesa Civil
	Ações Emergenciais da Defesa Civil
	Ações Preventivas da Defesa Civil
	Capacitação dos agentes da Defesa Civil
	Locação Social
2014 à 2016	Coordenação das Ações de Proteção e Defesa Civil
	Programa de Locação Social
	Promoção de Ações Preventivas de Identificação e Combate aos Riscos de Desastres
	Promoção de Ações Emergenciais em caso de desastres no município
	Promoção de Apoio de Ações junto às comunidades para a promoção de conhecimento e Identificação de Riscos
	Promover Ações de combate a Vulnerabilidade Social e de Proteção de Defesa Civil
2017	Coordenação das Ações de Proteção e Defesa Civil
	Programa de Locação Social
	Desenvolvimento de atividade esportiva para idosos
2018	Proteção e Defesa Civil
	Atendimento Emergenciais em caso de desastres
	Assistência a pessoas em situação de abrigo
	Assistência a desabrigados e desalojados por meio de locação social
2019	Proteção e Defesa Civil
	Construção de uma Cidade Resiliente
	Prevenção de desastres em áreas vulneráveis
	Atendimento Emergenciais em caso de desastres
	Assistência a pessoas em situação de abrigo
	Assistência a desabrigados e desalojados por meio de locação social
2020	Proteção e Defesa Civil
	Atendimento Emergenciais em caso de desastres
	Assistência a desabrigados e desalojados por meio de locação social

Análise comparativa entre despesas empenhadas na Subfunção Defesa Civil x inundações e alagamentos

Observando a distribuição das médias das despesas empenhadas bimestralmente, destacam-se com maiores médias os meses de março-abril e maio-junho com valores superando os 250 mil reais, representando a realização dos maiores gastos no período durante e pós quadra chuvosa (fig. 16). Os menores empenhos médios são para os bimestres janeiro-fevereiro e novembro-dezembro com valores da ordem de 140 e 160 mil reais. Anualmente, o valor médio de orçamento disponibilizado foi em torno de 1 milhão e 287 mil reais.

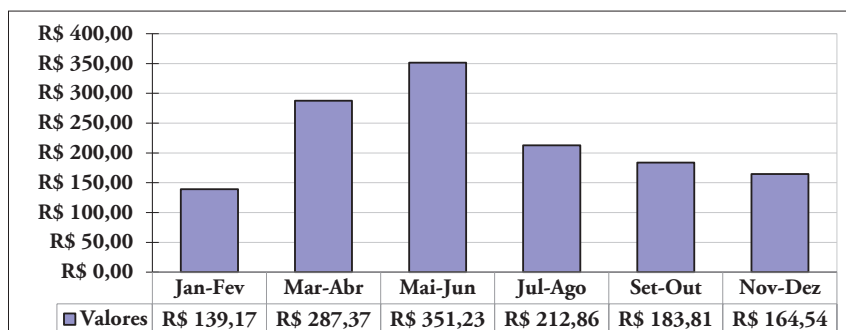


Fig. 16 - Média Bimestral das Despesas Empenhadas, no período de 2006 à 2020

(Fonte: adaptado de Sefin/Fortaleza).

Fig. 16 - Bimonthly Average of Committed Expenses, from 2006 to 2020

(Source: adapted from Sefin/Fortaleza).

A cada ano os desvios padrões tiveram valores maiores em magnitudes, tendo o bimestre maio e junho de maior orçamento (próximo a 455 mil reais). Os menores desvios padrões foram observados também no bimestre de menor média, janeiro/fevereiro, com valores próximos a 140 mil reais. O desvio padrão anual do orçamento disponibilizado nesses 15 anos de análise foi de 960 mil reais (TABELA VI).

TABELA VI - Estatística básica de orçamento bimestral e anual de disponibilizados (2006-2020).

TABLE VI - Basic statistics of the bimonthly and annual budget available (2006-2020).

	Média (R\$)	Desvio Padrão (R\$)
Jan-Fev	139.162,27	140.578,21
Mar-Abr	287.371,10	179.593,19
Mai-Jun	351.231,94	464.178,32
Jul-Ago	212.859,11	219.368,06
Set-Out	183.810,88	178.238,04
Nov-Dez	164.536,47	174.298,38
Ano	1.287.120,74	960.190,78

A fig.17 apresenta a variabilidade bimestral e anual interanual das despesas empenhadas em defesa civil no período de 2006 a 2020. Pode-se observar por esse gráfico que os orçamentos disponibilizados para gerir ou amenizar desastres no Estado do Ceará variaram bimestralmente entre nenhum gasto até valores aproximados a 1 milhão e meio, e anualmente, com valores abaixo de 100 mil reais até valores superiores a 3 milhões de reais.

Nota-se que os bimestres com maior aporte de orçamentos são em geral março-abril e maio-junho que coincidem com o período chuvoso no estado do Ceará. Entre os anos de 2007 e 2011 o orçamento disponibilizado foi bem inferior a 500 mil reais, aumentando significativamente após esses anos até 2020, sendo mais visível nos totais anuais de orçamento. Entre os anos de 2012 e 2018 esse aporte foi crescente, que coincide com anos de secas no Nordeste do Brasil, indicando uma relação direta com as mudanças políticas e legislativas para a defesa civil para o enfrentamento aos desastres.

Vale mencionar que esse orçamento bimestral e anual disponibilizado não é discretizado por tipos de desastres, porém para atender e mitigar os impactos de desastres de toda ordem como secas, alagamentos, inundações e outros desastres.

A fig. 18 mostra os desvios normalizados anuais de orçamento e inundações e alagamentos na bacia do Rio Maranguapinho. Por esse gráfico pode-se verificar que há uma concordância para a maioria dos anos que os desvios principalmente negativos de orçamento estão associados a desvios negativos de inundações e alagamentos. Exemplos de anos consistentes com desvios negativos foram 2006, 2007, 2008, 2010, 2017 e 2020. Para casos de desvios positivos somente em 2015

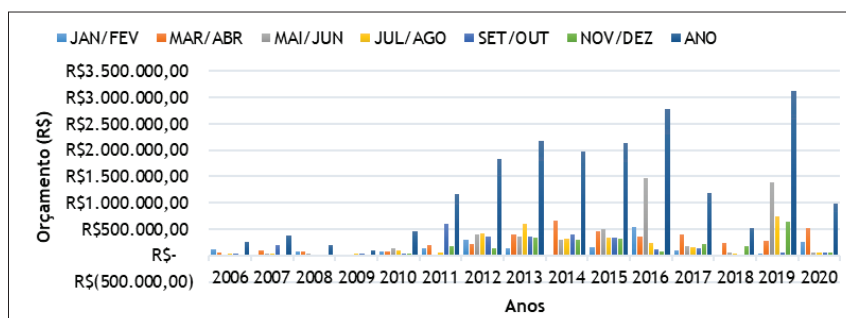


Fig. 17 - Orçamentos disponibilizados para defesa civil do Ceará atender impactos e de desastres naturais e mitigar seus impactos – 2006 à 2020.

Fig. 17 - Budgets made available for civil defense in Ceará to address impacts and natural disasters and mitigate their impacts – 2006 to 2020.

essas relações de associação foram menos observadas. Nos anos de 2009, 2011, 2018 e 2019 tiveram registros de inundações e alagamentos com casos acima da média, porém o orçamento não apresentou desvios positivos.

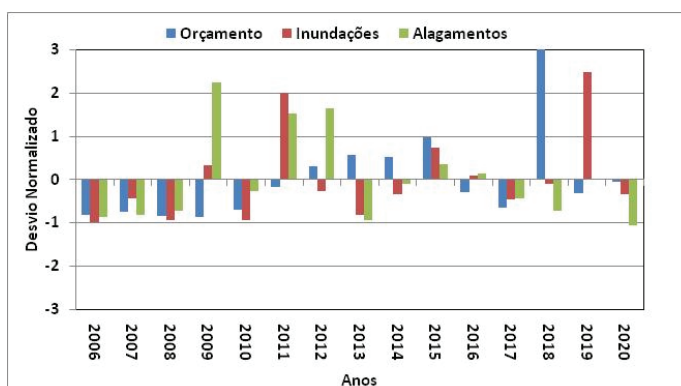


Fig. 18 - Desvios normalizados de orçamentos disponibilizados para defesa civil do Ceará e inundações e alagamentos – 2006 à 2020.

Fig. 18 - Normalized deviations from budgets made available for civil defense in Ceará and flooding – 2006 to 2020.

As fig. 19 e 20 mostram as relações entre os orçamentos financeiros disponibilizados para prevenção ou mitigação de impactos das inundações ou alagamentos entre os anos de 2006-2020 para observarmos a curva de correlação.

Quando ajustamos o diagrama de dispersão a uma curva linear entre o orçamento e a soma dos registros de inundações e de alagamentos anuais na bacia do Rio Maranguapinho (2006-2020), identificamos um índice de correlação de pearson baixíssimo na ordem de 0,22 e significativo a 95 % ao teste t Student.

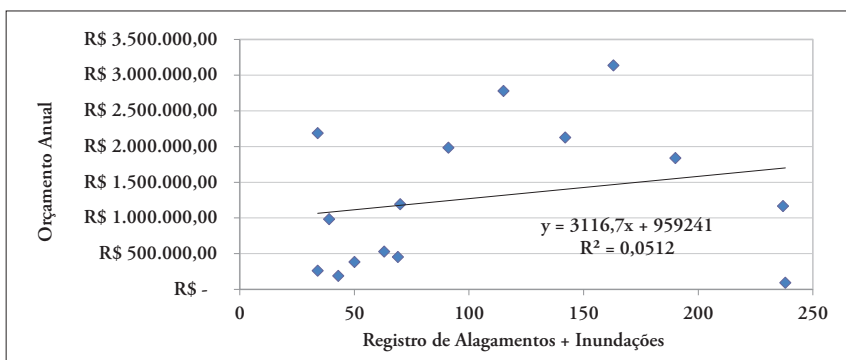


Fig. 19 - Ajuste de curva linear entre o orçamento e o registro de inundações + alagamentos anuais na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020.

Fig. 19 - Adjustment of the linear curve between the budget and the record of floods + annual flooding in the Maranguapinho River basin – 2006 to 2020.

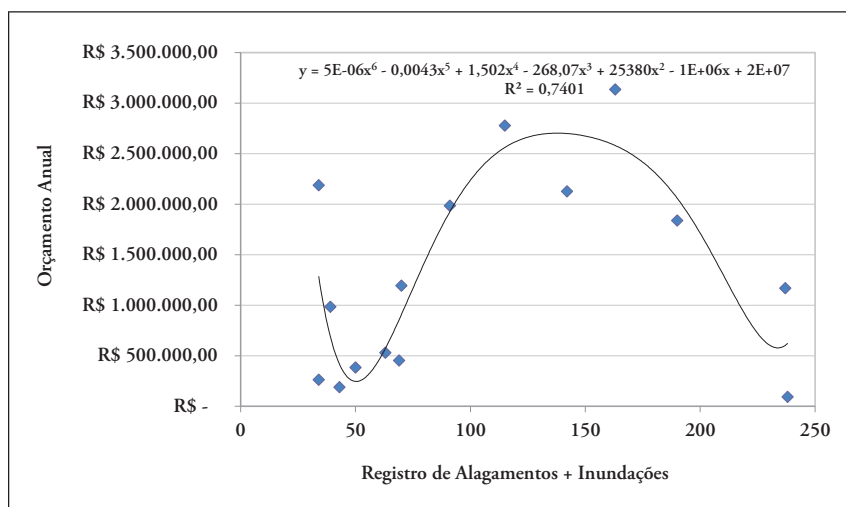


Fig. 20 - Ajuste de curva não linear entre o orçamento e o registro de inundações + alagamentos anuais na bacia do Rio Maranguapinho – 2006 à 2020.

Fig. 20 - Adjustment of the non-linear curve between the budget and the record of floods + annual flooding in the Maranguapinho River basin – 2006 to 2020.

Desta forma, as curvas ajustadas para os dados mostradas nessas figuras evidenciaram que a curva de correlação entre as variáveis mais indicada é não linear. É necessário um ajuste para um polinômio de grau seis entre os dados de inundações e alagamentos com orçamentos, para chegar a uma R^2 da ordem de 0,70, significativo a 95 % segundo teste t Student.

A interpretação dos resultados indica que o valor do coeficiente de determinação R^2 é representativo, demonstrando que o polinômio de regressão não-linear representou de forma válida os pontos de intersecção das variáveis analisadas, indicando que o orçamento aumenta anualmente conforme aumentam os números de desastres.

Conclusão

A pesquisa buscou obter uma melhor compreensão das relações das precipitações com as ocorrências de alagamentos e inundações referentes aos 45 bairros de Fortaleza banhados pelo leito do Rio Maranguapinho. A partir desse entendimento, conectamos com as despesas empenhadas para utilização nas ações desenvolvidas pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Fortaleza em busca de compreender a organização da gestão municipal dos riscos e dos desastres na capital cearense.

Como resultado, obtivemos que Fortaleza, por sua posição geográfica, sofre principalmente de desastres naturais relacionados com a meteorologia e o ciclo hidrológico, especialmente com eventos de precipitações, com uma quadra chuvosa bem estabelecida entre os meses de fevereiro a maio. Assim, a pesquisa atingiu o primeiro dos três objetivos específicos propostos.

Como resposta ao segundo objetivo específico, verificamos que os bimestres de janeiro/fevereiro e de março/abril foram os que apresentaram maior número de registros de alagamentos e inundações no período de 2006 à 2020. Coincidindo com o período identificado pelo maior número de precipitações. Quando avaliamos os números de dias de precipitações anuais de acordo com a intensidade das chuvas, verificou-se uma correlação significativa resultantes de maior número de chuvas leves e fracas associadas aos eventos de inundações. Em contrapartida, resultou para os alagamentos, significativa correlação associada ao número de dias de chuvas moderadas e fortes.

É interessante salientar, que o quantitativo de registros de alagamentos é superior ao de inundações, demonstrando uma maior necessidade de intervenção em infraestrutura e reordenamento urbano, como ampliação da capacidade de escoamento através de sistemas de drenagem urbana (galerias pluviais, canais de drenagem, etc.), aumento da superfície de absorção de água, como a ampliação de áreas verdes, organização e regulação do descarte de resíduos sólidos, dentre outras medidas.

O terceiro objetivo foi alcançado quando observamos que as despesas empenhadas na Subfunção Defesa Civil possuem um maior volume nos bimestres março/abril e maio/junho, ou seja, acompanham a quadra chuvosa, contudo tem um caráter voltado à gestão de desastres propriamente dita, com ações mais direcionadas à resposta e recuperação. Quando comparado ao orçamento fiscal, referente ao valor das despesas empenhas na subfunção Defesa Civil, e ao número de registros de alagamentos e inundações, identificamos significativa correlação entre as variáveis no período.

O município possui ainda grandes desafios na organização espaço-territorial e infraestrutura urbanas, seja na identificação e adequação às vulnerabilidades climatológicas, ambientais e sociais, dentre outras intervenções estruturais e não estruturais, que preconiza o plano municipal de redução de riscos, proposta pelo sistema nacional de proteção e defesa civil para os municípios; as quais têm intuito de vislumbrar um melhor plano de prevenção e mitigação quando da possibilidade e ocorrência desses desastres naturais.

Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA BRASIL. Empresa Brasil de Comunicação. Desastres naturais causaram R\$ 401,3 bilhões de prejuízos em 10 anos. Disponível em <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-03/desastres-naturais-causaram-r-4013-bilhoes-de-prejuizos-em-10-anos>, acesso em: 30 mar. 2023.
- Albuquerque, A. S. (2017). *Delimitação de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas: aplicação no rio Maranguapinho- CE (Monografia)*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará (UFC).
- Almeida, L. Q. Por uma ciência dos riscos e vulnerabilidades na Geografia. *Revista Mercator*. Fortaleza, v.10, n. 23, p. 83-99, 2011.
- BRASIL (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 2014.
- BRASIL, Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de pre-

- venção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 02 dez. 2010.
- BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 24 ago. 2012.
- BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Portaria nº 526, de 6 de setembro de 2012. Estabelece procedimentos para a solicitação de reconhecimento de Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública por meio do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 10 set. 2012. 2012b.
- BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Instrução Normativa nº 02, de 20 de dezembro de 2016. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 22 dez. 2016.
- BRASIL, Ministério da Economia. Orçamento Público. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/planejamento-e-orcamento/orcamento>, acesso em: 24 abr. 2023.
- Catanho, P. A. G., Silva, E. M., Gomes, D. T., Alves, J. M. B. (2020). Alterações Climáticas, Incremento dos Desastres e Necessidades Preventivas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.35, n.3, 517-528.
- Hann, J. van (1903). *Hand book of climatology*. Macmillan.
- Huschke, R. E. (1959). *Glossary of Meteorology*, American Meteorological Society, Boston.
- ISDR. ESTRATÉGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Geneva: ONU.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/fortaleza.html>, acesso em 25 mar. 2023.
- IPCC. SUMMARY FOR POLICYMAKERS. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>, acesso em 21 Abr. 2023.
- Lima, J. S. Q. (2018). Desastres ambientais nos assentamentos precários da cidade de Fortaleza-Ceará-Brasil: riscos derivados da integração entre vulnerabilidade social e ameaças naturais. Fortaleza.
- Lima, M. A. da S. (2020). As influências da dinâmica climática nos desastres naturais – estudo de caso no estado do Ceará (1991 – 2019). Fortaleza.
- Marcelino, E. V. (2008). Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos. *Caderno Didático*, nº 1. São José do Campus, INPE.
- Monteiro, J. B. (2016). *Desastres naturais no estado do Ceará: uma análise de episódios pluviométricos extremos, / Jander Barbosa Monteiro (Tese de Doutorado)*. Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza.
- Monteiro, J. B. (2011). *Chover, mas chover de mansinho: desastres naturais e chuvas extremas no Estado do Ceará. (Dissertação de Mestrado)*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 198p.
- Nunes, L. H. (2015). *Urbanização e desastres naturais, abrangência América do Sul*. São Paulo, Brasil: Oficina de Textos.
- Olimpio, J. L. S. (2013). *Desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará: Subsídios à gestão dos riscos de secas e de inundações*. Fortaleza.
- Oliveira, W. de (2013). *5 Anos de Lei de Responsabilidade Fiscal: Um pouco de história e de essência*. Disponível em: https://www.academia.edu/38670426/5_anos_de_Lei_de_Responsabilidade_Fiscal_Um_pouco_de_hist%C3%B3ria_e_de_ess%C3%Aancia, acesso em: 31 jul. 2023.

- Sant'Anna Neto, J. L., Zavatini, J. A. (orgs.) (2000) *Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas*. Maringá: EDUEM.
- Souza, M. D., Neto, J. M., Santos, J. D. O., & Gondim, M. S. (2009). Diagnóstico Geoambiental do Município de Fortaleza: subsídios ao macrozoneamento ambiental e à revisão do Plano Diretor Participativo–PDPFor. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 172.
- Tucci, C. E. M. (2003). Inundações e Drenagem Urbana In: Tucci, C. E. M., Bertoni, J. C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH, 150 p.
- Xavier, T. M. B. S., Xavier, A. F. S., Alves, J. M. B. (2007). *Quantis e eventos extremos: aplicações em ciências da terra e ambientais*, Fortaleza: RDS, 278 p.
- Zanella, M. E., Costa, M. C. D., Panizza, A. C., Rosa, M. V. (2009). Vulnerabilidade Socioambiental de Fortaleza. In: Dantas, E. W. C., Costa, M. C. L. (Org.). *Vulnerabilidade Socioambiental: na Região Metropolitana de Fortaleza*. Fortaleza: edições UFC.
- Zanella, M. E., Sales, M. C. L., Abreu, N. J. A. (2009). Análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza, CE. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, n. 25.

**ESTIMATIVA DE MORTES POR INUNDAÇÕES EM
ÁREAS DE RISCO SIGNIFICATIVO
NA REGIÃO NORTE DE PORTUGAL**
**ESTIMATION OF DEATHS DUE TO FLOODS IN
AREAS OF SIGNIFICANT POTENTIAL RISK
IN THE NORTHERN REGION OF PORTUGAL**

Bruno Carmo

Universidade de Lisboa, CEEG, RISKam (Portugal)

Instituto de Geografia

ORCID: 0000-0002-5408-8824 bruno_carvais@hotmail.com

Pedro Pinto Santos

Universidade de Lisboa, CEG (Portugal)

IGOT-Instituto de Geografia e Ordenamento do Território

ORCID: 0000-0001-9785-0180 pmpsantos@campus.ul.pt

Resumo: Com este trabalho de investigação pretende-se aplicar de forma pioneira em Portugal uma metodologia para a estimativa de mortes devido a inundações em 6 Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundação (ARPSI) da Região Hidrográfica 1, 2 e 3 (RH Minho e Lima, Cávado, Ave e Leça e Douro, respetivamente) definidas nos Planos de Gestão dos Riscos de Inundações (PGRI). Trata-se da metodologia de Penning-Rowell *et al.* (2005) e permitiu fazer a projeção de fatalidades tendo em conta parâmetros como a velocidade e profundidade da água bem como características etárias da população residente nas diferentes áreas inundáveis em análise. O cenário foi estimado para inundações com um período de retorno de 100 anos (cheias naturais, do tipo fluvial) e os dados de modelação foram retirados do portal SNIAMB, as áreas em

estudo são, respetivamente, Porto, Peso da Régua, Chaves, Esposende, Ponte de Lima e Ponte da Barca. Esta investigação pode também ser uma base de conhecimento para as seguradoras nacionais no apoio ao cálculo de pagamentos de seguros de vida.

Palavras-chave: Inundações, danos intangíveis, análise de risco, fatalidades.

Abstract: This research work aims to apply a pioneering methodology in Portugal for the estimation of deaths due to floods in 6 Areas of Significant Potential Flood Risk (ARPSI) of the Hydrographic Region 1, 2 and 3 (RH Minho e Lima, Cávado, Ave e Leça and Douro, respectively) defined in the Flood Risk Management Plans (PGRI). It is the methodology of Penning-Rowsell *et al.* (2005) and allowed the projection of fatalities taking into account parameters such as the speed and depth of water as well as age characteristics of the resident population in the different flood areas under analysis. The scenario was estimated for floods with a return period of 100 years and the modeling data were taken from the SNIAMB portal, the areas under study are, respectively, Porto, Peso da Régua, Chaves, Esposende, Ponte de Lima and Ponte da Barca. This research can also be a knowledge base for national insurers to support the calculation of life insurance payouts..

Keywords: Flooding, intangible damage, risk analysis, fatalities.

Introdução

Em termos europeus e mundiais, o risco de inundação é um dos desastres naturais que causa maiores danos económicos, sociais e estruturais. Anualmente, as inundações causam avultados danos e perda de vidas, 175 000 mortes e mais de 2,2 mil milhões de pessoas afetadas no período considerado 1975-2002, Jonkman *et al.* (2008). Portugal segue esta tendência, sendo as cheias e inundações a catástrofe mais frequente entre 1960 e 2010 e a segunda que mais população afetou, logo após os incêndios florestais, Ramos (2013).

Tal conjuntura levou alguns autores a elaborar metodologias para se estimarem as fatalidades causadas por inundações na Europa e no Mundo Jonkman *et al.* (2008). Waarts (1992) estimou as mortes das inundações de 1953 no sudoeste da Holanda, apresentando resultados de aproximadamente 1835 mortes nesse evento. No Reino Unido, segundo Kelman (2003), morreram nas inundações da Costa Este aproximadamente 315 pessoas em 1953. A nível também internacional, no Japão, segundo Tsuchiya *et al.* (1980) foram estimadas mais de 5000 mortes devido a inundações costeiras no ano de 1959.

A nível nacional a Base de Dados Disaster constitui um levantamento histórico dos danos humanos causados por cheias e movimentos de vertente desde 1865 até 2010. Segundo Bateira *et al.* (2013) as áreas críticas analisadas nesta investigação apresentam algum historial de danos humanos causados por inundações justificando uma vez mais a necessidade destes estudos a nível nacional. Por exemplo, Esposende teve um registo de 14 evacuados e 24 desalojados, Chaves apresenta um historial de 1 morte, 76 evacuados e 1159 desalojados, Ponte da Barca teve 1 morte e 21 evacuados, Ponte de Lima apresenta 6 mortes e 60 evacuados, o Porto apresentou o maior número de evacuados nas 6 áreas em análise com 532 evacuados, 13 mortes e 1550 desalojados, por fim o Peso da Régua apresenta o maior número de desalojados 7268 e também 2 mortes e 70 evacuados no período considerado.

Tendo em conta danos materiais causados por inundações, de acordo com Leal (2019), Área Metropolitana de Lisboa registou 134 eventos de cheias/inundações com danos materiais entre janeiro de 2000 e Outubro de 2011, provocando 3676 sinistros (Associação Portuguesa de Seguradoras) desencadeados por ocorrências.

O capital segurado nas apólices acionadas em resultado de cheias/inundações é de 9.898.256.607 €, em indenizações pagas pelos seguros (apenas 1,35 % do total de perdas).

Os PGRI e respetivas áreas críticas na RH1,2 e 3

A Diretiva da Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundações (DAGRI), Diretiva n.º 2007/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2007, estabelece que cada país da União Europeia deve reduzir o risco das consequências adversas das inundações.

Assim sendo, numa fase inicial é necessário definir as respetivas áreas críticas por Região Hidrográfica para posteriormente se avaliarem os danos potenciais em termos sociais, económicos e ambientais e por fim serem definidas as medidas de mitigação e gestão do risco.

Os Planos de Gestão dos Riscos de Inundações (PGRI) são instrumentos a nível nacional que integram os pressupostos na Diretiva Inundações anteriormente referida e foram identificadas a nível nacional 71 Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundação APA (2020).

Nas Região Hidrográfica 1, 2 e 3 (RH Minho e Lima, Cávado, Ave e Leça e Douro, respetivamente) existem 19 Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundação sendo das áreas mais afetadas por este risco natural a nível nacional.

Foram só contempladas neste estudo 6 dessas 19 áreas, nomeadamente Porto, Peso da Régua, Chaves, Esposende, Ponte de Lima e Ponte da Barca (fig. 1), áreas em que existe um grande número de população residente potencialmente afetada e que habita em área inundável.

O projeto Disaster e o histórico de mortes devido a inundações em Portugal

A base de dados Disaster consistiu no levantamento de danos de cheias e deslizamentos em Portugal Continental entre o fim do século XIX até a atualidade, principalmente o número de mortes e desalojados verificadas nestes eventos.

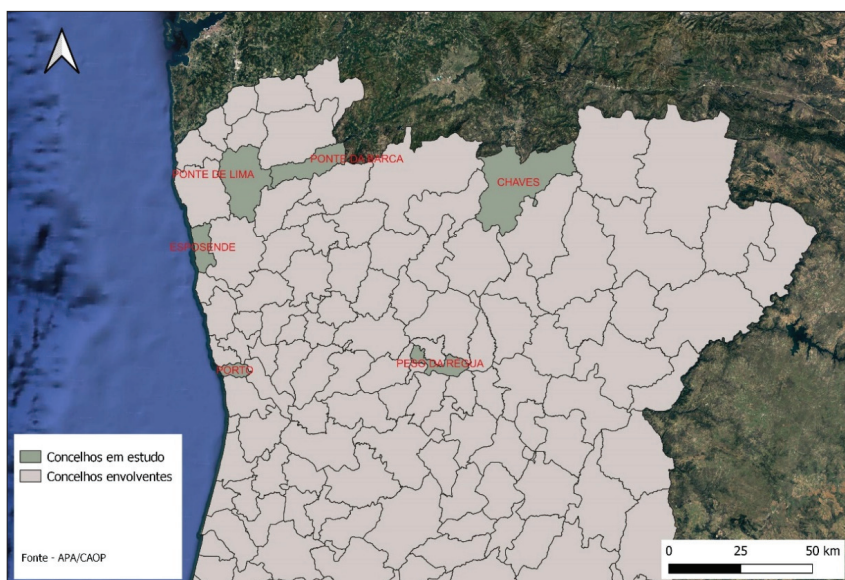


Fig. 1 - Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundação em estudo no Norte Portugal Continental.

Fig. 1 - Areas of Significant Potential Flood Risk under study in Northern Continental Portugal.

Concretamente, segundo Zêzere *et al.* (2014) no caso das cheias, verifica-se (fig. 2) que em todas as décadas em análise se registaram mortes devido a este fenómeno perigoso, na Região Norte de Portugal ocorreram 477 eventos de cheia no período 1865-2010, resultando em 197 mortos e aproximadamente 15 000 desalojados.

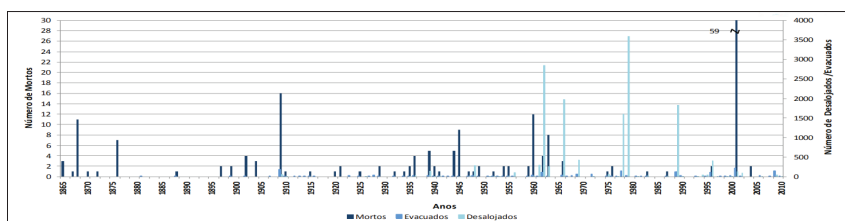


Fig. 2 - Base de dados Disaster de Danos humanos de cheias entre 1865 e 2010, Norte de Portugal.

Fig. 2 - Disaster database of human damage from floods between 1865 and 2010 North Portugal.

De um modo geral, as mortes por inundação podem ocorrer, a uma determinada profundidade conjugada com a velocidade da água, um indivíduo pode perder o equilíbrio e morrer por afogamento, Abt *et al.* (1989). Ollero (2014) revela que os indivíduos enfrentam maior risco de afogamento quando a velocidade da corrente ultrapassa 1m/s ou a profundidade ultrapassa 1 metro. Segundo Priest *et al.* (2008) existe perigo para a maioria das pessoas e as mortes resultam da exposição ao perigo quando existe uma profundidade da água de 1,5m conjugada com uma velocidade de 2,5 m/s.

A metodologia de Penning-RowSELL *et al.* (2005) aplicada neste trabalho é baseada nestes pressupostos e será explicada posteriormente, assim, esta investigação visa fazer uma projeção do número de mortes que podem acontecer nas 6 áreas críticas em estudo caso ocorra atualmente uma inundação com um período de retorno de 100 anos. Esta aproximação à realidade e a análise de risco adjacente será crucial para se definirem as melhores estratégias de mitigação consoante o cenário obtido em cada área crítica.

A nível nacional têm surgido também alguns estudos sobre a influência do risco de inundação para as populações. Por exemplo Campos *et al.* (2015) aplicou uma metodologia para estimar a vulnerabilidade social a inundações para a área ribeirinha da cidade de Vila do Conde, tendo incorporado no método a população flutuante potencialmente afetada. Na cidade de Setúbal, o risco de inundação para a população foi também investigado por Leandro *et al.* (2013), destacando as áreas da cidade que devem ser evitadas tendo em conta as profundidades registadas.

Metodologia para estimar o nº de mortes devido à ocorrência de uma inundação

A metodologia utilizada para estimar as possíveis fatalidades devido a inundações nas áreas críticas em análise, como anteriormente referido, é de Penning-RowSELL *et al.* (2005). Trata-se de uma abordagem determinística em que a rácio/nível de fatalidades é definida consoante a conjugação de diversas variáveis relacionadas com as características da inundação e por outro lado, com a vulnerabilidade social associada a cada área.

Devido ao facto de as áreas em estudo desta investigação serem afetadas por cheias fluviais, não foram aplicadas neste estudo metodologias como a Lifesim, LSM e Hec-Fia, pois são mais adequadas para áreas com influência de cheias rápidas. A metodologia de Jonkman *et al.* (2007), embora seja um autor de referência nesta temática, não foi também aplicada nesta investigação, pois é mais adequada para rutura de diques e não fornece dados de feridos.

Para a aplicação da metodologia é necessário seguir 6 passos essenciais (fig. 3), nomeadamente definir as áreas inundáveis, calcular a classificação do perigo, calcular a vulnerabilidade da área, calcular o número de pessoas em perigo, calcular a vulnerabilidade das pessoas e por fim estimar o número de feridos e mortos.

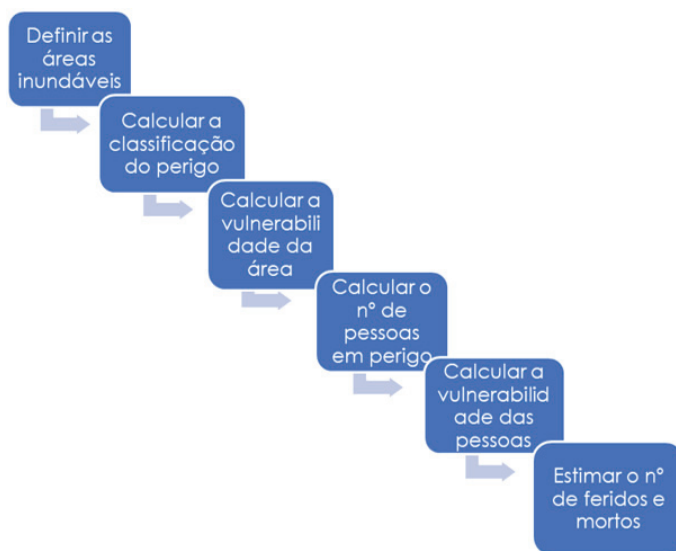


Fig. 3 - Fluxograma dos passos necessários para a estimativa de mortes devido a inundações (Adaptado de Penning-Rowsell *et al.*, 2005).

Fig. 3 - *Flowchart of the steps required for the estimation of deaths due to flooding (Adapted from Penning-Rowsell *et al.*, 2005).*

Seguindo os pressupostos desta metodologia, inicialmente é necessário definir a classificação de perigo da área em estudo (TABELA II), assim é necessário analisar a população exposta consoante a proximidade ao rio (NZ), principalmente até uma extensão de 50 metros pois, normalmente é a área de maior risco para os elementos

expostos. Através da base de dados estatísticos INE e da base de dados geográfica BGRI foi possível obter os dados de população residente por subsecção estatística.

Posteriormente é necessário recolher os dados relativos à profundidade (d) e velocidade (v) da água típicas na área de estudo na referida faixa de 50 metros de extensão do rio. Como anteriormente referido, a cartografia de risco de inundação foi elaborada nos PGRI sendo possível fazer o download dos dados em causa através da plataforma SNIAMB. Os dados modelados para a estimativa das fatalidades foram baseados numa inundação com um período de retorno de 100 anos, ou seja, a designada “cheia do século”, ou seja, este trabalho permitiu obter uma projecção dos possíveis danos intangíveis que poderiam acontecer caso se verificasse atualmente uma inundação com estas características em cada área crítica em estudo.

Seguidamente, foi necessário estabelecer um valor à variável de transporte de detritos (DF) pois o risco para os elementos expostos é maior quando a cheia transposta detritos. Segundo (Brémond *et al.*, 2013), a partir de 0,5 a 1 m/s de velocidade da água já existe a possibilidade de transporte de médios e pequenos detritos (TABELA I), assim sendo, todas as áreas em estudo verificam velocidades superiores a 1,4 m/s. De esclarecer que dadas as características das inundações nas diferentes áreas de estudo serem essencialmente de cheias repentinas (exceto Porto e Peso da Régua, progressivas), como será referido e justificado posteriormente foi atribuída a ponderação de 1 - possível a todas as áreas devido às velocidades da água verificadas.

TABELA I – Velocidade da corrente classificada de acordo com as respetivas classes.

TABLE I – Current speed classified according to the respective classes.

Nível da corrente	Descrição	Velocidade
Baixo	Sem erosão do solo. Nenhum desenraizamento de culturas quando elas já estão enraizadas. Nenhum dano nos equipamentos que estão nas parcelas. Água com pequenos detritos.	0 a 0,5 m/s
Médio	Erosão superficial do solo. Levantamento das culturas anuais. Danos nos equipamentos frágeis que estão nas parcelas. Água com pequenos e médios detritos.	0,5 a 1 m/s
Forte	Erosão localmente importante (ravinas). Levantamento das culturas temporárias. Danos em todos os equipamentos que estão nas parcelas. Água com detritos médios e grosseiros.	1 a 2 m/s

Fonte: Adaptado de Brémond *et al.*, 2013 / *Source: Adapted from Brémond et al.*, 2013 .

Para se terminar a ponderação deste indicador é necessário conjugar todos os elementos através da seguinte fórmula

$$d(v + 1,5) + DF \quad (\text{Adaptado de Penning-RowSELL et al., 2005})$$

e assim é-nos dado o valor da classificação de perigo (HR) de cada área em análise.

O valor “1,5” representado na fórmula está relacionado com a profundidade da água de 1.5m pois, segundo o estudo de Abt et al. (1989) em que foram realizados testes físicos em ambiente controlado em indivíduos para avaliar a partir de que velocidade e profundidade de inundação se pode verificar instabilidade e risco de morte por afogamento (fot. 1).

TABELA II - Exemplo hipotético das pessoas em risco e da classificação do perigo.

TABLE II - Hypothetical example of persons at risk and hazard classification.

Distância do rio/costa (m)	N(z)	Profundidade normal d(m)	Velocidade normal v (m/s)	Fator de detritos (DF)	Classificação do Perigo (HR) D (v + 1.5) + DF
0-50	25	3	2	2- provável	12.5
50-100	50	2	1.8	1-possível	7.6
100-250	300	1	1.3	0-improvável	2.8
250-500	1000	0.5	1.2	0-improvável	1.35
500-1000	2500	0.1	1	0-improvável	0.25

Fonte: Adaptado de Penning-RowSELL et al., 2005 / Source:: Adapted from Penning-RowSELL et al., 2005.



Fot. 1 - Testes físicos em ambiente controlado em indivíduos para avaliar a instabilidade e risco de morte por afogamento (Adaptado de Abt et al., 1989).

Photo 1 - Physical testing in a controlled environment on individuals to assess instability and risk of death from drowning (Adapted from Abt et al., 1989).

O segundo passo desta metodologia passa por definir a vulnerabilidade da área (TABELA III) de estudo através da atribuição de pontuação a três parâmetros, nomeadamente o aviso de inundação, a velocidade de início de inundação e a natureza da área de estudo.

Tendo em conta o parâmetro “aviso de inundação” foi atribuído a pontuação 1 a todas as áreas de estudo pois o SVARH é um sistema de previsão e alerta de inundações a nível nacional. Na segunda variável “velocidade do início da inundação”, segundo o estudo de (Santos,2015) verificou-se que entre 1865 e 2011 as inundações que ocorreram no Douro, mais concretamente no Porto e no Peso da Régua foram essencialmente cheias progressivas e em bacias hidrográficas de menor dimensão onde se inserem as áreas de Ponte de Lima, Ponte da Barca, Chaves e Esposende as inundações são essencialmente devido a cheias rápidas. Assim, foi novamente atribuído a pontuação 1 ao Porto e Peso da Régua pois as inundações nestas áreas de estudo são essencialmente cheias progressivas e caracterizam-se por velocidades da água reduzidas nos locais afetados, as restantes áreas de estudo foi atribuído a pontuação 3 dadas as velocidades mais elevadas da água devido essencialmente ao facto de se tratar de bacias hidrográficas de menor dimensão. Relativamente à “natureza da área” apenas foram atribuídas as ponderações 1 e 2 (baixo risco e risco médio) pois as áreas em análise afetadas por inundações são sobretudo residenciais não se verificando situações de score de nível 3.

TABELA III - Componentes da vulnerabilidade da área e respetivas classificações.

TABLE III - Vulnerability components of the area and their ratings.

Parâmetro	1 – Área de baixo risco	2- Área de risco médio	3 – Área de alto risco
Aviso de inundação	Avisos de inundação testados e planos de emergência	Sistema de aviso de inundação presente, mas limitado	Sem sistema de aviso de inundação
Velocidade do início da inundação	Várias horas (gradual)	Início de inundação gradual	Inundação rápida
Natureza da área	Edifícios de vários andares	Área residencial normal (casas com 2 andares)	Bungalows, casas móveis, estradas movimentadas, escolas

Fonte: Adaptado de Penning-Rowsell *et al.*, 2005.

Source: Adapted from Penning-Rowsell *et al.*, 2005.

Seguidamente, é necessário estabelecer o valor das pessoas expostas ao risco (N(ZE)) (TABELA IV) tendo em conta o total de população existente em cada área de estudo N(Z). Como referido anteriormente, através da BGRI foi possível obter os dados da população residente em todas as subsecções estatísticas que estão contidas na faixa de 50 metros de extensão da área inundável.

Assim sendo, para se obter o valor de N(ZE) é apenas necessário multiplicar o valor anteriormente obtido da classificação do perigo (HR) com o valor da vulnerabilidade da área (AV) e através da percentagem obtida sobre o valor de N(Z) sabemos o número de pessoas expostas ao risco em cada área em análise.

TABELA IV - cálculo da variável N(ZE) referente ao número de pessoas expostas ao risco de inundação. (exemplo hipotético).

TABLE IV - Calculation of the variable N(ZE) referring to the number of people exposed to flood risk (hypothetical example).

Distância do rio/costa (m)	N(z)	Classificação do perigo (HR)	Vulnerabilidade da área (AV)	X= HR*AV	N(ZE)
0-50	25	12.5	7	88 %	22
50-100	50	7.6	5	38 %	19
100-250	300	2.8	7	20 %	59
250-500	1000	1.35	5	7 %	68
500-1000	2500	0.25	5	1 %	31

Fonte: Adaptado de Penning-Rowsell *et al.*, 2005 / Source: Adapted from Penning-Rowsell *et al.*, 2005.

Posteriormente, é necessário atribuir um score ao parâmetro “Vulnerabilidade das pessoas” (TABELA V) das áreas de risco, segundo uma variável, nomeadamente a população exposta com mais de 65 anos, pois a população idosa é a mais difícil de evacuar devido à mobilidade reduzida (P1). Segundo Montz (1992) as áreas ribeirinhas são também por vezes áreas com rendas habitacionais mais elevadas devido à sua localização privilegiada, podendo também este fator justificar os baixos valores de população residente.

TABELA V - Classificação da variável “Vulnerabilidade das pessoas” e respetivas ponderações.

TABLE V - Classification of the variable ‘Vulnerability of people’ and its weights.

Parâmetro	10-Pessoas de baixo risco	25 – Pessoas de médio risco	50 – Pessoas de alto risco
Os mais velhos (>65)	% bastante abaixo da média nacional	% dentro da média nacional	% acima da média nacional

Fonte: Adaptado de Penning-Rowsell *et al.*, 2005 / Source: Adapted from Penning-Rowsell *et al.*, 2005.

O último passo da metodologia aplicada consiste na estimativa dos feridos e mortos (TABELA VI) nas diferentes áreas de estudo através da combinação das diferentes variáveis anteriormente referidas.

Assim, o número de feridos e mortos é obtido através da percentagem do P1 do total da variável N(ZE), ou seja, a população exposta ao risco. De seguida, a estimativa de mortes é obtida através da percentagem do nível de vítimas mortais (2x HR) do valor total de feridos e mortos.

TABELA VI - estimativa de feridos e mortos (exemplo hipotético).

TABLE VI - *Estimate of injuries and deaths (hypothetical example).*

Distância do rio/costa (m)	N(ZE) da TABELA III	Y = P1 (%)	Nº feridos incluindo vítimas mortais	Nível de vítimas mortais = 2*HR	Nº mortes
0-50	22	50	11	25 %	3
50-100	19	50	10	15 %	1
100-250	59	75	44	6 %	2
250-500	68	20	14	3 %	1
500-1000	31	35	11	1 %	0

Fonte: Adaptado de Penning-Rowsell *et al.*, 2005 / Source: Adapted from Penning-Rowsell *et al.*, 2005.

Assim sendo, é de referir que, apenas uma percentagem do total de pessoas expostas e em perigo vai representar os possíveis feridos e mortos, as percentagens definidas são atribuídas tendo em conta dados de inundações de 3 localidades do Reino Unido (Gowdall, Norwich e Lynmouth).

Resultados

O valor da média nacional é de 11,4 habitantes com mais de 65 anos de idade por subsecção estatística, sendo que as únicas áreas em que se registaram valores inferiores à média nacional foi em Ponte da Barca e Esposende, tendo as restantes áreas de estudo valores iguais ou acima da média nacional.

A aplicação da metodologia em estudo para a área ribeirinha do Concelho do Porto resultou na estimativa de 111 mortes (TABELA VII) para uma inundação com um período de retorno de 100 anos. Na área em estudo existem 961 pessoas em perigo, resultando num total de 481 feridos e mortes, tendo a área um nível de vítimas mortais de 23,1 %.

TABELA VII - Estimativa de feridos e mortos para uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho do Porto.

TABLE VII - *Estimation of casualties and deaths for a 100-year return period flood in the riverside area of the Municipality of Porto.*

Distância ao rio (m)	N(Z)	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Fator de detritos	Classificação do perigo (HR)
0-50	2827	6,1	1,4	1	11,55
Distância ao rio (m)	Sistema de alerta	Velocidade de início	Natureza da área	Vulnerabilidade da área	
0-50	1	1	1	3	
Distância ao rio (m)	N(Z)	Classificação do perigo	Vulnerabilidade da área	$X = HR * AV$	N(ZE)
0-50	2827	11,55	3	34,65	961
Distância ao rio (m)	N(ZE)	Y = P1 (%)	Nº total feridos e mortes	Nível de Vítimas mortais (%)	Nº mortes
0-50	961	50	481	23,1	111

Em termos de distribuição espacial das vítimas mortais (fig. 4) é possível concluir que o maior risco se encontra no extremo oeste da área de estudo verificando-se pontualmente uma diminuição do risco de morte de oeste para este. Esta área trata-se de um local com apartamentos de vários andares e por isso foi atribuída a ponderação de 1 na variável “Natureza da área”.

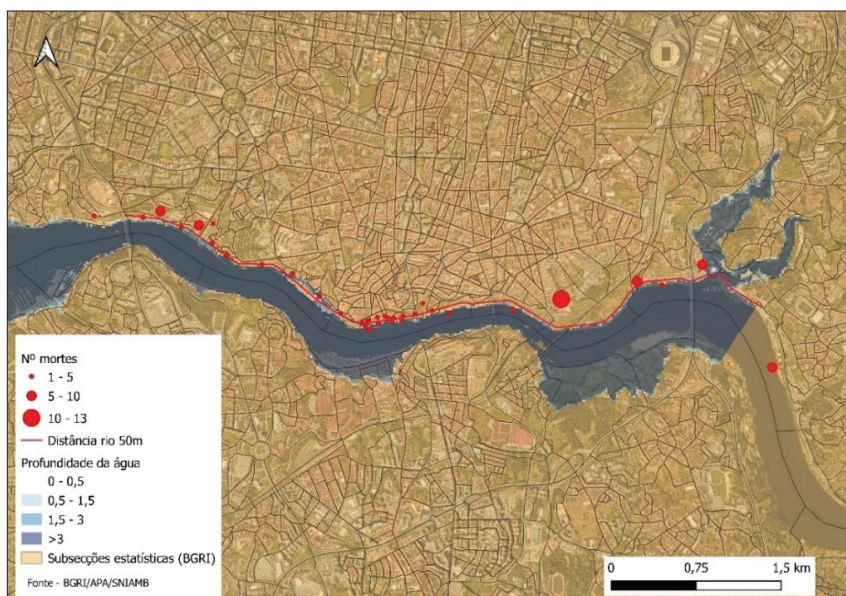


Fig. 4 - Mapa de risco de mortes devido uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho do Porto.

Fig. 4 - Risk map of deaths due to a flood with a return period of 100 years in the riverside area of the Municipality of Porto.

A aplicação da metodologia em estudo para a área ribeirinha do Concelho de Chaves resultou na estimativa de 2 mortes (TABELA VIII) para uma inundação com um período de retorno de 100 anos. Na área em estudo existem 79 pessoas em perigo, resultando num total de 20 feridos e mortes, tendo a área um nível de vítimas mortais de 12 %. Em comparação com o caso de estudo do Porto, Chaves regista um menor valor de vítimas mortais devido essencialmente à menor profundidade da água que faz diminuir também o valor da classificação do perigo.

Em termos de distribuição espacial das vítimas mortais (fig. 5 é possível concluir que o maior risco se encontra no extremo sudoeste da área de estudo. Esta área trata-se de um local com casas com 2 andares e por isso foi atribuída a ponderação de 2 na variável “Natureza da área”.

TABELA VIII - Estimativa de feridos e mortos para uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Chaves.

TABLE VIII - Estimation of casualties and deaths for a flood with a return period of 100 years in the riparian area of the Municipality of Chaves.

Distância ao rio (m)	N(Z)	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Fator de detritos	Classificação do perigo (HR)
0-50	219	1,8	1,33	1	6,094
Distância ao rio (m)	Sistema de alerta	Velocidade de início	Natureza da área	Vulnerabilidade da área	
0-50	1	3	2	6	
Distância ao rio (m)	N(Z)	Classificação do perigo	Vulnerabilidade da área	$X = HR * AV$	N(ZE)
0-50	219	6,1	6	36	79
Distância ao rio (m)	N(ZE)	$Y = P1$ (%)	Nº total feridos e mortos	Nível de Vítimas mortais (%)	Nº mortes
0-50	79	25	20	12	2

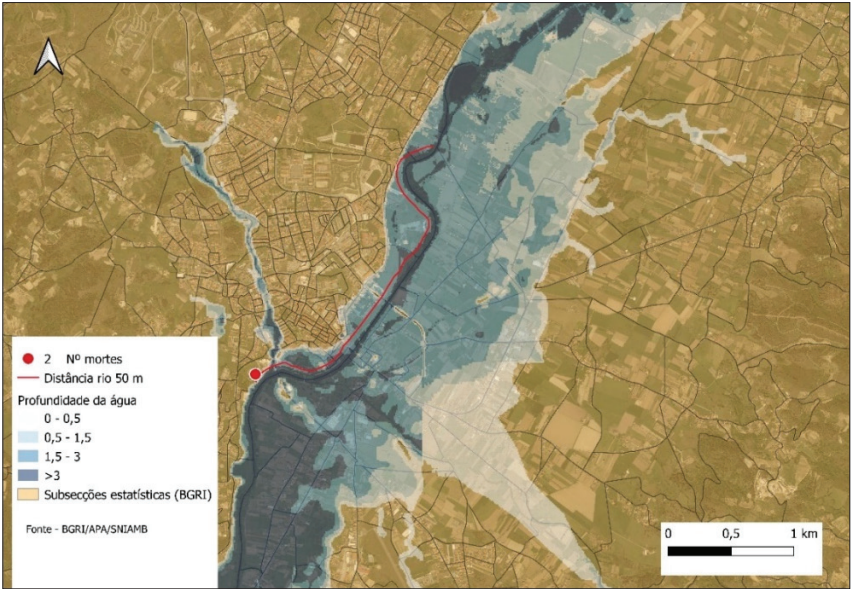


Fig. 5 - Mapa de risco de mortes devido uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Chaves.

Fig. 5 - Map of risk of deaths due to a flood with a return period of 100 years in the riparian area of the Municipality of Chaves.

A aplicação da metodologia em estudo para a área ribeirinha do Concelho de Peso da Régua resultou na estimativa de 164 mortes (TABELA IX) para uma inundação com um período de retorno de 100 anos. Na área em estudo existem 1422 pessoas em perigo, resultando num total de 483 feridos e mortes, tendo a área um nível de vítimas mortais de 34 %. De esclarecer que, tal como no Porto, o valor de vítimas mortais nesta área de estudo pode estar sobrestimado, devido essencialmente ao facto de existir um valor elevado de indivíduos residentes nas subsecções que tocam a área inundável, apesar de não serem áreas totalmente afetadas pela cheia.

TABELA IX - Estimativa de feridos e mortos para uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Peso da Régua.

TABLE IX - Estimation of casualties and deaths for a flood with a return period of 100 years in the riverside area of the municipality of Peso da Régua.

Distância ao rio (m)	N(Z)	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Fator de detritos	Classificação do perigo (HR)
0-50	1422	5	1,63	1	17
Distância ao rio (m)	Sistema de alerta	Velocidade de início	Natureza da área	Vulnerabilidade da área	
0-50	1	1	2	4	
Distância ao rio (m)	N(Z)	Classificação do perigo	Vulnerabilidade da área	$X = HR * AV$	N(ZE)
0-50	1422	17	4	68	967
Distância ao rio (m)	N(ZE)	Y = P1 (%)	Nº total feridos e mortes	Nível de Vítimas mortais (%)	Nº mortes
0-50	967	50	483	34	164

Em termos de distribuição espacial das vítimas mortais (fig. 6) é possível concluir que o maior risco de perdas se encontra a norte e oeste da área de estudo. Esta área trata-se de um local com casas com 2 andares e por isso foi atribuída a ponderação de 2 na variável “Natureza da área”.

A aplicação da metodologia em estudo para a área ribeirinha do Concelho de Ponte de Lima resultou na estimativa de 19 mortes (TABELA X) para uma inundação com um período de retorno de 100 anos. Na área em estudo existem 274 pessoas em perigo, resultando num total de 62 feridos e mortes, tendo a área um nível de vítimas mortais de 30 %.



Fig. 6 - Mapa de risco de mortes devido uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Peso da Régua.

Fig. 6 - Map of risk of deaths due to flooding with a return period of 100 years in the riverside area of the Municipality of Peso da Régua.

TABELA X - Estimativa de feridos e mortos para uma inunda o com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Ponte de Lima.

TABLE X - Estimation of casualties and deaths for a flood with a return period of 100 years in the riverside area of the Municipality of Ponte de Lima.

Distância ao rio (m)	N(Z)	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Fator de detritos	Classifica�o do perigo (HR)
0-50	274	4,4	1,72	1	15,168
Distância ao rio (m)	Sistema de alerta	Velocidade de início	Natureza da �rea	Vulnerabilidade da �rea	
0-50	1	3	2	6	
Distância ao rio (m)	N(Z)	Classifica�o do perigo	Vulnerabilidade da �rea	$X = HR * AV$	N(ZE)
0-50	274	15	6	90	247
Distância ao rio (m)	N(ZE)	$Y = P1$ (%)	N� total feridos e mortes	Nível de Vítimas mortais (%)	N� mortes
0-50	247	25	62	30	19

Em termos de distribuição espacial das vítimas mortais (fig. 7) é possível concluir que o maior risco de perdas se encontra a oeste da área de estudo. Esta área trata-se de um local com casas com 2 andares e por isso foi atribuída a ponderação de 2 na variável “Natureza da área”.

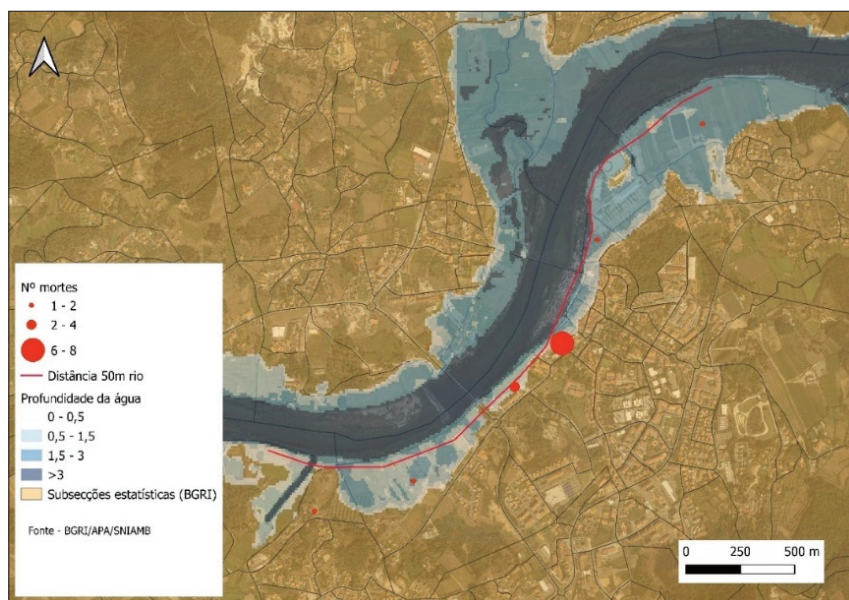


Fig. 7 - Mapa de risco de mortes devido uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Ponte de Lima.

Fig. 7 - Map of risk of deaths due to a flood with a return period of 100 years in the riverside area of the Municipality of Ponte de Lima.

Tendo em conta a aplicação da metodologia em estudo para a área ribeirinha do Concelho de Esposende resultou na estimativa de 2 mortes (TABELA XI) para uma inundação com um período de retorno de 100 anos. Na área em estudo existem 117 pessoas em perigo, resultando num total de 12 feridos e mortes, tendo a área um nível de vítimas mortais de 16 %.

TABELA XI - Estimativa de feridos e mortos para uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Esposende.

TABLE XI - *Estimated casualties and deaths for a 100-year return period flood in the riparian area of the Esposende municipality.*

Distância ao rio (m)	N(Z)	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Fator de detritos	Classificação do perigo (HR)
0-50	238	2,4	1,46	1	8,104
Distância ao rio (m)	Sistema de alerta	Velocidade de início	Natureza da área	Vulnerabilidade da área	
0-50	1	3	2	6	
Distância ao rio (m)	N(Z)	Classificação do perigo	Vulnerabilidade da área	$X = HR * AV$	N(ZE)
0-50	238	8,1	6	48,6	117
Distância ao rio (m)	N(ZE)	$Y = P1$ (%)	Nº total feridos e mortos	Nível de Vítimas mortais (%)	Nº mortes
0-50	117	10	12	16	2

Em termos de distribuição espacial das vítimas mortais (fig. 8) é possível concluir que o maior risco de perdas se encontra a sudeste da área de estudo. Esta área trata-se de um local com casas com 2 andares e por isso foi atribuída a ponderação de 2 na variável “Natureza da área”.



Fig. 8 - Mapa de risco de mortes devido uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Esposende.

Fig. 8 - *Map of risk of deaths due to a flood with a return period of 100 years in the riparian area of the Municipality of Esposende.*

Por último, o caso da aplicação da metodologia em estudo para a área ribeirinha do Concelho de Ponte da Barca resultou na estimativa de 8 mortes (TABELA XII) para uma inundação com um período de retorno de 100 anos. Na área em estudo existem 215 pessoas em perigo, resultando num total de 23 feridos e mortes, tendo a área um nível de vítimas mortais de 36 %.

TABELA XII - Estimativa de feridos e mortos para uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Ponte da Barca.

TABLE XII - Estimation of casualties and deaths for a flood with a return period of 100 years in the riverside area of Ponte da Barca.

Distância ao rio (m)	N(Z)	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Fator de detritos	Classificação do perigo (HR)
0-50	215	4,8	2	1	17,8
Distância ao rio (m)	Sistema de alerta	Velocidade de início	Natureza da área	Vulnerabilidade da área	
0-50	1	3	2	6	
Distância ao rio (m)	N(Z)	Classificação do perigo	Vulnerabilidade da área	$X = HR * AV$	N(ZE)
0-50	215	17,8	6	107	230
Distância ao rio (m)	N(ZE)	$Y = P1$ (%)	Nº total feridos e mortes	Nível de Vítimas mortais (%)	Nº mortes
0-50	230	10	23	36	8

Em termos de distribuição espacial das vítimas mortais (fig. 9) é possível concluir que o maior risco de perdas se encontra no extremo este da área de estudo. Esta área trata-se de um local com casas com 2 andares e por isso foi atribuída a ponderação de 2 na variável “Natureza da área”.

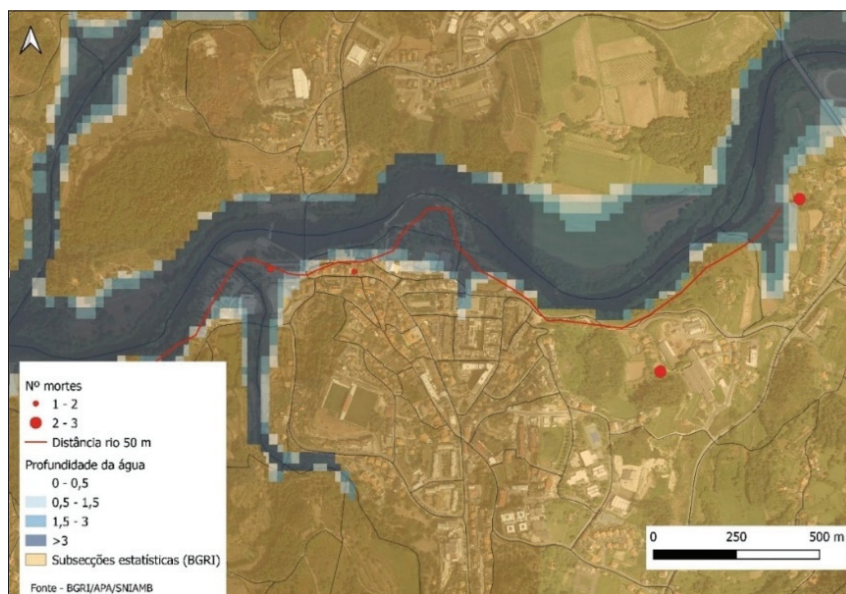


Fig. 9 - Mapa de risco de mortes devido uma inundação com um período de retorno de 100 anos na área ribeirinha do Concelho de Ponte da Barca.

Fig. 9 - Map of risk of deaths due to a flood with a return period of 100 years in the riparian area of the Municipality of Ponte da Barca.

Discussão

Comparativamente com outros estudos a questão da escala de análise é também um elemento importante, por exemplo no estudo de Zhai *et al.* (2006) em que foi proposto um método para a estimativa de mortes devido a inundações no Japão conclui-se que para 10, 100 ou 1.000 prédios inundados, a probabilidade de ocorrer pelo menos uma morte é 18 por cento, 51 por cento, ou 84 %, respetivamente. Já no Reino Unido, o estudo de Ramsbottom *et al.* (2004) revela que podem ocorrer mais de 30 mortes e 200 feridos em apenas 3 áreas de estudo, nomeadamente Norwich, Lynmouth e Gowdall. A nível nacional não é ainda possível comparar dados visto não terem sido aplicadas metodologias desta tipologia por outros autores. Apesar das limitações anteriormente referidas esta investigação trata de projeções que devem ser tidas em atenção por parte das entidades responsáveis pela gestão e mitigação do risco de inundação em Portugal. Existem também algumas incertezas nas estimativas apresentadas, visto a análise de risco ter tido em conta o total de população residente por subsecção estatística afetada pela inundação, nas diferentes áreas em estudo. Por estas razões, os valores de mortes estimados poderão eventualmente ser elevados.

Conclusão

Concluindo, este trabalho permitiu estimar o possível cenário de vítimas mortais que podem ocorrer em 6 locais na Região Norte de Portugal, permitindo também estimar os prováveis feridos.

Apesar de algumas limitações da metodologia e dos dados utilizados na modelação trata-se de uma projeção que deve ser tida em conta na gestão do risco de cheia das áreas em estudo tendo em conta cenários extremos.

Uma possível possibilidade de otimizar a metodologia bem como este estudo seria por um lado fazer a modelação das vítimas mortais tendo em conta os elementos expostos móveis (população flutuante) em diferentes fases do dia bem como aplicar este estudo a todas as Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundação (ARPSI)

de Portugal definidas nos PGRI. Outro ponto de melhoria seria também incorporar na metodologia a qualidade dos edifícios (material de construção) e não apenas o número de andares.

Este trabalho é de extrema importância no apoio e decisão de medidas de mitigação por parte dos gestores do risco, pois, para além das habituais avaliações de análise custo-benefício os danos intangíveis bem como as áreas de maior vulnerabilidade social devem também ser tidas em conta nos processos de avaliação e tomada de decisão.

As autoridades devem atualizar regularmente este tipo de estudos para ajudar na gestão do risco de inundações, medidas de proteção civil, ocupação do território e eventuais medidas para diminuir o número de vítimas.

Deste modo, tendo em conta este estudo, deve ser dada especial atenção ao caso da área ribeirinha do Peso da Régua e Porto, pois segundo as projeções efetuadas são as áreas mais críticas em termos de vítimas mortais e por isso carecem de especial atenção e de intervenção prioritária de medidas de mitigação face às outras áreas em análise.

Referências bibliográficas

- Abt, S. R., Wittier, R. J., Taylor, A., & Love, D. J. (1989). Human stability in a high flood hazard zone 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 25(4), 881-890.
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (2020). *Cartas de Zonas Inundáveis e Cartas de Riscos de Inundações Região Hidrográfica do Douro RH3*.
- Bateira, C., Santos, M., Hermenegildo, C., Soares, L., Pereira, S., Quaresma, I., Santos, P. (2013). Distribuição temporal de desastres de origem hidro-geomorfológica em Portugal continental (1865-2010). *VI Congresso Nacional de Geomorfologia. Coimbra*, ISBN 978-989-96462-4-7, 110-114.
- Bremond, P., Grelot, F., Agenais, A., Bremond, P., Grelot, F., Review, A. A., Flood, A., & Br, P. (2013). *Review Article: "Flood damage assessment on agricultural areas: review and analysis of existing methods"*.
- Campos, S., (2015). *A cheia de abril de 1962 na cidade de Vila do Conde: reconstrução hidro-histórica das áreas afetadas e avaliação da vulnerabilidade atual (Dissertação de Mestrado)*. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Dassanayake, D. R., Burzel, A., & Oumeraci, H. (2015). Methods for the evaluation of intangible flood losses and their integration in flood risk analysis. *Coastal Engineering Journal*, 57(1), 1-36. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0578563415400070>
- HR Wallingford. (2006). Flood Risks to People. *Flood Risks to People Phase 2: FD2321 Project Record Prepared for Defra/Environment Agency*, 1-91. <http://www.rpaltd.co.uk/documents/J429-RiskstoPeoplePh2-Guidance.pdf>

- Jonkman, S. N. (2007). *Loss of life estimation in flood risk assessment, Theory and applications*.
- Jonkman, S. N., Vrijling, J. K., & Vrouwenvelder, A. C. W. M. (2008). Methods for the estimation of loss of life due to floods: A literature review and a proposal for a new method. *Natural Hazards*, 46(3), 353–389. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9227-5>
- Leal, M. (2019). Inundações na Área Metropolitana de Lisboa: danos humanos e materiais e componentes do risco, 426 p. URL: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/42267>
- Leandro, R. (2013). *Risco de cheias e inundações na cidade de Setúbal (Dissertação de Mestrado Em Riscos e Proteção Civil)*. Instituto Superior de Educação e Ciências de Lisboa.
- Ollero, A. (2014). *Guía Metodológica Sobre Buenas Prácticas en Gestión de Inundaciones. Manual para Gestores*. URL: http://Contratoderiomataranya.Org/Documentos/Guia_BB_Gestion_inundaciones.Pdf
- Penning-Rowsell, E., Floyd, P., Ramsbottom, D., & Surendran, S. (2005). Estimating injury and loss of life in floods: A deterministic framework. *Natural Hazards*, 36(1–2), 43–64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-004-4538-7>
- Priest, S., Tapsell, S., Penning-Rowsell, E., Viavattene, C., Wilson, T. (2008). Building Models to Estimate Loss of Life for Flood Events. *Report Number T10-08-10*, FLOODsite.
- Ramsbottom, D., Floyd, P., & Penning-Towsell, E. (2004). *Flood Risks to People Phase 2 Draft Inception Report*. URL: www.defra.gov.uk/enviro/flood
- Santos, M. S. M. dos (2015). *Análise hidro-meteorológica de cheias na Região Norte de Portugal. (Dissertação de Mestrado)*. Universidade de Lisboa.
- Sociais, C. D. E. (2013). Distribuição temporal de desastres de origem hidro-geomorfológica em Portugal continental (1865-2010). *VI Congresso Nacional de Geomorfologia*, Coimbra, 110-114.,
- Zêzere, J. L., Pereira, S., Tavares, A. O., Bateira, C., Trigo, R. M., Quaresma, I., Santos, P. P., Santos, M., & Verde, J. (2014). DISASTER: A GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Natural Hazards*, 72(2), 503–532. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-013-1018-y>
- Zhai, G., Fukuzono, T., & Ikeda, S. (2006). An empirical model of fatalities and injuries due to floods in Japan. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(4), 863–875. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb04500.x>

**METHODOLOGY OF LOW IMPACT DEVELOPMENT
(LID) APPLICATIONS TO CONTROL URBAN
FLOODING: A CASE OF HYDROLOGICAL
MODELLING IN A BRAZILIAN SUB-BASIN**
**METODOLOGIA DE APLICAÇÕES DE
DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO (LID)
PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS:
O CASO DE MODELAGEM HIDROLÓGICA EM UMA
SUB-BACIA BRASILEIRA**

Sara Desiree Marostica

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)
Faculdade de Arquitetura, Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional
ORCID: 0000-0002-3823-7850 saramarostica@gmail.com

André Luiz Lopes da Silveira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)
Faculdade de Arquitetura, Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional
ORCID: 0000-0001-9875-879X andre@iph.ufrgs.br

Abstract: This work develops a methodology for applying low impact development (LID) techniques to facilitate the analysis of urban sub-basins. LID techniques represent a crucial role in stormwater storage, infiltration, and runoff, contributing to flood control. A literature review guided the methodology on flood control and improvements in stormwater micro-management. The research aimed to identify application scenarios considering soil conditions, terrain, topography, land cover, classification and precipitation types, and the application of LID techniques. Simulations using the LID TTT software modeled rainfall

events of 15 mm, 25 mm, 50 mm, and 75 mm, demonstrating runoff reductions and enhanced water management. These results indicate that sustainable LID techniques can improve urban and environmental quality. Additionally, a focus group with technicians evaluated the advantages and limitations of implementing LID in the study area. The findings support the methodology's potential to address future urban flooding and contribute to long-term sustainable water management strategies in Brazilian municipalities.

Keywords: Low-impact development (LID), urban flooding, control, methodology, sub basin.

Resumo: Este trabalho desenvolveu uma metodologia para aplicação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (LID) que possibilitem a análise de sub-bacias urbanas. As técnicas LID desempenham um papel crucial no armazenamento, infiltração e escoamento pluvial, contribuindo para o controle de inundações. A revisão da literatura foi voltada ao controle de inundações e melhorias no microgerenciamento de águas pluviais. A pesquisa visou identificar cenários de aplicação da metodologia, considerando as condições do solo, relevo, topografia, cobertura do solo, classificação e precipitação dos tipos de chuvas e aplicação das técnicas LIDs. Simulações com o *software* LID TTT modelaram eventos de chuva de 15 mm, 25 mm, 50 mm e 75 mm, demonstrando redução do escoamento e aprimoramento da gestão hídrica. Esses resultados indicam que técnicas LID sustentáveis podem melhorar a qualidade urbana e ambiental. Adicionalmente, um grupo focal com técnicos avaliou as vantagens e limitações da implementação das LIDs na área de estudo. Os resultados reforçam o potencial para enfrentar futuras inundações urbanas e contribuir com estratégias sustentáveis de gestão hídrica em municípios brasileiros.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), inundações urbanas, controle, metodologia, sub-bacia.

Introduction

The proliferation of urban areas with high population densities within confined spaces has precipitated significant environmental challenges at the catchment scale. This development has resulted in a dearth of sustainable stormwater management techniques necessary to safeguard streams and river basins (Fletcher *et al.*, 2014). Research into sustainable techniques indicates that low-impact development (LID) strategies seek to achieve a more harmonious hydrological balance and function within the site. These strategies not only manage and control of urban stormwater but also enhance the aesthetic comfort for residents.

LID techniques endeavour to replicate local pre-development hydrological conditions through design methods that store, infiltrate, evaporate, and reduce surface runoff (Ferguson, 1991-92). Integrating LID concepts into urban planning involves taking into account the site's hydrology, minimising impervious surfaces, enhancing vegetated flows and micromanagement devices.

In the study area of the present research, there is a genuine need to propose a method for the application of LID techniques to control urban flooding and enhance urban drainage development. The scenario designed to test the efficacy of low impact development (LID) techniques in this research was configured to assess the performance of sustainable strategies in controlling urban flooding in sub-basin 10 of Arroio Dilúvio, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

This approach has been adopted by previous studies in countries such as Canada (Roy *et al.*, 2008), South Korea (Lee *et al.* 2012), the United States (Tirpak *et al.*, 2021; Ahiablame *et al.*, 2013), Brazil (Fileni *et al.*, 2019), Ethiopia (Jemberie; Melesse, 2021), Singapore (Vijayaraghavan *et al.*, 2012; Chua *et al.*, 2012), China (Jia *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2019), New Zealand (Trowsdale; Simcock, 2011), Sweden (Berndtsson, 2010) and Turkey (Samouei; Özger, 2020). The application of LID techniques in various countries addresses the need for their implementation in the development of urban areas in municipalities. However, a tailored methodology for the Brazilian region can offer enhanced support for urban development, infrastructure, governance and public policy. These factors collectively lead to distinct approaches to urban planning in Brazil, Europe, and Asia. While future

increases in rainfall intensity and return are likely by period regardless of their origins, each region possesses its own priorities and challenges that shape the way cities are planned and developed.

A new methodology, tailored to the specificities of southern Brazil, can help redesign cities in more resilient and sustainable manner. This methodology will enable the creation of specific sustainable projects that consider soil conditions, terrain, topography, land cover, classification and precipitation types, and the application of LID techniques in the region. Additionally, by incorporating customised LID techniques, it will be possible to optimise stormwater management, reduce the impacts of urban flooding, and improve the environmental quality and living of communities. This targeted approach will provide more effective urban planning, integrating infrastructure and LIDs techniques, thereby promoting more sustainable cities that are better prepared to address water management issues.

This includes evaluating the sustainability of these approaches and their role in urban rainwater management. Through this methodology, the research aimed to evaluate LID techniques in various scenarios and identify benefits that promote these techniques as sustainable strategies, thereby supporting their used in municipalities and addressing future or long-term planning challenges.

Materials and Methods

The proposal of a methodology for low impact development (LID) applications in the control of urban flooding was incorporated into four phases: Phase 01 – Area Study Analysis, Phase 02 – Definition of Comparison Metrics, Phase 03 – Data Modelling and Analysis and, Phase 04 – Submission of LID application proposals to the confirmatory focus group. It is observed that among the aforementioned phases, the methodology comprises ten steps (fig. 1).

For this research, the hydrological model of the LID TTT software was adapted from the study by Marostica *et al.* (2022). The study basin comprises five micro-basins, with an average slope ranging from 3 to 8 % according to the hypsometry map prepared. Furthermore, precipitation observations, adopted in accordance

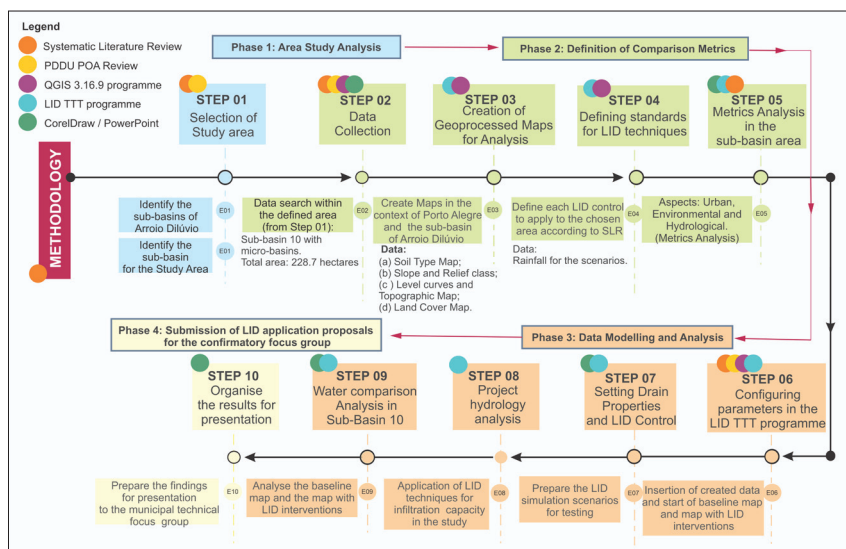


Fig. 1 - Proposed methodology for LID applications in controlling urban flooding.

Fig. 1 - Metodologia proposta para aplicações LID no controle de inundações urbanas).

with the Porto Alegre Urban Drainage Master Plan (PDDU), demonstrated that a rainfall event of total precipitation must be considered over periods of 24 hours. Additionally, in accordance with the PDDU (2014), precipitation was determined using a 10-year return period. However, this does not imply that it will occur once every 10 years; rather, it signifies the average interval within which a specific hydrological event is expected to be equalled or exceeded at least once. This factor is directly associated with the project's safety considerations, significantly impacting the final flow rates and the design of the project's hydraulic system.

Study Area

In the first phase, the study area was selected (fig. 2). According to the Porto Alegre Urban Drainage Master Plan (2014), the Arroio Dilúvio basin is the main hydrographic basin in the city, considering the population involved, its size, and the areas it traverses in Porto Alegre, Brazil.

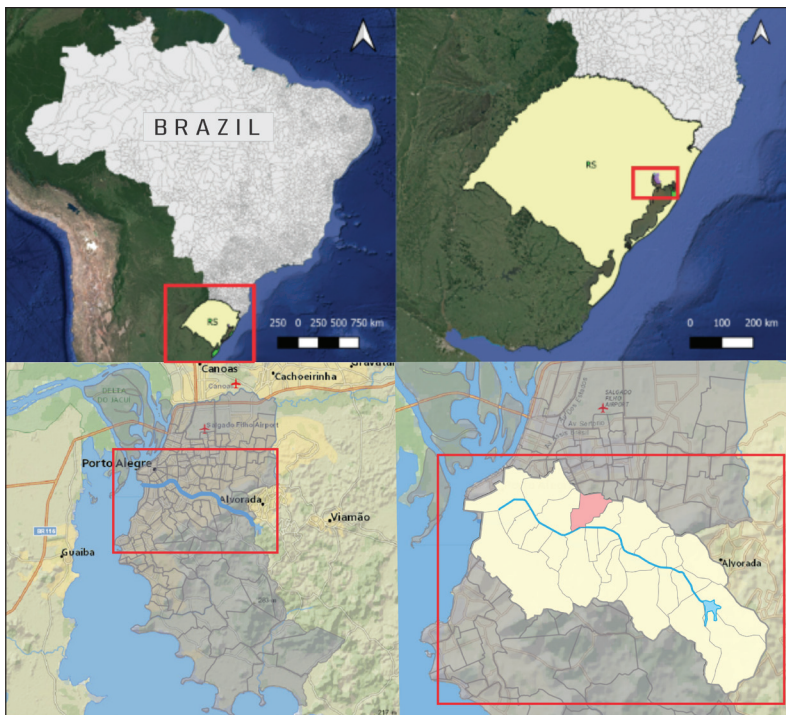


Fig. 2 - Research Study Area (Source: Created in QGIS Software in 2023).

Fig. 2 - Área de Estudo da Pesquisa (Fonte: Elaborado no Software QGIS em 2023).

Subsequently, the sub-basin was selected through (1) a comparative analysis of sub-basins prone to flooding and (2) an assessment of the existing impacts on the interrelated aspects of drainage and consolidated urbanisation of the analysed area. Furthermore, the selection of sub-basin 10 of Arroio Dilúvio, was based on three criteria: (a) characteristics of the sub-basins' occupation; (b) influence of the Arroio Dilúvio upstream level on the macrodrainage network; and (c) propagation of more flooding locations in the urban scenario. When comparing the results obtained according to the PDDU-POA (2014), it is evident that SB-10 exhibited more flooding locations in both current and future scenarios (the current situation corresponding to the projected urban occupancy as per the Porto Alegre Urban Master Plan, and the future situation where occupancy exceeds the Master Plan's projections). Consequently, SB-10 was chosen as the study area for this research.

Definition of Comparison Metrics

In the second phase, demographic data within the defined area were presented through a map depicting sub-basin 10 and its five micro-basins (sub-basin 10.1, 10.2, 10.3, 10.4 and 10.5). Throughout the process of generating the base map for Sub-Basin 10 and its micro-basins using QGIS software, the names of each micro-basin functioned as identifiers for these base areas, allowing various statistical data to be merged into the base areas layer via the attribute property in QGIS. Additionally, in the attribute property, the area of each micro-basin was geoprocessed, resulting in micro-basin 10.1 having an area of 0.42km^2 , micro-basin 10.2 an area of 0.885km^2 , micro-basin 10.3 an area of 0.47km^2 , micro-basin 10.4 an area of 0.195km^2 , and micro-basin 10.5 an area of 0.317 km^2 . In total, sub-basin 10 of Arroio Dilúvio covered an area of $2,287\text{ km}^2$ (fig. 3).

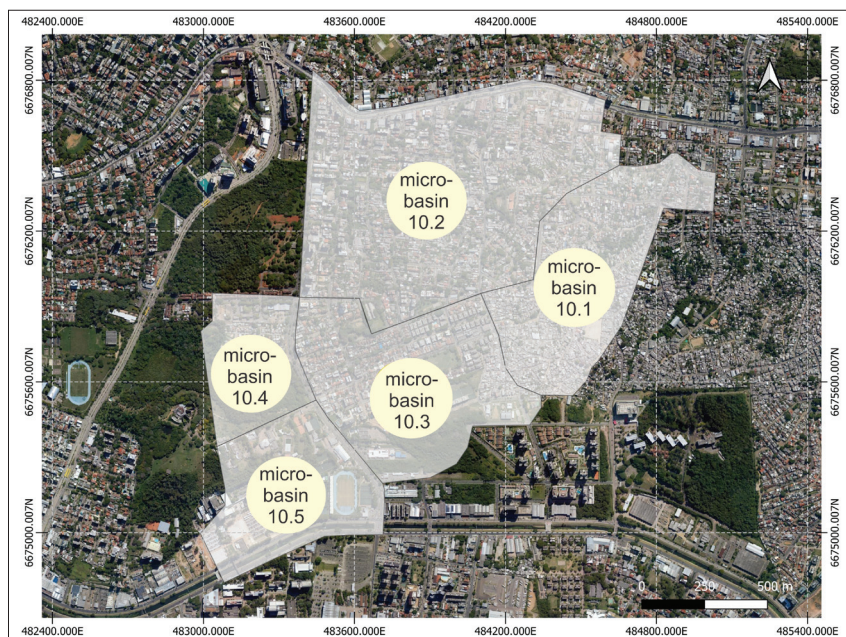


Fig. 3 - SB-10 of Arroio Dilúvio with its micro-basins
(Source: Map prepared by the Authors in QGIS, 2023).

Fig. 3 - SB-10 do Arroio Dilúvio com microbacias
(Fonte: Mapa elaborado pelos Autores no QGIS, 2023).

Subsequently, the database sources were explored using QGIS 3.16.9 software and integrated models for quantitative analysis, measurement, and validation of the geoprocessed maps with the observed characteristics within the context of the maps in QGIS. Thus, spatial criteria were established chosen study area based on metrics such as (i) soil type constraints; (ii) slope and relief class; (iii) characteristics of ground level curves in their topographic structures and; (iv) classification of land cover in the selected basin (fig. 4).

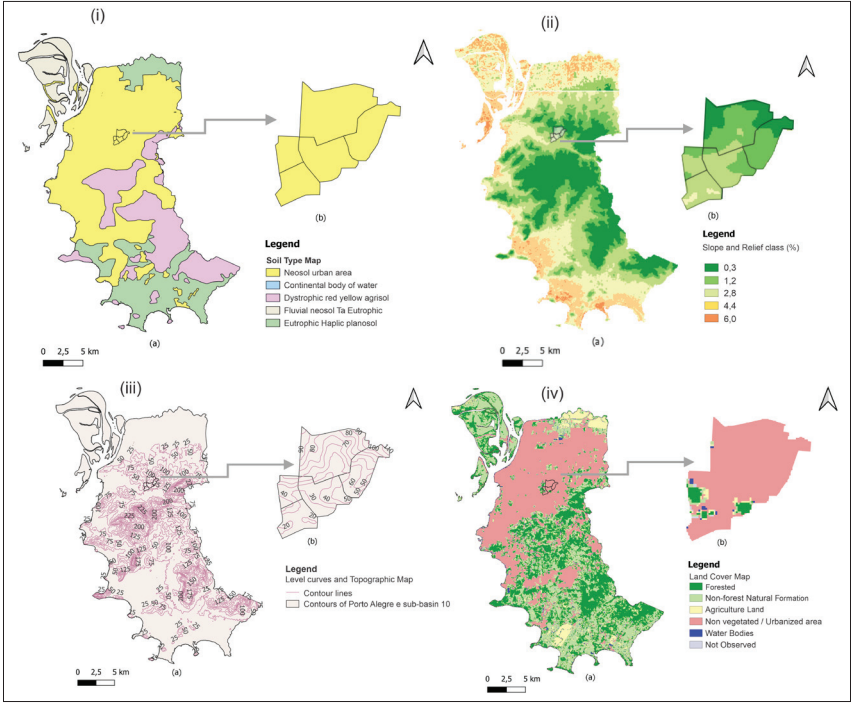


Fig. 4 - Maps with indicators of the Arroio Dilúvio sub-basin
(Source: Produced by the Authors, 2023).

Fig. 4 - Mapas com indicadores da sub-bacia do Arroio Dilúvio
(Fonte: Mapa elaborado pelos Autores, 2023).

For this stage, data was gathered from Google Satellite using sources adjusted in the QGIS software. Subsequently, the collected data sets were overlaid for further analysis. Below is a summary list of these maps and their contributions for use in the LID TTT software (TABLE I) are illustrated.

TABLE I - Summarised List of Geoprocessed Maps and their contributions.

TABELA I - Lista resumida de mapas geoprocessados e suas contribuições.

Indicator data	Metrics	Contributions on the LIDIII Software	Adapted from Source
(i) Soil Type Map	Soil classification	To ascertain soil texture	IBGE (2021)
(ii) Soil Slope Map	Slope and Relief Classification	To ascertain the terrain relief and the altitude of the area	INPE (2022)
(iii) Topographic Map of the Land	Terrain Level Curves	To ascertain a three-dimensional view of the terrain relief	INPE (2022)
(iv) Land Cover and Use Map	Land cover classification	To simulate the condition of the area's biomes	MapBiomás (2019)

Next, the study aimed to define standards for LID techniques in the study area of sub-basin 10 of Arroio Dilúvio, adopting four profiles with 15 mm, 25 mm, 50 mm and 100 mm of rainfall over a period of 24 hours. These 24-hour rainfalls were disaggregated into smaller intervals according to the Soil Conservation Service (SCS) Type II distribution provided by the underlying model (SWMM5), which solves the hydraulic part numerically using automatically defined sub-hourly time intervals. The rainfall types (mm/hours) used for the scenarios followed the characteristics outlined by authors Reichardt (1986) and PDDU POA (2014) (TABLE II).

TABLE II - Classification and precipitation of rainfall types.

TABELA II - Classificação e precipitação dos tipos de chuvas.

Rainfall Types	Characteristics	mm/h
Light Rainfall	Uniform rainfall and a multitude of droplets	15 mm/24h
Moderate Rainfall	Isolated drops that are challenging to observe, with water puddles forming relatively quickly	25 mm/24h
Heavy Rainfall	Characteristics of rainfall that seems to fall in sheets, making it impossible to identify isolated drops	50 mm/24h
Severe Rainfall	Characteristics of heavier rain, typically in the form of showers	100 mm/24h or exceeding

The rainfall employed in the baseline and LID intervention scenarios of sub-basin 10 was selected to assess the effectiveness of the applied LID techniques, ensuring that their maximum output flow was either equal to or less than the maximum flow of their baseline scenario.

Moreover, in analysing metrics for sub-basin 10 and utilising the data prepared in the geoprocessed maps, three metrics were employed to quantitatively assess

the impact of urban flooding on drainage performance as per the LID TTT software. Specifically, in terms of (a) Urbanistic aspects, the comparison metrics were based on the consolidated urban area (non-vegetated area) with 90.25 %, forested area with 4.73 %, non-forest natural formation at 2.25 %, agriculture land at 2.07 % and water bodies at 0.4 %. Regarding (b) Environmental aspects, the adopted topographic and relief metrics were linked to vegetation cover, soil type classified as Neossolo, soil slope recognised as gently undulating (3 to 8 %), and topographic terrain contours processed in the QGIS software. Finally, concerning (c) Hydrological aspects, the eight adopted metrics relate to the geoprocessing carried out in the LID TTT software, providing data for controlling runoff volume, untreated runoff volume, peak runoff flow, and water balance as a report on the consistency of LID techniques applied across the scenarios modelled in the software.

In establishing the scenario for comparing baseline conditions with LID interventions to assess the performance of low-impact LID techniques using a water consistency model for sub-basin 10 of the Arroio Dilúvio, the objective was to achieve efficient performance for the sub-basin across rainfall parameters of 15, 25, 50 and 100 mm. The techniques applied include: (1) Green Roofs, (2) Permeable Pavement, (3) Bioretention Systems, (4) Green Areas and Landscapes, (5) Rain Gardens, and (6) Grass Strips/Vegetable Filter Strips. The characteristics of each technique were identified based on the LID TTT software manual (STEP,2018) (TABLE III). Thus, the aim was to implement all these techniques together in a single scenario for the selected study area in this research (fig. 5).

TABLE III - Characteristics of the applied LID techniques.

TABELA III - Características das técnicas LID aplicadas.

Low Impact Development (LID) Techniques	Properties
Green Roofs	Coverage of Buildings for planting undergrowth, grass, flowers and trees.
Permeable Pavement	Installation of permeable pavement on private and public roads to allow rainwater infiltration into the ground.
Bioretention Systems	Bioretention Systems are excavated surface depressions containing vegetation grown in a soil-mulch mixture placed above a gravel drainage bed.
Green Areas and Landscape	The expanse of land is covered with lawn or mown grass, often uniformly sloped and adorned with planted trees throughout the landscape.
Rain Gardens	A type of bioretention cell comprises a concentrated soil layer without a gravel bed beneath it.
Grass Strips/ Vegetable Filter Strips	Vegetated filter strips that provide additional treatment for flows leaving a storm catchment.

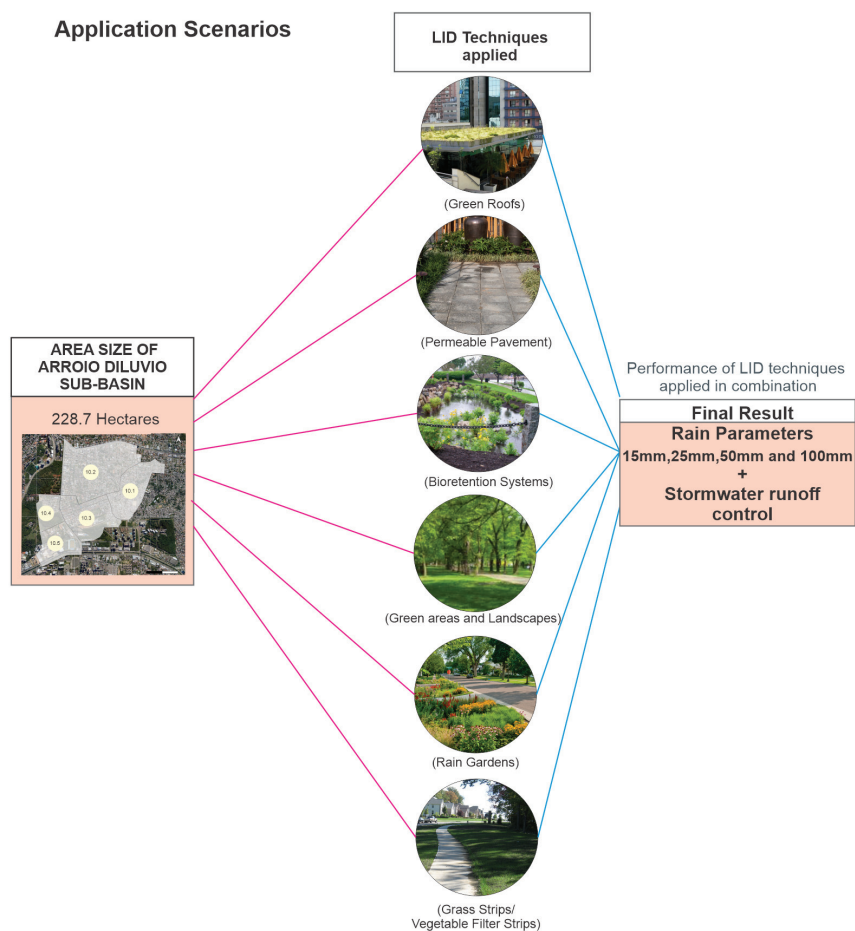


Fig. 5 - Consistency model of LID Techniques.

Fig. 5 - Modelo de consistência das técnicas LID.

Data Modelling and Analysis

Regarding phase 3 of this methodology, the parameters presented in the LID TTT software were configured to begin the baseline and LID intervention projects for the scenarios. To evaluate the effect of LID techniques in sub-basin 10 of Arroio Dilúvio, the properties and drainage control of the LID TTT software were defined, and project simulations were designed for the study area. Initially,

consistency test scenarios were carried out to analyse the runoff of the five micro-basins within sub-basin 10 of Arroio Dilúvio. After this stage, it was determinate to utilise integrated LID techniques, to demonstrate the consistency test of their performance throughout sub-basin 10 and subsequently analyse the results obtained with water geoprocessing in the study area. Considering the projected scenarios and the numerous pieces of information to be presented, it was necessary to provide detailed information for each micro-basin within sub-basin 10.

Given the importance of applying sustainable techniques in the study area, the project's hydrology analysis aimed to examine the LID Techniques and the infiltration capacity of each technique applied in the scenarios according to the rainfall parameters of 15 mm, 25 mm, 50 mm and 100 mm. Based on this context, the water consistency test was conducted in both the baseline and LID intervention scenarios of the sub-basin in this research, considering the possible insertion of LID structures (low impact development).

When inserting the scenarios into the LID TTT software, the joint performance of the LID techniques was effectively carried out for sub-basin 10 of the Arroio Dilúvio. The insertion of LID structures and zoning measures reduced the volume of runoff in the post-development scenario. For real rainfall data with parameters of 15 mm, 25 mm, 50 mm and 100 mm, the hydrographs showed delayed peaks with the insertion of LID structures. Furthermore, the performance of LID structures was better with lower rainfall.

There appears to be a consensus that sustainable urban stormwater management must be planned and implemented at a basin scale (Roy *et al.* 2008; Dwyer; Childs, 2004; CVC, 2022; TRCA, 2010). This is because the effects of increased runoff due to urbanisation are cumulative at the watershed scale (CVC, 2022; TRCA 2010), rather than being specific to just one location. Thus, the baseline model utilised the entire sub-basin area, while the model with LID interventions included the implementation of all LID techniques across the five micro-basins (10.1, 10.2, 10.3, 10.4 and 10.5) of sub-basin 10 (fig. 6). These LID models applied in the scenarios below can be effectively integrated into the context of stormwater management, especially in areas prone to urban flooding in southern Brazilian municipalities, as presented in the study area.

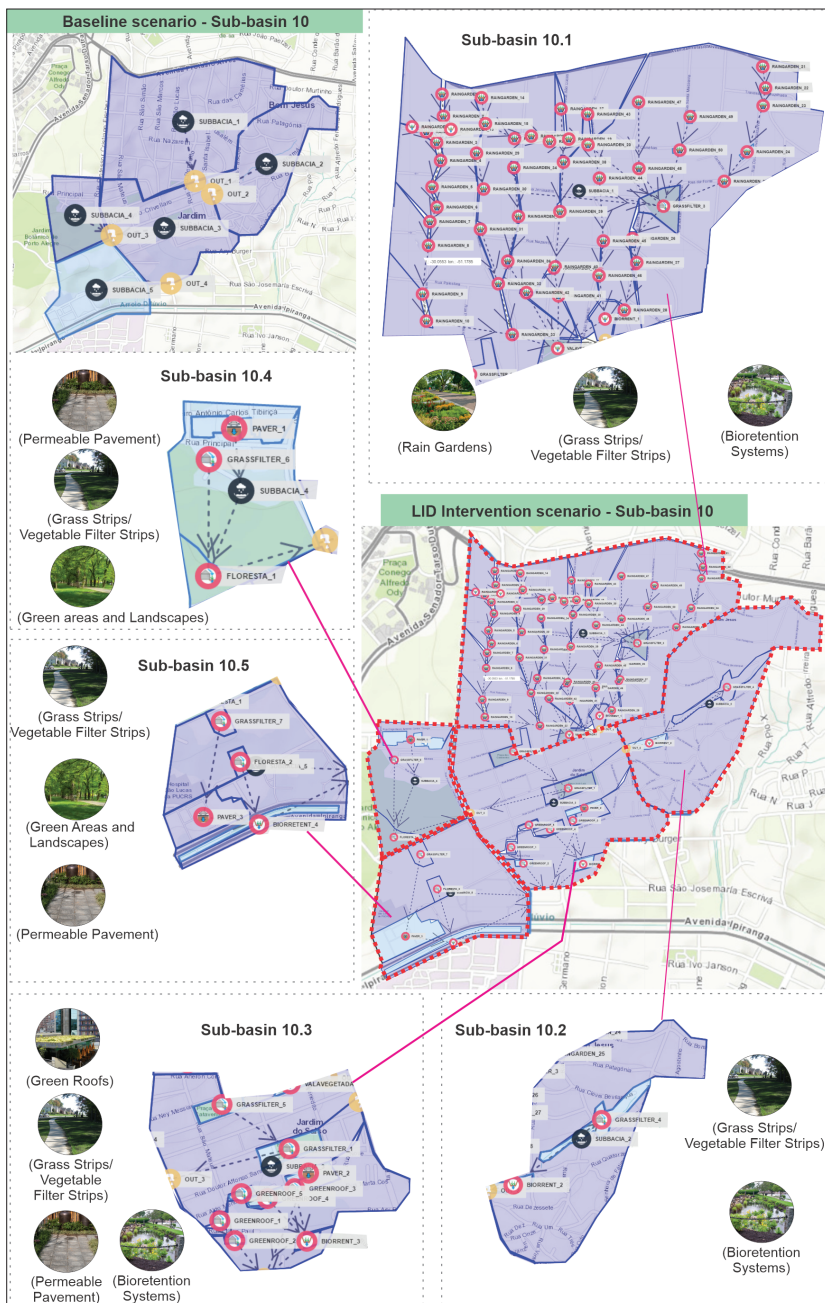


Fig. 6 - Baseline and LID intervention scenarios for Sub-basin 10.

Fig. 6 - Cenários de base e com intervenções LID para a sub-bacia 10.

In the top-left corner, the baseline scenario for sub-basin 10 is depicted. For this project, only discharges from the outfalls of the five micro-basins were inputted into the LID TTT software.

Concerning the LID Techniques integrated into sub-basin 10, it was evident that in micro-basin 10.1, being the highest topographically within the study area, three LID techniques were implemented in the post-development scenario. Upon introducing the residential area to the sub-basin, rain garden techniques were adopted. These techniques, known for their sustainability, aid in diminishing water flow and can lessen the pollutant load carried by runoff, despite appearing like a regular garden (Basdeki *et al.*, 2016). Rain gardens function as shallow vegetated above-ground basins that receive and absorb rainwater, filtering pollutants via porous filter media planted with one or more species of vegetation (Laukli *et al.*, 2022).

Moreover, concerning the rain garden techniques implemented in accordance with the LID TTT software manual, these methods are categorised as bioretention cell types comprising solely of the engineered soil layer without a gravel bed beneath it. Regarding water quantity management, bioretention cells feature in surface depressions, infiltration, and evapotranspiration, while for water quality control in filtered water, the technique involves filtration through soil contact and pollutant absorption by plants (CVC, 2022). To elaborate, 50 units of rain gardens were strategically placed in various locations such as green spaces, squares, parking areas, and along the paved residential streets of the sub-basin. These rain gardens were positioned in areas susceptible to potential flooding within the study area. Their dimensions were set at 2.5x4.5m (similar in size to parking spaces in urban traffic projects), and bioretention ditches were installed to regulate the volume and rate of rainwater runoff from the largest watershed in the study area, in addition to providing aesthetic and social advantages (Fletcher *et al.*, 2014).

Concerning watershed 10.2, given its dense residential nature, the incorporation of grass/plant filter strips with vegetation along channels and at the stream's terminus was feasible (totaling 2,248ha of application of this technique in this watershed). As per the LID TTT software manual, the characteristics of plant filter strips or grass offer additional infiltration for flows exiting a catchment; these areas are typically wide (exceeding 5m) gently sloping vegetation zones situated between hard surfaces

and linear drainage features. Maintaining vegetation in these linear strips to mitigate erosion and assist in concentrating surface runoff in the area (CVC, 2022).

Moreover, in watershed 10.2, 0.785ha of bioretention systems were implemented to mitigate the impacts of flooding. Bioswales and bioretention techniques are classified as excavated surface depressions containing vegetation cultivated in a blend of engineered soil and mulch placed atop a gravel drainage bed. These systems additionally aid in surface or subsurface storage, full or partial infiltration into native soil, and evapotranspiration (CVC, 2022). Concerning water quality management in bioswales, pollutants undergo filtration via mulch/manipulated soil and absorption by plants roots. This contributes significantly to the architectural context, aesthetics, urban amenities, built environment, open space, and landscapes within an established urban setting.

Regarding microbasin 10.3, it was observe that alongside its established urbanization, there were areas suitable for the implementation of LID techniques. As such, green area and landscape techniques were applied, covering approximately 0.58ha. These techniques aid in integrating shallow and depressed areas into urban landscaping, allowing for the storage and infiltration of rainwater runoff cities (CVC, 2022). Additionally, bioretention systems were utilised across an area of 0.45ha, along with grass/plant filter strips spanning 3.10ha in watershed 10.3. Furthermore, to mitigate thermal heat from buildings, green roofs were installed to reduce rainwater runoff by retaining water through vegetative cover on roofs, covering an area of 1.34ha in the watershed.

Additionally, concerning the green roof technique as outlined in the LID TTT software manual, it was shown that disconnecting the roof (bioretention that conveys excess water draining through the soil layer to the roof) directs roof gutters to discharge into landscaped areas and permeable lawns instead of directly into storm drains (CVC, 2022). Finally, permeable pavements were installed in the buildings' parking lots, aiding in flood prevention by preventing the accumulation of large volumes of water on their surface.

In microbasin 10.4, it was observed that the area already had a partial forest region. Consequently, in the deforested, green area and landscape techniques were implemented, covering an area of 1.95ha along with strips of grass/plant filter strips

spanning 0.07ha. For interconnected building areas,, the permeable pavement technique was introduced, aiding in mitigating and reducing rainfall rates. Regarding the paver block and permeable pavement systems technique (approximately 1.20ha applied in watershed 10.4), impermeable paving blocks were laid on a bed of sand or gravel with a storage layer of gravel beneath. This setup allows rainwater to be captured in the open spaces between the blocks and transported to the storage zone, where it can infiltrate the site's native soil (CVC, 2022).

Regarding microbasin 10.5, which also features partial forest areas in its vicinity, green area and landscape techniques were implemented within the deforestation limits, covering an area of 0.66ha. Additionally, permeable pavement techniques were applied across approximately 3.82ha, alongside plant filter strips/grass strips spanning 0.80ha, to enhance pavement permeability and facilitate rainwater absorption.

At the conclusion of the post-development scenario presentation for sub-basin 10 of Arroio Dilúvio, the water report for the Performance Scenario of the LID combinations was generated. As per the LID TTT Software Manual, the combined performance of LID Techniques reduces runoff and employs small-scale distributed structural practices that mimic natural or baseline hydrology by utilising processes such as infiltration, evapotranspiration, collection, filtration, and retention of rainwater.

The rainfall parameters (TABLE IV), are displayed on the software's result screen after completing the baseline and LID interventions scenarios. This screen allows users to view model run results for individual reports and compare results across different scenarios. Additionally, the report presents data for controlling runoff volume, untreated runoff volume, peak runoff flow, and water balance, summarizing the LID techniques implemented within the software-modeled system.

In the study watershed area, the baseline scenario does not reflect pristine hydrology, given the current urbanization level in the city. Additionally, these integrated practices can significantly decrease stormwater flow volume and intensity (CVC, 2022). Therefore, the water modeling test showcases the effectiveness of the LID Techniques implemented in the 228.7ha area of the baseline and scenarios with LID interventions in sub-basin 10 of Arroio Dilúvio (TABLE V).

Regarding rainfall parameters, it was possible to identify that in the 15 mm (72.78 %) and 25 mm project (60.32 %), the runoff volume control was achieved.

TABLE IV - Results Screen – Rainfall Parameters.
TABELA IV - Tela de Resultados – Parâmetros de Chuva.

Water Modeling Properties	Characteristics
Runoff Reduction Control (m ³)	Refers to rainwater or irrigation water flowing over the surface of the land.
Expected runoff volume control (m ³)	Refers to the quantity of runoff that needs to be managed (removed or treated) on-site.
Untreated Runoff Volume (m ³)	Refers to the runoff volume that is reduced through infiltration or evapotranspiration and does not contribute to external runoff.
Peak flow flow (output) (m ³ /s)	Denotes the runoff quantity that was not filtered by one or more LIDs but its retained at the source, thereby not adding to external flow.
Water balance (Reduction of rainwater runoff) mm/%	Refers to the peak flow in the sub-basin, as well as storages and outlet, for both the baseline and scenarios with LID interventions .
Runoff volume control/ Reduction met?	Refers to scenario development and offers feedback to the user on whether the scenario objective was accomplished, with options “Yes” or “No”.

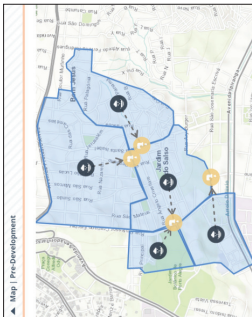
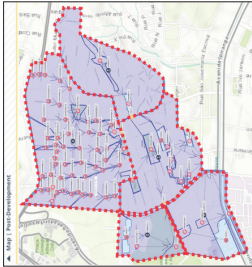
Also noteworthy is that using the LID TTT software, all flow volumes with values exceeding 60 % demonstrated a significant sustainable improvement in the scenario, meeting the flow volume criteria. Regarding the 50 mm parameters, the rains managed to meet 40.24 % of the runoff value classification, while the 100 mm rains achieved only 26.57 % of rainfall reduction, marking the lowest runoff rate according to the LID TTT software.

Taking into account the classifications related to untreated runoff volume, peak runoff flow, and water balance (reduction in rainwater runoff), the four rainfall parameters (15, 25, 50 and 100 mm) yielded positive outcomes for rainwater runoff in the scenarios. Additionally, authors referenced in the literature of this research, such as Lee *et al.* (2012), discussed the implementation of LID facilities in South Korea, and noted that these facilities can reduce peak flood discharges per storm return period by approximately 7 to 15 % on a larger catchment scale. In the study area of the Arroio Dilúvio sub-basin, the low-impact techniques applied surpassed these values, achieving of 26.57 % in the use of LID Techniques with rainfall parameters of 100 mm/24 hours.

Generally, all scenarios incorporating LID techniques experienced a reduction in simulated values, falling within an acceptable range. This suggests that simulated and measured values can more accurately predict changes in urban and environmental

TABLE V - Technical Modeling with LID combination performance.

TABELA V - Modelagem Técnica com desempenho de combinações LID.

Baseline and LID Interventions Scenarios – LID TTT Software Modelling											
Scenario of Sub-basin 10 Arroio Dilúvio with LID combination performance											
Baseline Map (Pre-Development)				Map with LID Interventions (Post-Development)							
											
LID	Rainfall Parameters			15 MM		25 MM		50 MM		100 MM	
	Size of the project area of sub-basin 10 of Arroio Dilúvio: 2,287 km ²			Pre Project	Post project	Pre Project	Post project	Pre Project	Post project	Pre Project	Post project
	Runoff Reduction Control (m ³)			33.55	33.50	55.91	55.83	111.82	111.65	223.65	223.31
	Expected runoff volume control (m ³)			5.509	24.330	5.936	33.610	6.580,27	44.934,0	7.115,92	59.444,65
	Reduction in the volume of runoff supplied (m ³)			5.509	24.328	5.936	33.610	6.580,2	44.927,3	7.115,92	59.444,65
	Untreated Runoff Volume (m ³)			27.980	9.100	49.960	22.195	105.210	66.682	216.720	164.045
	Peak flow flow (output) (m ³ /s)			0.456 m ³ /s	0.264 m ³ /s	1.100 m ³ /s	0.750 m ³ /s	3.334 m ³ /s	2.641 m ³ /s	10.152 m ³ /s	8.142 m ³ /s
RAINFALL 24 hour period	Water balance (Reduction of rainwater runoff) mm/%			4.08mm	10.89 mm	5.52mm	15.07 mm	9.02mm	20.11 mm	16.02mm	26.59 mm
	Runoff volume control/Reduction met?			27.24%	72.78%	22.10 %	60.32 %	18.05%	40.24%	16.01%	26.57%
				Yes		Yes		No		No	

quality through water modelling methods and projects. Consequently, flood control can be optimised with low-impact development techniques, as demonstrated by the LID TTT software. Sustainable techniques can be implemented in the Arroio Dilúvio sub-basin to integrated various landscape elements that support sustainable stormwater management. Following the evaluation of the proposed method using QGIS and LID TTT software, the final phase of this methodology aimed to assess the applicability and usefulness of LID techniques for municipalities in southern Brazil through a confirmatory focus group.

Presenting LID Scenarios to the Focus Group

The fourth and final phase of the method involved presenting proposals for LID application, followed by organizing results for presentation, discussion and dissemination of the main evaluation findings. This analysis assessed the results, simplifying knowledge dissemination for potential application of LID techniques in urban and sustainable city planning. Municipal technicians analyzed the resulting information through a focus group, aiming to facilitate its potential use in improving urban drainage relations in cities by implementing LID techniques that could be explored in managing municipalities in southern Brazil. Presenting and discussing the results enabled drawing general considerations about the proposed methodology's outcomes (fig. 7).

The study aimed, via the proposed methodology, to evaluate LID techniques across various scenarios and ascertain their advantages, advocating for these techniques as sustainable strategies to promote their adoption in Brazilian municipalities. A 1-hour and 20-minute video conference was held on Google Meet, with the municipal technicians involved, allowing the presentation of the conducted studies. Additionally, the research focus group, comprising eight participants, was conducted via video conference, as detailed in TABLE VI.

After demonstrating the interface of LID TTT Software and its application to the Arroio Dilúvio Sub-Basin 10 project, which included an overview of the LIDs tools and techniques, the baseline and with LID interventions scenarios and the

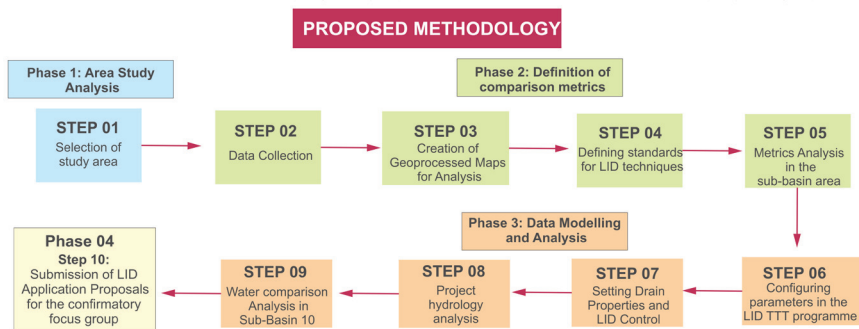


Fig. 7 - Summary of the Proposed Methodology.

Fig. 7 - Resumo da metodologia proposta.

TABLE VI - Summary Structure Confirmatory Focus Group.

TABELA VI - Estrutura Resumida do Grupo Focal Confirmatório.

Confirmatory Focus Group Month/Year Performance May/2023 Shift Night	Participants' Role	The Participant's Municipality of Employment
	Architect and Urban Planner (MS.c) – Dept. Urban planning	Toledo, Paraná
	Topographer and Civil Engineer – Dept. of Topography and Urbanism	
	Environmental Engineer – Dept. Environment and Sanitation	
	Architect and Urban Planner – Dept. Monitoring the Master Plan (Project Approval)	Itajaí, Santa Catarina
	Architect and Urban Planner – Municipal Department of Public Works	
	Architect and Urban Planner (MS.c) – Municipal Department of Works and Infrastructure	Porto Alegre, Rio Grande do Sul
	Architect and Urban Planner – Municipal Secretariat for the Environment	
	Architect and Urban Planner – Urban Planning Department	

report on sustainable techniques generated by the software, a debate was initiated with the team. Each participant shared their considerations and perceptions of the presentation. To evaluate the municipal technicians' **perception of the method's usefulness**, an interview was conducted with four questions presented at the conclusion of the methodology presentation.

Overall, there was a consensus within the group that the merit of the work lies in the usefulness of the proposed methodology, as it directly addresses the need for public authorities to enhance urban drainage management in a sustainable manner. The participating technicians believe that the method is valid and the software is useful for managing urban drainage in the south of the country, providing a valuable tool for sustainable decision-making applications. Additionally, the method's ease of use allows for its potential application in other Brazilian municipalities.

Another aspect that garnered consensus within the group was the usefulness of these techniques in professional presentations and solutions. Given the failed drainage in various parts of the city, such strategies could be employed in the future or even in areas of existing consolidated urbanisation. These approaches have the potential to resolve issues related to water drainage, thereby preventing future or long-term problems in municipalities.

In terms of facilitating the comprehension of results for knowledge dissemination, technicians have recognized the importance of increasing discussions on low impact development (LID) techniques among municipalities through lectures and studies. This approach aims to foster better communication among departments related to urban planning and public works, as well as with designers, developers and society. The goal is to collectively explore avenues for implementing these sustainable techniques.

It was also noted that developing pilot projects is essential for involving experimental applications of LID devices in cities pursuing sustainable development. These academic studies enable the evaluation of the effects produced by combining of different devices and the feasibility of sustainable alternatives like the ones presented in this research. Furthermore, technicians highlighted that current city halls and administrative management often face challenges in implementing new ideas, equipment, and new technologies. The collaboration between academia and practitioners helps facilitate such sustainable implementations, as it can be a time-consuming process to initiate pilot projects.

Another need highlighted by the technicians for dissemination sustainability knowledge is through modelling programs with BIM Systems, which present construction information modelling (such as QGIS and LID TTT used in this

research). These systems support digital transformation in the architecture, engineering, and construction sector, working more effectively in the long term by connecting various city hall project departments, enabling, for instance, the integration of projects involving rainwater use, urban planning, work inspection, and project approval. However, there is still a gap in knowledge and training for professionals. The insertion of academic knowledge into public administrations contributes to this development, as professionals often lack access to the technical information needed to apply it effectively in the urban landscape and to promote more sustainable projects.

Additionally, work related to LID applications in southern Brazilian municipalities is currently scarce, making it difficult for public managers to have confidence in the efficacy of sustainable techniques such as those presented for urban drainage projects. This results in the continued reliance on conventional drainage techniques that have been used for years.

Another need highlighted by technicians for improved knowledge sharing between municipalities would be increased information exchange between academia and professionals in the field. This could be achieved by encouraging more academics to participate in city hall councils, leading to greater understanding of practices and management projects for sustainable cities. This would provide enhanced technical knowledge and theoretical basis drawn from literature related to sustainability. Consequently, public officials would be better equipped to evaluate techniques and make informed decisions regarding their application in cities. Technicians have expanded the debate, consistently seeking effective contributions to addressing real-world challenges encountered by teams in municipalities across Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul.

Conclusion

The study aimed to evaluate LID techniques and identify benefits promoting them as sustainable strategies in urban areas, supporting their use in municipalities and addressing future or long-term planning challenges. Diverse approaches in LID

application across countries, including Singapore, China, New Zealand, Sweden, the United States, Ethiopia, Brazil, Turkey and, South Korea highlight the need for a new methodology tailored to the specifics of southern Brazil, potentially enabling more resilient and sustainable city redesign.

Incorporating customised LID techniques can optimise stormwater management, reduce urban flooding impacts, and enhance environmental quality and community life. This study implemented six techniques together to assess their effectiveness in reducing stormwater runoff under scenarios of 15 mm, 25 mm, 50 mm, and 100 mm precipitation. Significant reductions in runoff volume demonstrated the LID techniques 'capability to mitigate urbanization effects on the hydrological cycle.

Simulation scenarios in the LID TTT software indicated decreased simulated values, showcasing that sustainable techniques such as Green Roofs, Permeable Pavement, Bioretention Systems, Green Areas and Landscapes, Rain Gardens and Grass Strips/Vegetable Filter Strips improve flood control and forecast positive changes in urban and environmental quality in sub-basin areas.

In the final stage of the methodology, positive evaluation of the research by technicians through a focus group deemed the method valuable for sustainable urban drainage planning and management in municipalities. According to technicians, developing such methods involves crucial diagnostics and scenarios for building sustainable cities.

This tailored methodology facilitated the creation of specific sustainable projects considering soil conditions, terrain, topography, land cover, classification, precipitation type, and the application of LID techniques, thereby promoting more sustainable cities better prepared to address water management issues.

Further exploration is needed to comprehensively investigate the individual performance of each LID technique, comparing their efficacy when implemented separately or in combination. This detailed approach will enhance understanding of the advantages and limitations of each LID technique, aiding continuous improvement of sustainable urban drainage practices.

The research aims to advance LID techniques application, proposing an evolution in drainage systems. Rather than replacing conventional systems, the

goal is to complement and enhance existing urban drainage in municipalities. The main expectation is to contribute to extensive applications for managing urban stormwater in urban streams, restoring and maintaining hydrological and sustainable balance in large cities.

Therefore, LID techniques implemented through QGIS and LID TTT tools represent a significant contribution to urban planning, promoting more sustainable environments and enhancing quality of life in the region.

References

- Ahiablame, L. M., Engel, B. A., Chaubey, I. (2013). Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. *Journal of environmental management*, v. 119, 151–161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.019>
- Basdeki, A., Katsifarakis, L., Katsifarakis, K. L. (2016). Rain gardens as integral parts of urban sewage systems-a case study in Thessaloniki, Greece, *Procedia engineering*, v. 162, 426–432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.084>
- Berndtsson, J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological engineering*, v. 36, n.º 4, 351–360. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Jia, H., Lu, Y., Shaw, L. Y., & Chen, Y. (2012). Planning of LID–BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village. *Separation and Purification Technology*, 84, 112–119.
- Chua, L. H., Tan, S. B., Sim, C. H., & Goyal, M. K. (2012). Treatment of baseflow from an urban catchment by a floating wetland system. *Ecological Engineering*, 49, 170–180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.031>
- CVC - REDIT VALLEY CONSERVATION. Conservation Ontario. Low Impact Development, 2022. Available online: <https://cvc.ca/>. Accessed 24 fev. 2022.
- Dwyer, J. F., Childs, G. M. (2004). Movement of people across the landscape: a blurring of distinctions between areas, interests, and issues affecting natural resource management, *Landscape and Urban Planning*, v. 69, n.º 2–3, 153–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.09.004>
- Ferguson, B. K. (1991). Landscape hydrology, a component of landscape ecology. *Journal of environmental systems*, v. 21, n.º 3, 193–205. DOI: <https://doi.org/10.2190/8hle-91g9-lp0r-xhyg>
- Fileni, F. de M., Costa, M. E. L., Alves, C de M.A. (2019). The application of LIDs in Savanna region for mitigation of flooded areas. RBRH 24, e40. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180177>
- Fletcher, T. D., Vietz, G. J., Walsh, C. J. (2014). Protection of stream ecosystems from urban stormwater runoff; the multiple benefits of an ecohydrological approach. *Progress in Physical Geography*, 543–555.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (2021). Censo Brasileiro, 2021. Porto Alegre, 2022.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2022). Available online: <https://www.gov.br/inpe/pt-br>. Accessed: 25 Nov. 2022.

- Jemberie, M. A., Melesse, A. M. (2021). Urban flood management through urban land use optimization using LID techniques, city of Addis Ababa. *Ethiopia. Water*, v. 13, n. 13, 1721. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13131721>
- Laukli, K., Gamborg, M., Knapp, T., Vike, E. (2022). Soil and plant selection for rain gardens along streets and roads in cold climates: Simulated cyclic flooding and realscale studies of Five herbaceous perennial species. *Urban For Urban Green*, v.68.
- Lee, J. M., Hyun, K. H., Choi, J. S., Yoon, Y. J., & Geronimo, F. K. F. (2012). Flood reduction analysis on watershed of LID design demonstration district using SWMM5. *Desalination & Water Treatment*, v.38, 255–261.
- Li, Q., Wang, F., Yu, Y., Huang, Z., Li, M., Gao, Y. (2019). Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction: a case study in Guangxi, China. *Journal of Environmental Management*, 231, 10–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.024>
- MAPBIOMAS, Projeto. Coleção 7.0 MapBiomas Brasil da série anual de mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, 2019. Available online: <https://mapbiomas.org/>. Accessed 10 Set 2022.
- Marostica, S. D., Yonegura, V. B., Domeneghini, J., Silveira, A. L. L. (2022). Potencialidades do Programa LID TTT no estudo de caso de Porto Alegre, RS Brasil. XXX Congresso Latinoamericano de Hidráulica. Em: Volúmen 05, *Ingeniería e Infraestructuras Hidráulicas*. Madrid. España: IAHR Publishing, 94–104.
- PDDU POA - PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE PORTO ALEGRE (2014). Rhama Consultoria Ambiental e Perfil Engenharia e Ambiente. Relatório Final, PDDUrb Dilúvio. Elaboração de 3ª etapa, atualização e complementação cadastral no município de Porto Alegre.
- Reichardt, K. (1986). *A água em Sistemas Agrícolas*. São Paulo: Manole, 188 p.
- Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., ... & Brown, R. R. (2008). Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. *Environmental management*, 42, 344–359. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9119-1>
- Samouel, S., Özger, M. (2020). Evaluating the performance of low impact development practices in urban runoff mitigation through distributed and combined implementation. *Journal of hydroinformatics*, v. 22, n.º 6, 1506–1520. DOI: <https://doi.org/10.2166/hydro.2020.054>
- STEP – SUSTAINABLE TECHNOLOGIES: EVALUATION PROGRAM (2018). Low Impact Development Treatment Train Tool, “Software LID TTT”. Available online: <https://sustainabletechnologies.ca/lid-ttt/> Accessed: 20 Set. 2021.
- TRCA - TORONTO REGION CONSERVATION AUTHORITY (2010). Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide. Available online: <https://trca.ca/>. Accessed 25 Mar. 2022.
- Tirpak, R. A., Winston, R. J., Simpson, I. M., Dorsey, J. D., Grimm, A. G., Pieschek, R. L., ... & Carpenter, D. D. (2021). Hydrologic impacts of retrofitted low impact development in a commercial parking lot. *Journal of Hydrology*, 592, 125773. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125773>
- Trowsdale, S. A., Simcock, R. (2011). Urban stormwater treatment using bioretention. *Journal of hydrology*, v. 397, n.º 3–4, 167–174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.023>
- Vijayaraghavan, K., Joshi, U. M., Balasubramanian, R. (2012). A field study to evaluate runoff quality from green roofs. *Water Research*, 46(4), 1337–1345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.050>

**METODOLOGIA DE ESTUDO INTEGRATIVO PARA
ANÁLISE DO RISCO DE INUNDAÇÕES:
MUNICÍPIOS DE TAQUARA E PAROBÉ - RS - BRASIL**
INTEGRATIVE STUDY METHODOLOGY FOR FLOOD
RISK ANALYSIS: MUNICIPALITIES OF TAQUARA
AND PAROBÉ - RS - BRAZIL

Igor da Silva Knierin

Universidade Federal de Santa Maria, Laboratório de Geologia Ambiental (Brasil)
Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia
ORCID: 0000-0002-0825-5425 igorknierin@gmail.com

Luís Eduardo de Souza Robaina

Universidade Federal de Santa Maria, Laboratório de Geologia Ambiental (Brasil)
Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia
ORCID: 0000-0002-2390-6417 lesrobaina@yahoo.com.br

Romario Trentin

Universidade Federal de Santa Maria, Laboratório de Geologia Ambiental (Brasil)
Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia
ORCID: 0000-0002-0615-2801 romario.trentin@gmail.com

Resumo: Este trabalho possui, como área de estudo a área urbana dos municípios de Taquara e Parobé, situados no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Paranhana, com características naturais que tornam a área suscetível aos processos de inundação, de tal modo a determinar as áreas suscetíveis ocupadas por diferentes usos urbanos como as áreas em Perigo. Nessas áreas, para definição do grau de perigo, foram analisadas as distâncias das edificações ao curso fluvial, a frequência de eventos, e a dimensão do curso fluvial, sendo o rio Paranhana o de maior dimensão em relação aos seus afluentes. A vulnerabilidade indica as possíveis consequências e é

analisada por três indicadores: Fator exposição; Dados socioeconômicos; Padrão de ocupação. O risco de inundação foi determinado a partir da interação entre as duas variáveis: Perigo e Vulnerabilidade. As áreas de inundações cobrem aproximadamente 9,27 km² dos municípios. No município de Taquara as inundações ocorrem a oeste da área urbana, na planície de inundação do rio Paranhana e de seus respectivos afluentes. Na área central, as inundações são decorrentes do arroio Taquara. No município de Parobé, elas ocorrem a leste da área urbana, na planície de inundação do rio Paranhana e de seus afluentes.

Palavras-chave: Risco, desastres, fluvial.

Abstract: This work has, as a study area, a spatial cut of the urban area of the municipalities of Taquara and Parobé, located in the lower course of the hydrographic basin of the Paranhana river. The natural characteristics that make the area susceptible to flooding processes. Hazard is identified in susceptible areas with occupation in different uses. In these areas, to define the degree of Hazard, the distances from buildings to the river course, the frequency of events, and the size of the river course, with the Paranhana River being the largest in relation to its tributaries. Vulnerability is analyzed by three variables defined as: Exposure factor; Socioeconomic data; Occupation pattern. The flood risk was determined as a result the interaction between the two variables: Hazard and Vulnerability. Flood areas cover approximately 9.27 km² in the municipalities. In the municipality of Taquara, floods occur in the West of the urban area, in the floodplain of the Paranhana river and its tributaries. In the central area, the floods are due to the Taquara stream. In the municipality of Parobé, they are located in the East of the urban area in the floodplain of the Paranhana river and its tributaries.

Keywords: Risk, disasters, river.

Introdução

Entre os processos que podem ocasionar situações de risco e, por conseguinte, um desastre, destacam-se as inundações. Esse tipo de processo caracteriza-se pelo transbordamento das águas de um curso d'água, as quais atingem a planície de inundação ou área de várzea (BRASIL, 2007; Amaral e Ribeiro, 2015). Quando isso ocorre e essas áreas encontram-se ocupadas por uma comunidade, consequências com danos podem ser deflagradas.

A expansão dos centros urbanos em áreas suscetíveis aos danos como planícies de inundação, contribuiu para aumentar as áreas de risco e, conseqüentemente, para os impactos causados pelos processos de inundação (Wisner *et al.*, 2003; Amaral e Ribeiro, 2015). O espaço das cidades e a sua (re)produção são um reflexo das estruturas sociais que os moldam. Por esse motivo, uma estrutura social dividida em classes torna-se produtora de um espaço urbano também dividido, marcado pelos diferentes usos e funções do solo e pela segregação socioespacial (Souza e Santos, 2006). Para Moraes (2008) e Souza (2009) no Brasil, assim como em outros países da periferia capitalista, grande parte do acesso à moradia ocorre às margens do mercado formal. Portanto as áreas de risco de desastres (re)produzem-se no espaço urbano a partir da ocupação de locais naturalmente suscetíveis aos processos naturais, como nascentes e margens de cursos d'água periodicamente afetados por inundações. Esses espaços são ocupados por sujeitos, geralmente de maior vulnerabilidade socioeconômica, em função do processo de segregação residencial, vinculado ao valor imposto ao uso da terra.

Este trabalho possui como área de estudo a área urbana dos municípios de Taquara e Parobé, situados no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Paranhana, localizado na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, a 85 km de distância de Porto Alegre, capital do estado (fig. 1). As características naturais tornam a área suscetível aos processos de inundação decorrentes do rio Paranhana e de seus afluentes e, a partir da (re)produção do espaço e intervenções antrópicas, materializaram-se as áreas de risco.

Os eventos de inundação ocasionaram danos e perdas de diferentes intensidades aos sujeitos e seus ativos. As intervenções antrópicas executadas sobre elementos

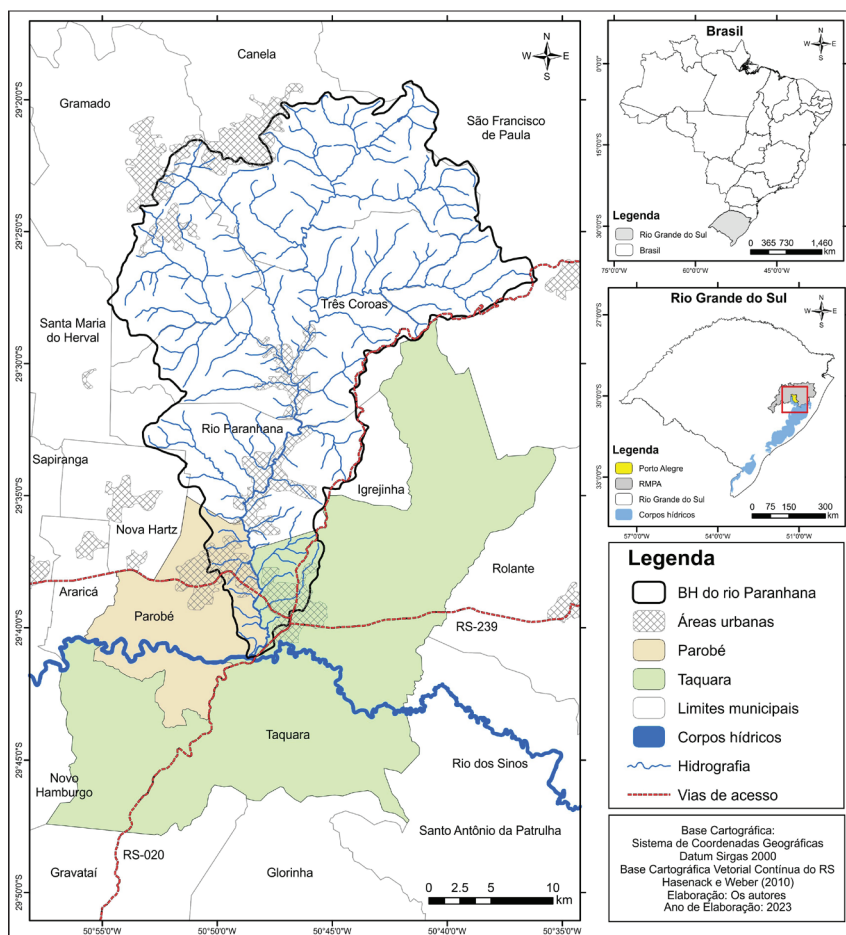


Fig. 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana e dos municípios de Taquara e Parobé.

Fig. 1 - Location map of the Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana and the municipalities of Taquara and Parobé.

naturais (retificações e canalizações de cursos d'água, impermeabilização do solo, retirada da cobertura vegetal, entre outros) atuam negativamente e condicionam ou agravam o risco de desastres. Essa problemática é corroborada pelo histórico de eventos de inundação que ocorrem nessa região, que registra entre 1975 e 2020, um total de 77 eventos de inundação. Em dezenove vezes, foi decretada Situação

de Emergência, Estado de Emergência ou Estado de Calamidade Pública pelos municípios para atuar sobre os danos ocorridos. Como resultado disso, ao longo desse período, milhares de pessoas desalojadas ou desabrigadas, perdas econômicas, danos a bens materiais e equipamentos urbanos, privação da circulação, danos emocionais e à vida.

O estudo apresenta um modelo de análise abrangente e integrativo, que se baseou na identificação do perigo de inundação e na vulnerabilidade dos sujeitos e seus ativos. A combinação das distintas variáveis fornece uma avaliação multidisciplinar que combina informações qualitativas e quantitativas com auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A noção de risco é complexa, sendo que, na literatura sobre riscos de inundação, são apresentados diversos conceitos como perigo, vulnerabilidade, exposição e risco. As relações entre esses termos em diversas vezes não são claras, como também os termos podem apresentar significados distintos de acordo com o contexto em que são empregados e a área de atuação e origem diferentes dos pesquisadores (Bharwani *et al.*, 2008; Veyret e Richemond, 2015a; Brito, 2018).

Essa pesquisa aborda o desastre como a ocorrência de um evento natural, que representa um perigo e afeta de maneira negativa uma população, expressa por sua vulnerabilidade. Portanto o risco é entendido como a probabilidade de consequências prejudiciais ou danosas, resultantes da interação entre um perigo e as condições de vulnerabilidade de um dado elemento, grupo ou comunidade (UNISDR, 2009; Tominaga, 2015; Menezes, 2018).

O perigo representa o resultado de um evento adverso com potencial de causar danos (sociais, econômicos, estruturais, ambientais, entre outros) a um determinado ativo. A sua denominação pode ser variada, enquanto, na língua francófônica, adotou-se o termo *álea*, as anglo-saxônicas utilizaram *hazard* e as espanholas, *peligro*. No Brasil, as traduções podem ser expressas, como perigo, ameaça, eventos perigosos, etc. (Castro, 1998; Castro, 2000; Marandola Jr. e Hogan, 2004; UNISDR, 2009; Zanella e Olímpio, 2014; Veyret e Richemond, 2015b). Para estabelecer o zoneamento do perigo existe um grande universo de indicadores conforme apresentado em variadas pesquisas (Komi *et al.*, 2016; Jamrussri e Toda, 2018; Luu e Meding, 2018; Afifi *et al.*, 2019; Abdrabo *et al.*, 2020).

Para que o risco ocorra, é necessário que o perigo afete elementos expostos a ele, nesse entendimento, a exposição representa o nível ao qual pessoas, edificações, infraestruturas estão sujeitas, em uma área com probabilidade de ser afetada por um perigo (Zuquette, 2018). Neste sentido, a vulnerabilidade representa a propensão dos elementos expostos, em sofrer efeitos adversos quando impactados por um perigo ou ameaça. Dessa forma, determinar a capacidade desses elementos de enfrentar o problema, ou seja, a sua vulnerabilidade, representa parâmetro fundamental para indicar o risco (UNISDR, 2009; Robaina, 2013; Brito, 2018).

A vulnerabilidade consiste em uma variável multidimensional (Cutter, 2003) e complexa devido à incerteza para sua medição e classificação (Tate, 2013). Ademais, está intimamente ligada aos processos sociais que se desenvolvem nas áreas de risco e, frequentemente, possui relação com a fragilidade, suscetibilidade ou falta de resiliência da população aos diversos perigos e a sua avaliação combina diferentes dimensões (Vojinović *et al.*, 2014; Fernandez *et al.*, 2016). Como exemplo de método para avaliar a vulnerabilidade, Goerl *et al.* (2012), Brito *et al.* (2017) e Ramos *et al.* (2018) utilizaram indicadores socioeconômicos oriundos do censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Em geral, uma população com *status* socioeconômico relativamente maior, o acesso a recursos e atributos de ambiente construído é menos vulnerável e, normalmente, tem melhor desempenho durante e após eventos de desastre (Aksha *et al.*, 2020). Em outra forma de abordagem, são realizadas implicações para uma determinada área de estudo, sendo estabelecidos os indicadores dentro da área de interesse, considerando as características como o padrão construtivo das edificações, tipos de usos e atividades expostas (Kormann *et al.*, 2013; Freitas, 2017; Ramos *et al.*, 2018; Knierin *et al.*, 2019). Em grande parte desses estudos, a vulnerabilidade é analisada com viés da estrutura física das edificações e considerando condições de infraestrutura urbana.

De acordo com a discussão exposta, observa-se o quanto é complexa a análise do risco de inundação, necessitando a abordagem de diferentes aspectos na área de estudo, como o perigo, os elementos expostos e a vulnerabilidade. O sucesso nessa avaliação é condicionado às características *in loco* e de disponibilidade de dados consistentes, em que a escolha do método empregado deve estar centralizada no

melhor resultado. Considerando áreas em que a disponibilidade de dados é limitada, uma abordagem participativa e mista, que combine a participação dos sujeitos que sofrem os efeitos dos eventos, agentes públicos, análises documentais de diferentes fontes, análises *in loco*, entre outras abordagens, podem contribuir para superar as limitações e tornarem o produto final e seu posterior uso mais eficazes.

As geotecnologias possibilitaram avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, como também em ações de planejamento, processos de gestão, manejo e demais aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico (Fitz, 2008). Diversos pesquisadores como Kienberger *et al.* (2009), Sar *et al.* (2015), Fernandez *et al.* (2016), Komi *et al.* (2016), Luu e Meding (2018), Jamrussri e Toda (2018), Afifi *et al.* (2019), Abdrabo *et al.* (2020), entre outros, buscaram analisar áreas de risco de inundação e utilizaram, para isso, o arcabouço geotecnológico para a solução de diferentes questões e mapeamentos.

Metodologia

Para a elaboração do banco de dados cartográfico, foram utilizadas imagens ópticas de alta resolução espacial da área urbana disponibilizadas no software ArcGIS e pontos coletados em trabalhos de campo com equipamentos de posicionamento global. Mapas temáticos e bases vetoriais obtidos por meio do IBGE (2010) referentes aos Setores Censitários, bem como informações administrativas gerais.

Os primeiros procedimentos metodológicos buscaram identificar, na área urbana dos municípios, as áreas suscetíveis às inundações dos cursos fluviais. Para isso desenvolveu-se a cartografia dos canais fluviais na área urbana, cartografia do relevo com a identificação dos elementos planos, junto aos canais fluviais, somados com dados disponíveis nos acervos da Defesa Civil como registros de áreas afetadas e sua frequência, estudos prévios e trabalhos de campo (fig. 2).

O produto que segue é a geração do mapa de ocupação através de imagens de satélite em que buscou-se identificar as áreas suscetíveis ocupadas por diferentes usos urbanos, em especial as habitações. Nessas áreas foram determinadas as distâncias das edificações em relação aos cursos fluviais, a frequência de eventos, obtida através

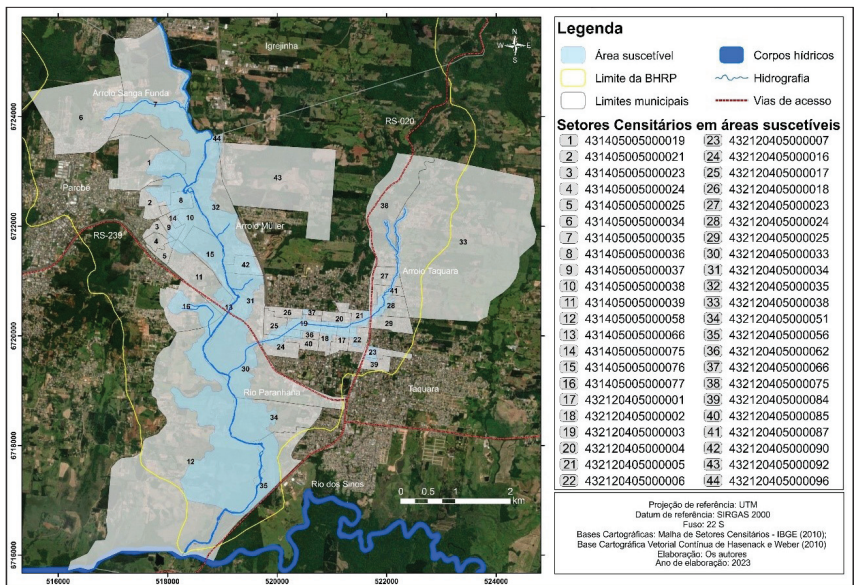


Fig. 2 - Mapa das áreas suscetíveis às inundações e setores censitários de Taquara e Parobé.

Fig. 2 - Map of areas susceptible to flooding and census sectors of Taquara and Parobé.

do inventário disponível para o período de 1975 a 2020, e a dimensão do curso fluvial, onde se considerou que os processos associados diretamente ao rio Paranhana são mais severos que os associados aos seus afluentes (TABELA I), indicadores esses que permitiram a determinação do grau de Perigo.

TABELA I - Indicadores utilizados para determinar o perigo de inundação.

TABLE I - Indicators used to determine flood hazard.

	Indicador	Dado utilizado
Perigo de inundação	Distância do curso d'água	Áreas suscetíveis as inundações dos cursos fluviais, imagem óptica de satélite, trabalhos de campo e pontos de controle
	Frequência de inundação	Inventário de eventos de inundação e trabalhos de campo
	Dimensão do curso d'água	Inventário de eventos de inundação e trabalhos de campo

O mapeamento da vulnerabilidade indica as áreas onde o evento pode causar danos, a frequência com que esse evento pode ocorrer e a severidade dada pelas características dos cursos fluviais. A sua avaliação combina diferentes dimensões,

bem como dados quantitativos e qualitativos. Utilizou-se uma proposta de integrar dados obtidos em análise espacial, observações de campo e informações disponíveis em setores do censo demográfico fornecidos pelo IBGE para determinar a capacidade dos habitantes de enfrentar o problema. A vulnerabilidade foi analisada por três variáveis definidas como: fator exposição; dados socioeconômicos; padrão urbano, apresentados na TABELA II com todos os indicadores.

TABELA II - Variáveis e indicadores utilizados para determinar a vulnerabilidade.

TABLE II - Variables and indicators used to determine vulnerability.

Fatores	Indicador de vulnerabilidade	Variáveis	Fonte
Exposição	Densidade demográfica	Percentual de pessoas por km ²	Censo demográfico
	Densidade de domicílios	Percentual de domicílios por km ²	Censo demográfico
	Área suscetível	Percentual da área do setor censitário que é suscetível à inundação	Mapa de suscetibilidade e setores censitários
Dados socioeconômicos	Renda mensal	Percentual de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal de até 1 salário-mínimo	Censo demográfico
	Crianças e idosos	Percentual de crianças e idosos	Censo demográfico
Padrão urbano	Tipo de material da edificação	Alvenaria, madeira ou misto (madeira e alvenaria) e material reciclado	Trabalhos de campo
	Adaptação contra inundação	Presente ou ausente	Trabalhos de campo
	Infraestrutura urbana	Presente ou ausente/precária	Trabalhos de campo

O fator exposição compreende o número de pessoas ou ativos localizados em áreas sujeitas a perigos (Brito, 2018; Komi *et al.*, 2016; Luu e Meding, 2018). As áreas edificadas em cada setor censitário são obtidas com o uso de imagens onde foi realizada a vetorização para obtenção da mancha urbana. Já o número de residentes é retirado dos dados do censo demográfico. O ordenamento da ocupação assegura condições locais adequadas e de definição precisa facilitando a mobilidade na área, assim como possibilita a implantação segura de vias e redes de esgoto e de drenagem urbana.

Com relação aos dados socioeconômicos as variáveis mais utilizadas, em todos os trabalhos pesquisados, são a renda mensal e a faixa etária da população. Esses indicadores representam as condições econômicas para lidar com os impactos,

possíveis restrições na mobilidade, na autonomia e capacidade de decisão. Na fig. 2 estão apresentados os setores analisados para o estudo, por se encontrarem em áreas afetadas pelas cheias do rio Paranhana e/ou seus afluentes.

A variável padrão urbano é analisada com base na estrutura física das edificações e considerando condições de infraestrutura urbana, através de trabalhos de campo e estabelecendo um zoneamento em que são delimitados setores a partir do predomínio de uma condição. As moradias são analisadas considerando o material construtivo e a presença ou ausência de adaptações contra inundações. Representa uma análise econômica indireta e indica condições de resistência a destruição pela ocorrência de um evento, condições de locomoção, exposição à água contaminada e doenças de veiculação hídrica.

A utilização desses dados do censo demográfico, em estudos de risco, traz um desafio metodológico, que consiste em buscar a melhor associação entre os setores censitários e os polígonos de áreas de perigo, devido às diferenças de geometria entre eles. Para a melhor análise ainda foi realizada a comparação entre as áreas ocupadas e de perigo, por meio de análise visual de imagens de satélite. Utiliza-se o Método Dasimétrica Binária (MDB) que é um tipo de interpolação zonal que se baseia em dados auxiliares especialmente aqueles provenientes do sensoriamento remoto (Holt *et al.*, 2004; Ramos, 2017; Ramos *et al.*, 2018).

Uma vez que os indicadores possuem unidades de medidas diferentes, foi realizada a padronização dos valores. Para tanto, utilizou-se o método adotado por Buzai (2014). Cada indicador foi escalonado com valores de 0 (menor perigo/vulnerabilidade) a 1 (maior perigo/vulnerabilidade), considerando uma tendência linear entre os valores mínimos e máximos observados. A normalização Min-Max é obtida por meio da equação:

$$X_{\text{norm}} = (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$$

Onde:

X: valor original,

X_{min} : valor mínimo do conjunto de dados,

X_{max} : valor máximo.

Os indicadores utilizados foram definidos com base em decisão multicritério, em especial, o Processo Analítico Hierárquico (AHP) com a modelagem espacial em

ambiente de um SIG. Para dar suporte à tomada de decisão, com possibilidade de análise comparativa de fatores ou atributos e de múltiplos cenários, esses métodos são utilizados em análises comparativas (Pimenta *et al.*, 2019). Durante o processo, são atribuídos pesos específicos para cada critério, quantificando a importância relativa de cada um e, com isso, um critério pode ter diferentes graus de relevância (Voogd, 1983; Ramos, 2017).

O método AHP é adotado para tomada de decisão multicritério e serve como uma base para integrar e determinar a importância das variáveis-critérios (Althuwaynee *et al.*, 2014; Kazakis *et al.*, 2015; Kabenge *et al.*, 2017; Hoque *et al.* 2018, Aksha *et al.*, 2020). Foi desenvolvido por Saaty (1991) e consiste na comparação de critérios, questionando quanto um é mais ou menos importante que o outro, por meio de uma escala pré-definida, de tal modo a também possibilitar realização de uma avaliação do grau de inconsistência dos julgamentos realizados e, assim, assegurar a coerência das avaliações realizadas (fig. 3).



Fig. 3 - Escala de intensidade de importância relativa entre os fatores
(Fonte: Adaptado de Saaty, 1991).

*Fig. 3 - Intensity scale of relative importance between the factors
(Source: Adapted from Saaty, 1991).*

Em razão da sua simplicidade e flexibilidade, essa técnica é amplamente utilizada (Brito e Evers, 2016; Ramos, 2017). Na pesquisa a ponderação dos pesos dos indicadores do perigo e da vulnerabilidade foram estabelecidos de acordo com a TABELA III.

As classes de perigo e vulnerabilidade foram estabelecidas em graus baixo, médio, alto e muito alto foram com base no método de quebras naturais na distribuição dos dados da variável (Ferreira, 2014). Os mapas de perigo e vulnerabilidade foram validados a partir dos trabalhos de campo na área de estudo com suporte dos técnicos das Defesas Civas dos municípios de Taquara e Parobé (fig. 4).

TABELA III - Matriz com a ponderação das variáveis de perigo e da vulnerabilidade.

TABLE III - Matrix with the weighting of the hazard and vulnerability variables.

Perigo	Indicador	Distância do curso d'água	Frequência de inundação	Dimensão do curso d'água	Peso
	Distância do curso d'água	1	3	5	63.699
	Frequência de inundação	1/3	1	3	25.828
	Dimensão do curso d'água	1/5	1/3	1	10.473
CR = 0,037					
Vulnerabilidade	Indicador	Dados socioeconômicos	Padrão Urbano	Exposição	Peso
	Dados socioeconômicos	1	2	5	55.907
	Padrão urbano	1/2	1	5	35.219
	Exposição	1/5	1/5	1	8.875
CR = 0,052					

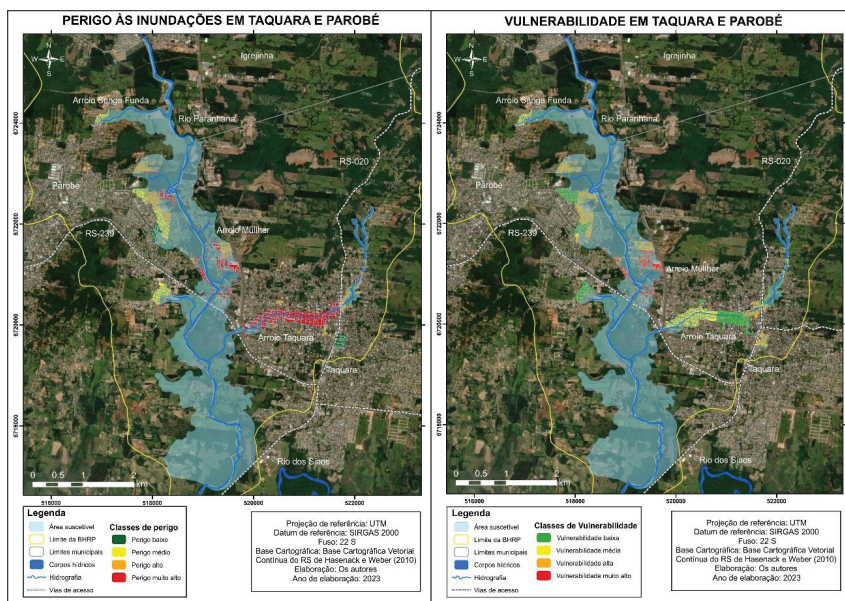


Fig. 4 - Mapas de perigo de inundações e vulnerabilidade em Taquara e Parobé.

Fig. 4 - Flood hazard and vulnerability maps of Taquara and Parobé.

A análise integrada do perigo e da vulnerabilidade, como também, a sua hierarquização em diferentes níveis, possibilita estabelecer o estudo do risco de inundação. Esse risco expressa-se condicionado as características mutáveis na área em análise e apresenta caráter de síntese das informações retratadas. A estimativa

do risco em diferentes graus ou classes no espaço manifesta-se em função da intensidade, frequência e magnitude dos eventos de inundação, como também as características da vulnerabilidade dos elementos expostos.

O risco de inundação foi determinado a partir dos dados obtidos para o perigo e vulnerabilidade e apresentou, como resultado, a interação entre as duas variáveis. A partir disso, foram hierarquizados graus de risco, considerando que quanto maior apresentam-se os graus de perigo e de vulnerabilidade, maior é o grau de risco. Como referência para isso, baseou-se nos estudos de Tominaga (2015), Jamrussri e Toda (2018), Afifi *et al.* (2019) e Abdrabo *et al.* (2020).

A partir dos planos de informações de perigo (mapa de perigo) e vulnerabilidade (mapa de vulnerabilidade), os dados das duas variáveis foram cruzados em uma matriz, conforme é exemplificado na TABELA IV.

TABELA IV - Matriz que apresenta a relação entre o perigo e a vulnerabilidade.

TABLE IV - Matrix that presents the relationship between hazard and vulnerability.

Variáveis	Vulnerabilidade baixa (V1)	Vulnerabilidade média (V2)	Vulnerabilidade alta (V3)	Vulnerabilidade muito alta (V4)
Perigo baixo (P1)	P1 e V1	P1 e V2	P1 e V3	P1 e V4
Perigo médio (P2)	P2 e V1	P2 e V2	P2 e V3	P2 e V4
Perigo alto (P3)	P3 e V1	P3 e V2	P3 e V3	P3 e V4
Perigo muito alto (P4)	P4 e V1	P4 e V2	P4 e V3	P4 e V4

Na análise do risco, considerou-se que o perigo apresenta maior importância para a situação de risco do que a vulnerabilidade, uma vez que, em situações de baixa possibilidade para que ocorra um processo de inundação, a vulnerabilidade alta (V3) ou muito alta (V4) caracteriza um problema intrinsecamente social. Dessa maneira, a vulnerabilidade alta e muito alta combinada com um perigo, de ocorrência de inundação, baixo (P1), apresentaria um risco médio (R2).

Diante disso, foram estabelecidos quatro graus de risco, discriminados em risco baixo (R1), risco médio (R2), risco alto (R3) e risco muito alto (R4), conforme apresentado na TABELA V. O mapa final de risco de inundação foi validado a partir dos trabalhos de campo na área de estudo, inventário de registro de eventos de inundação e consulta aos técnicos das Defesas Civas Municipais.

TABELA V - Graus de risco de inundação.

TABLE V - *Degrees of flood risk.*

Graus de risco	Variáveis de perigo e vulnerabilidade
Risco baixo (R1)	Corresponde às áreas com classes de perigo baixo com vulnerabilidade baixa e média, perigo médio com vulnerabilidade baixa.
Risco médio (R2)	Corresponde às áreas com classes de perigo baixo com vulnerabilidade alta e muito alta, perigo médio com vulnerabilidade média e alta, perigo alto com vulnerabilidade baixa.
Risco alto (R3)	Corresponde às áreas com classes de perigo médio com vulnerabilidade muito alta, perigo alto com vulnerabilidade média e alta, perigo muito alto com vulnerabilidade baixa e média.
Risco muito alto (R4)	Corresponde às áreas com classes de perigo alto com vulnerabilidade muito alta, perigo muito alto com vulnerabilidade alta e muito alta.

Resultados

O inventário de registro dos eventos de inundação nos municípios de Taquara e Parobé entre 1975 e 2020, identificou um total de 77 eventos de inundação, sendo que em 19 eventos decretou-se Situação de Emergência, Estado de Emergência ou Estado de Calamidade Pública (TABELA VI).

TABELA VI - Registros dos eventos de inundação e decretos de Situação de Emergência, Estado de Emergência ou Estado de Calamidade Pública nos municípios de Taquara e Parobé entre o período de 1975 e 2020.

TABLE VI - *Records of flood events and decrees of Emergency Situation, State of Emergency or State of Public Calamity in the municipalities of Taquara and Parobé between the period of 1975 and 2020.*

Município	Número de eventos	Decretos
Taquara	55	12
Parobé	22	7
Valores absolutos	77	19

As áreas de inundações cobrem aproximadamente 9,27 km² nos municípios estudados e estendem-se em 28 setores censitários em Taquara e 16, em Parobé, de forma parcial ou integral. No município de Taquara as inundações ocorrem a oeste da área urbana, na planície de inundação do rio Paranhana e afluentes. Na área central, as inundações são decorrentes do arroio Taquara. No município de Parobé, localizam-se a leste da área urbana na planície de inundação do rio Paranhana e afluentes (fig. 5)

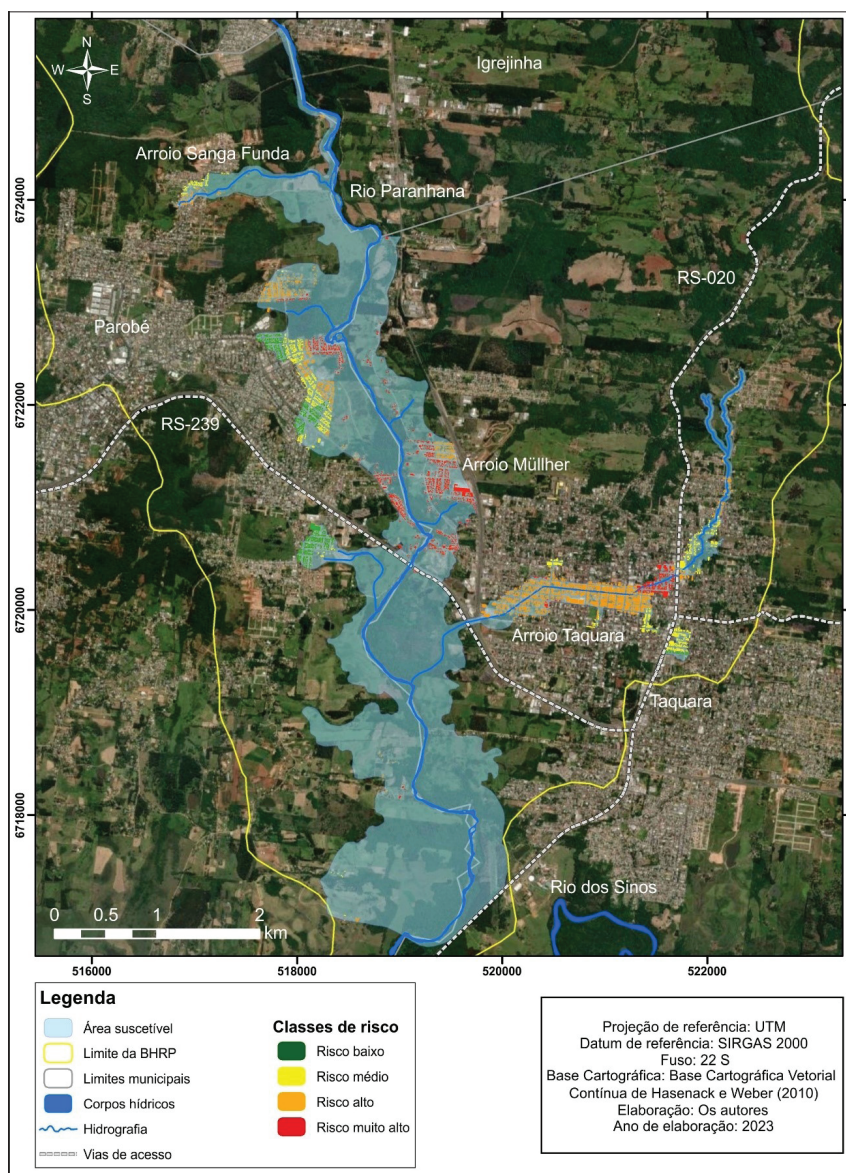


Fig. 5 - Mapa das áreas de risco às inundações em Taquara e Parobé.

Fig. 5 - Map of flood risk areas in Taquara and Parobé.

As áreas de risco baixo apresentam classes de perigo baixo com vulnerabilidade baixa e média ou áreas definidas como perigo médio com vulnerabilidade baixa. Essa

classe apresenta-se em 13 % das áreas de risco e situa-se nos locais mais afastados do rio Paranhana, tanto em Taquara como em Parobé, ou ainda em áreas em que o agente de perigo são os afluentes de menor hierarquia fluvial do rio Paranhana. Além disso, correspondem a áreas em que o intervalo de recorrência e a magnitude dos eventos de inundação são menores, assim como apresentam potencial baixo para a ocorrência de desastres deflagrados por transbordamentos fluviais.

As áreas de risco médio apresentam classes de perigo baixo com vulnerabilidade alta e muito alta ou as áreas com perigo médio e vulnerabilidade média e alta ou, ainda, áreas com perigo alto e vulnerabilidade baixa. Essa classe abrange 19 % das áreas de risco e localiza-se em segmentos mais afastados do rio Paranhana e em alguns pontos próximos ao arroio Taquara, bem como de afluentes de menor hierarquia fluvial do rio Paranhana. A vulnerabilidade é bastante heterogênea, sendo que, nos setores em que o agente de perigo é o rio Paranhana, são identificados graus mais elevados.

As áreas de risco alto apresentam classes de perigo médio e vulnerabilidade muito alta ou com perigo alto e vulnerabilidade média e alta ou, ainda, áreas com perigo muito alto com vulnerabilidade baixa e média. Essa classe de risco é a que ocorre em maior área, o que corresponde a 45 % das áreas de risco, localizando-se na área de estudo próximo aos arroios Taquara e Sanga Funda e ao rio Paranhana. O perigo ocorre em razão da proximidade e elevada recorrência de eventos do arroio Taquara, com o registro de 34 eventos na série histórica e eventos de grande magnitude do rio Paranhana, também com elevada recorrência de até 30 eventos em Taquara e 18 em Parobé. As áreas mais vulneráveis estão nas áreas próximas ao rio Paranhana.

As áreas de risco muito alto apresentam classes de perigo alto com vulnerabilidade muito alta ou de perigo muito alto com vulnerabilidade alta e muito alta. A classe de risco muito alto abrange 23 % das áreas de risco e se estabelece, especialmente, nas margens do rio Paranhana tanto em Taquara como em Parobé, onde há eventos de grande magnitude e recorrência de até 30 eventos na série histórica em Taquara e 18 em Parobé. Outro setor em que o risco é muito alto é em segmentos do arroio Taquara, na área central de Taquara, em que existe recorrência de até 34 eventos e, embora a magnitude dos eventos não seja tão severa, a recorrência elevada contribui para o risco ser de grau elevado. As características de vulnerabilidade distinguem-se nessa classe, observou-se que as características socioeconômicas e de acesso aos serviços

públicos tendem a declinar na medida em que os locais ocupados encontram-se mais próximos ao rio Paranhana, evidenciando a relação com a segregação socioespacial. Em segmentos de vulnerabilidade muito alta, foram identificadas edificações constituídas por materiais reciclados, sem adaptações contra as inundações, cujas condições de infraestrutura urbana são ausentes, especialmente nas margens do rio Paranhana.

Discussão por setores de risco de inundação

A discussão do risco foi feita dividindo em setores de montante e jusante do rio Paranhana nos municípios afetados e de seus afluentes. A definição de montante e jusante se dá a partir da desembocadura do rio Taquara no rio Paranhana.

No setor montante do rio Paranhana, em Taquara, o risco é alto e muito alto (fig. 6). Os condicionantes de perigo decorrem de processos de inundação do rio Paranhana e de afluentes que apresentam elevada frequência, com 30 eventos na série histórica e são de grande magnitude quando oriundos do rio Paranhana.

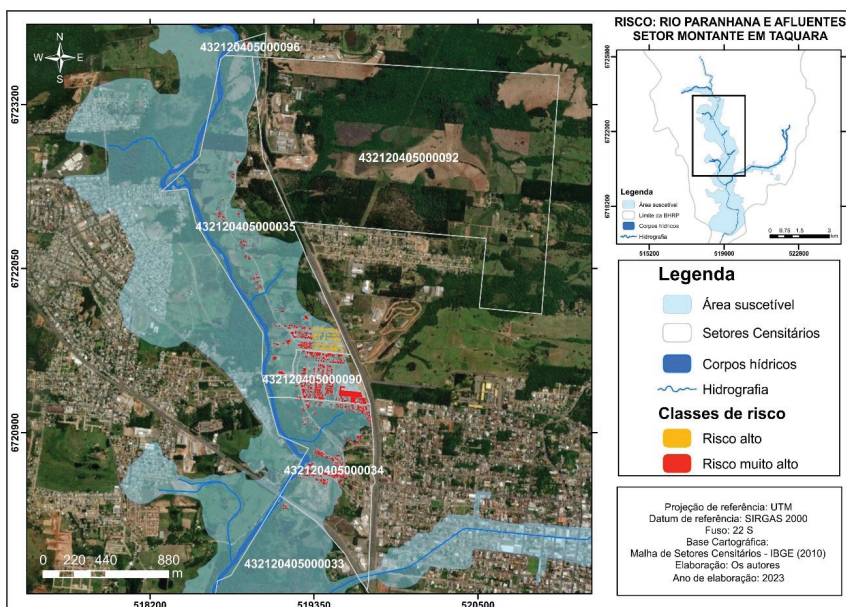


Fig. 6 - Risco no setor montante do rio Paranhana em Taquara.

Fig. 6 - Risk in the upstream sector of the Rio Paranhana in Taquara.

A vulnerabilidade em grande parte é alta e muito alta, com edificações constituídas, predominantemente, de madeira ou material misto, sem a presença de adaptações contra inundações, e as condições de infraestrutura urbana ausentes ou precárias, com grande parte das vias sem calçamento e sistema de drenagem pluvial. Em áreas pontuais, identificam-se edificações com adaptações contra inundações, constituídas em dois pavimentos, como também edificações constituídas de material reciclado, especialmente, em áreas de maior proximidade ao rio Paranhana. A maior parte da população possui renda mensal de até um salário-mínimo e os percentuais de crianças e idosos são mais elevados.

Na fot. 1, podem ser observadas imagens de eventos nesse setor na planície de inundação do rio Paranhana, em Taquara, tais como em outubro de 1996 (fot. 1A), abril de 2001 (fot. 1B), julho de 2007 (fot. 1C) e agosto de 2013 (fot. 1D). Nos eventos de julho de 2007 e agosto de 2013, foram decretadas Situação de Emergência e, neste último, houve a interdição da ponte que dá acesso ao município de Parobé.



Fot. 1 - Eventos de inundação que ocorreram na planície de inundação do rio Paranhana no município de Taquara em outubro de 1996 (A), abril de 2001 (B), julho de 2007 (C) e agosto de 2013 (D) (Fonte: Adaptado do Jornal Panorama, 1996, 2001, 2007 e 2013).

Photo - Flood events that occurred in the Rio Paranhana floodplain in the municipality of Taquara in October 1996 (A), April 2001 (B), July 2007 (C) and August 2013 (D) (Source: Adapted from Jornal Panorama, 1996, 2001, 2007 e 2013).

No setor montante, na planície de inundação do rio Paranhana, em Parobé, as situações de risco variam entre os graus baixo a muito alto de acordo com a localização da área (fig. 7). Predominam condições de risco médio pela menor vulnerabilidade das habitações. Condições de muito alto risco ocorrem muito próximas ao rio Paranhana, recorrência de até 18 eventos na série histórica. Além do Perigo elevado a vulnerabilidade da população é alta, nas áreas mais próximas do rio.

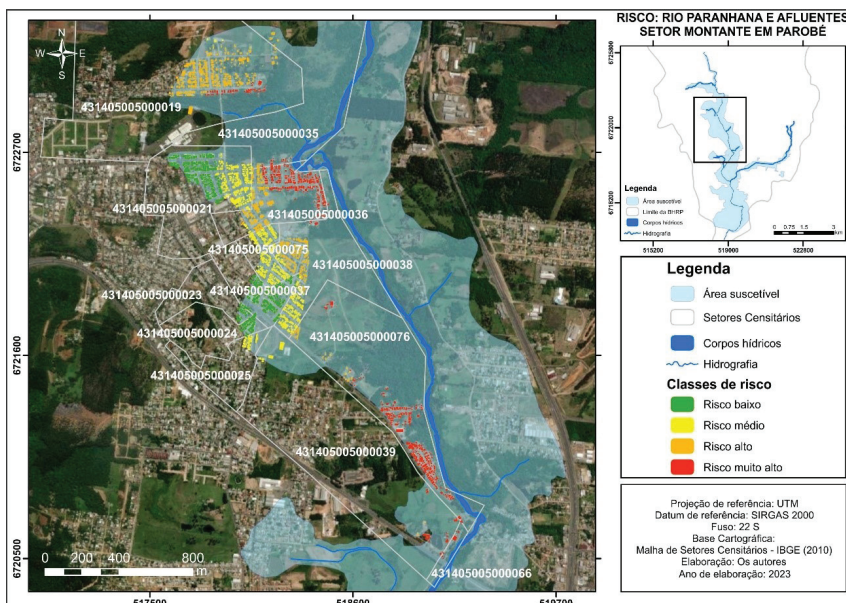
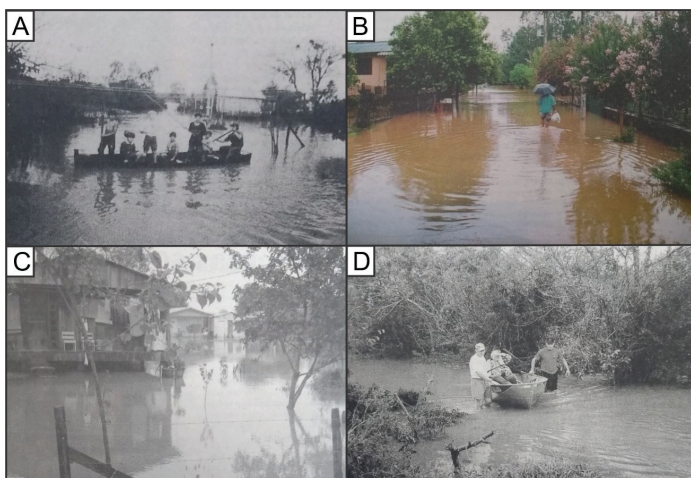


Fig. 7 - Risco no setor montante do rio Paranhana em Parobé.

Fig. 7 - Risk in the upstream sector of the Rio Paranhana in Parobé.

Na fot. 2, destacam-se diversos eventos de inundação na planície de inundação do rio Paranhana, em Parobé. Podem ser visualizados eventos que ocorreram em julho de 1993 (fot. 2A), fevereiro de 2003 (fot. 2B), julho de 2007 (fot. 2C) e abril de 2011 (fot. 2D). No evento que ocorreu em julho de 1993, foi decretado Estado de Calamidade Pública e, no evento de abril de 2011, Situação de Emergência.

No setor jusante, na planície de inundação do rio Paranhana, em Taquara e Parobé, ocorrem poucas edificações, mas condições de alto e muito alto risco são predominantes. A área representa uma porção com ampla planície de inundação do rio Paranhana, próximo a foz no rio dos Sinos (fig. 8).



Fot. 2 - Eventos de inundação que ocorreram na planície de inundação do rio Paranhana no município de Parobé em julho de 1993 (A), fevereiro de 2003 (B), julho de 2007 (C) e abril de 2011 (D) (Fonte: Adaptado do Jornal Panorama, 1993, 2003, 2007, 2011).

Photo 2 - Flood events that occurred in the Rio Paranhana floodplain in the municipality of Parobé in July 1993 (A), February 2003 (B), July 2007 (C) and April 2011 (D) (Source: Adapted from Jornal Panorama, 1993, 2003, 2007, 2011).

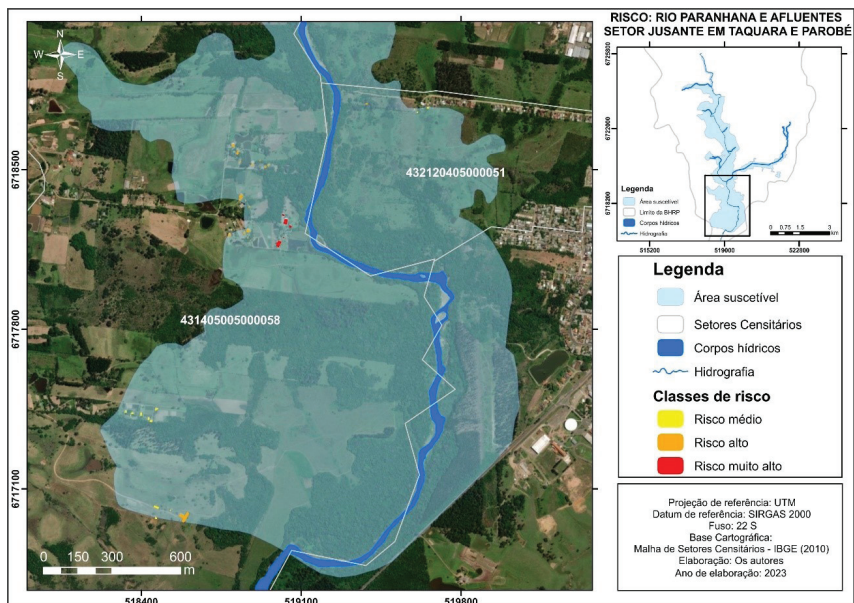


Fig. 8 - Risco no setor jusante do rio Paranhana em Taquara e Parobé.

Fig. 8 - Risk in the downstream sector of the Rio Paranhana in Taquara and Parobé.

No setor de alto curso do arroio Taquara observa-se que as situações de risco variam de baixo a alto (fig. 9) de acordo com a proximidade das edificações em relação ao arroio Taquara. Nesse setor foram identificados 13 eventos na série histórica. As situações de risco médio são predominantes e se devem, principalmente, a vulnerabilidade baixa da população afetada.

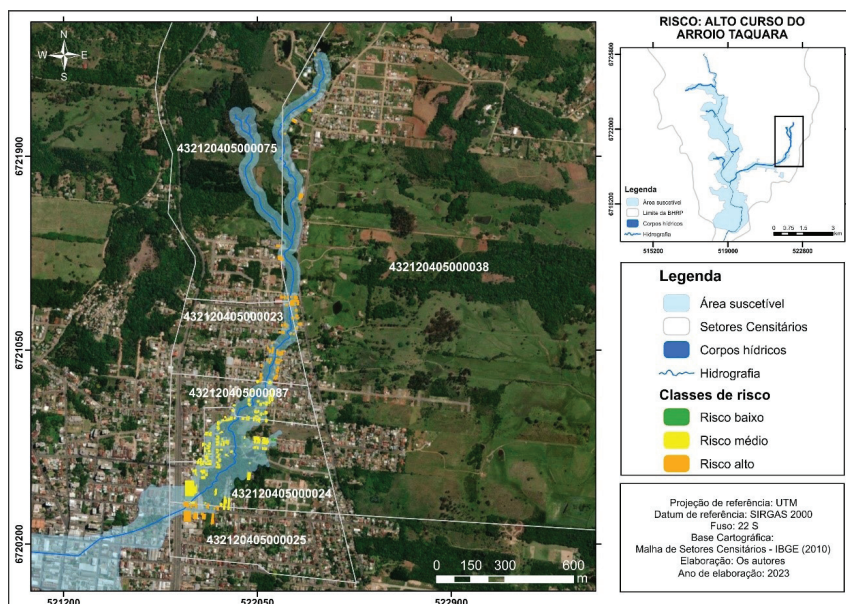
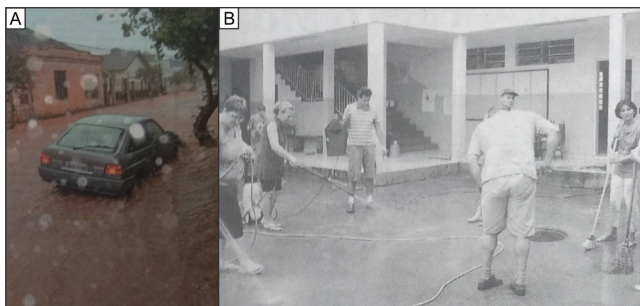


Fig. 9 - Risco no alto curso do arroio Taquara, setor nordeste de Taquara.

Fig. 9 - Risk on the upper course of the Arroio Taquara, northeast sector of Taquara.

Na fot. 3A, é possível observar a rua Tristão Monteiro durante um evento de inundação em dezembro de 2003 e na fot. 3B a limpeza da Escola Municipal de Ensino Fundamental Rosa Elsa Mertins, após evento de inundação que ocorreu em abril de 2010. As duas localidades, situam-se próximas ao Arroio Taquara, em áreas de recorrentes inundações.

No setor médio curso do arroio Taquara, as situações de risco variam de baixo a muito alto, mas predominam situações identificadas como de grau alto e muito alto risco (fig. 10). O inventário registrou 34 eventos na série histórica. O curso d'água apresenta intervenções estruturais como retificações e canalizações e a área foi amplamente ocupada



Fot. 3 - Rua Tristão Monteiro durante evento de inundação em dezembro de 2003 (A) e limpeza da Escola Municipal de Ensino Fundamental Rosa Elsa Mertins após evento de inundação em abril de 2010 (B) (Fonte: Adaptado do Jornal Panorama, 2003, 2010).

Photo 3 - *Tristão Monteiro street during a flood event in December 2003 (A) and cleaning of the Escola Municipal de Ensino Fundamental Rosa Elsa Mertins after a flood event in April 2010 (B) (Source: Adapted from Jornal Panorama, 2003, 2010).*

no decorrer do processo de produção do espaço. A mata ciliar foi, em grande parte, removida, o sistema pluvial é ineficiente e vários segmentos encontram-se assoreados. Essas condições contribuem para a elevada recorrência de eventos de inundação e alagamentos e, consequentemente, para situações de perigo com graus elevados.

Na fot. 4A, pode ser observado o maior evento de inundação da área central de Taquara em fevereiro de 1978, sendo que, naquela ocasião, houve o registro de uma morte, grande parte da área central do município foi afetada pelos eventos de inundação e foi decretado Estado de Calamidade Pública. Ademais, de maneira sequencial, podem ser observadas situações em outubro de 1990 (fot. 4B) em que foi decretada Situação de Emergência, novembro de 2009 (fot. 4C) em que também houve o decreto de Situação de Emergência, abril de 2010 (fot. 4D), março de 2012 (fot. 4E) e março de 2019 (fot. 4F).

Na fot. 14E, observa-se um segmento da rua Lothar de La Rue, local em que o grau de risco é muito alto. Os eventos de inundação nesse setor de risco são muito frequentes e que ocasionam danos recorrentes à comunidade e seus ativos. Em determinados locais, são empregadas medidas como uso de estruturas móveis nas portas dos estabelecimentos comerciais durante a ocorrência de eventos, assim como o extenso histórico de medidas estruturais no arroio Taquara. Todavia, os eventos de inundação ainda são retratos recorrentes na área central de Taquara.

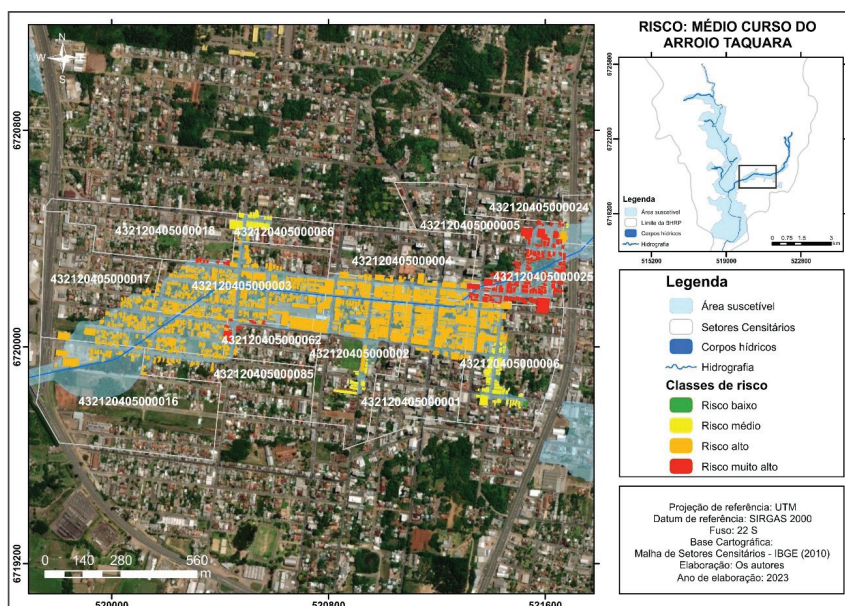
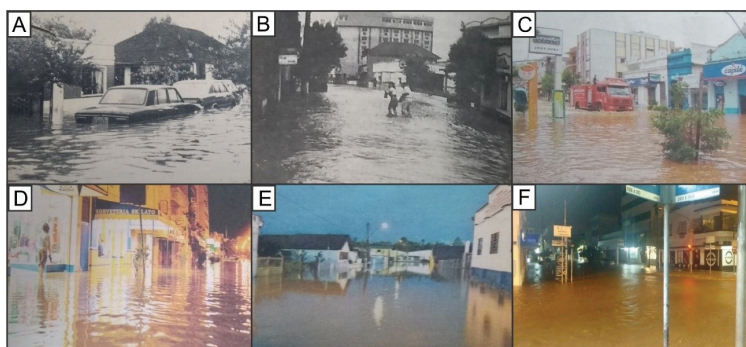


Fig. 10 - Risco no médio curso do arroio Taquara, centro de Taquara.

Fig. 10 - Risk in the middle course of the Arroio Taquara, downtown Taquara.



Fot. 4 - Eventos de inundação que ocorreram no médio curso do arroio Taquara, centro de Taquara em fevereiro de 1978 (A), em outubro de 1990 (B), novembro de 2009 (C), abril de 2010 (D), março de 2012 (E) e março de 2019 (F) (Fonte: Fotografias A, B, C, D e E, respectivamente, dos anos de 1978, 1990, 2009, 2010, 2012 provenientes do Jornal Panorama; fotografia F proveniente de Repercussão Paranhana, 2019).

Photo 4 - Flood events that occurred in the middle course of the Arroio Taquara, downtown Taquara in February 1978 (A), October 1990 (B), November 2009 (C), April 2010 (D), March 2012 (E), and March 2019 (F) (Source: Photographs A, B, C, D and E adapted from Jornal Panorama, 1978, 1990, 2009, 2010, 2012; photograph F adapted from Repercussão Paranhana, 2019).

No setor de afluentes no médio curso do arroio Taquara, as situações de risco são baixa e média (fig. 11). As áreas registram alagamentos em razão do sistema de drenagem pluvial ser ineficiente. Nas fot. 5 A e B, podem ser observadas as ruas Rua João Bayer e Pinheiro Machado na área central de Taquara durante eventos de inundação que ocorreram em fevereiro e outubro de 2002, respectivamente.

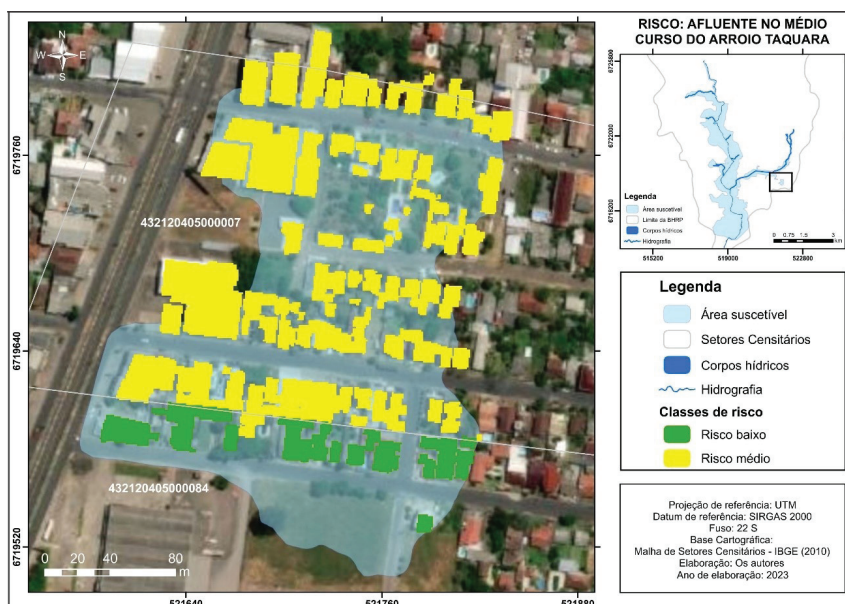


Fig. 11 - Risco em área de afluente do arroio Taquara no médio curso, área central de Taquara.

Fig. 11 - Risk in an affluent area of the Arroio Taquara in the middle course, central area of Taquara

No setor montante no município de Parobé, localiza-se a planície de inundação do arroio Sanga Funda e do rio Paranhana, onde as situações de risco são de graus médio e alto (fig. 12). As áreas apresentam perigo médio ou alto, de acordo com a distância das ocupações em relação aos cursos d'água e a vulnerabilidade também varia entre os graus médio e alto.

Na fot. 6 A e B, podem ser observados um segmento do arroio Sanga Funda e as áreas ocupadas próximas ao curso d'água, definidas como de alto grau de risco.



Fot. 5 - Rua João Bayer durante evento de inundação em fevereiro de 2002 (A) e Rua Pinheiro Machado durante evento de inundação ocorrido em outubro de 2002 (B) (Fonte: Adaptado do Jornal Panorama, 2002).

Photo 5 - Street João Bayer during a flood event in February 2002 (A) and Street Pinheiro Machado during a flood event in October 2002 (B) (Source: Adapted from Jornal Panorama, 2002).

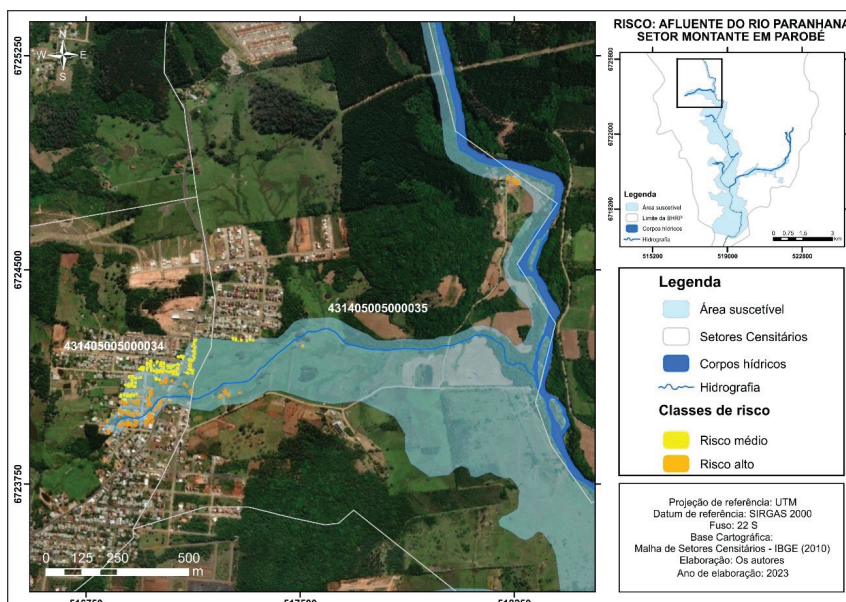
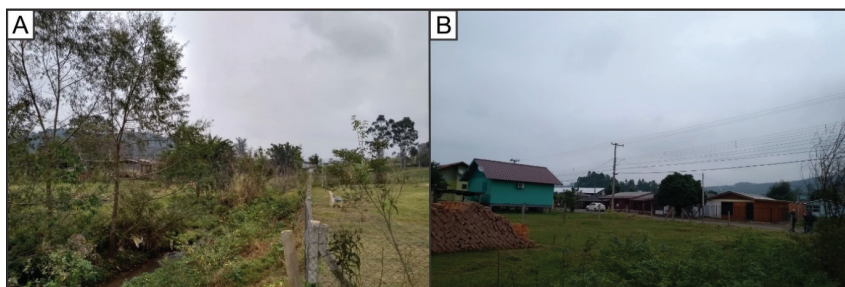


Fig. 12 - Risco na planície de inundação de afluente do rio Paranhana no setor montante em Parobé.

Fig. 12 - Risk in the floodplain of the tributary of the Rio Paranhana in the upstream sector in Parobé.

No setor jusante no município de Parobé, localiza-se a planície de inundação de um arroio (pequeno curso fluvial) local, onde o risco se apresenta nos graus baixo



Fot. 6 - Área de risco muito alto em segmento do arroio Santa Funda (A) e áreas ocupadas (B) em setor de alto grau de risco em Parobé (Fonte: Trabalho de campo, julho de 2019).

Photo 6 - High risk area in a segment of the Arroio Sanga Funda (A) and occupied areas (B) in a sector with a high risk in Parobé (Source: Fieldwork, July 2019).

e médio (fig. 13). Predominam situações de baixo risco pois os eventos registrados são de pequena magnitude e a vulnerabilidade da população é predominantemente de grau médio e baixo.

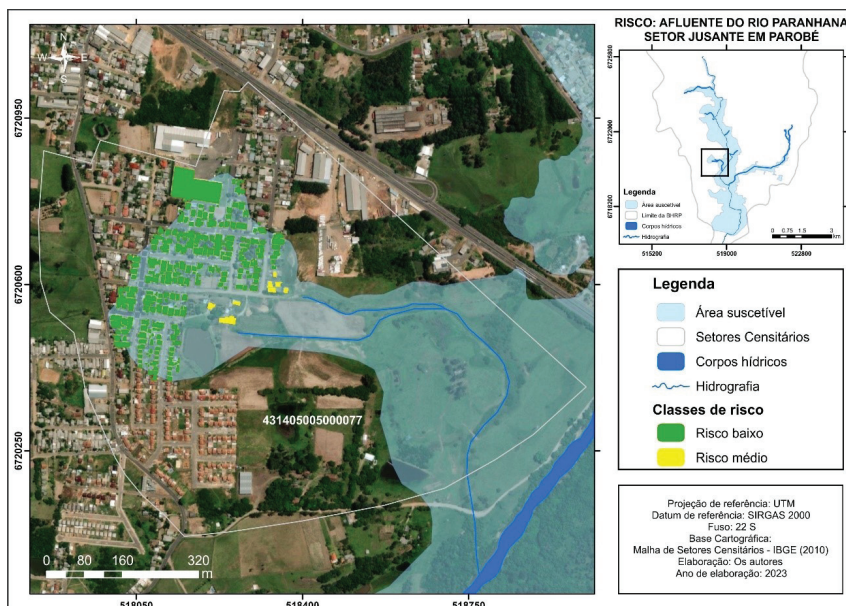


Fig. 13 - Risco na planície de inundação de afluente do rio Paranhana no setor jusante em Parobé.

Fig. 13 - Risk in the floodplain of the tributary of the Rio Paranhana in the downstream sector in Parobé.

Conclusão

A análise das áreas de risco de inundação integra os componentes de perigo e vulnerabilidade. Desse modo, a proposta metodológica apresentada foi adequada e originou novos resultados em relação aos estudos anteriores desenvolvidos na área de estudo pela CPRM (2013), METROPLAN (2018) e Tucci (2019). Embora as pesquisas identificassem e denominassem setores ou zoneamentos de risco, conceitualmente, entende-se que não avaliaram a vulnerabilidade, o perigo e, conseqüentemente, o risco, mas as áreas suscetíveis às inundações. Isso se justificou conforme o entendimento conceitual apresentado por Tominaga (2015), Jamrussri e Toda (2018), Menezes (2018), Afifi *et al.* (2019), Abdrabo *et al.* (2020), entre outros.

Em Taquara e Parobé, as áreas de risco de inundação foram (re)produzidas no espaço em função de múltiplos fatores. O processo de ocupação de áreas suscetíveis às inundações foi um marco inicial para a gênese do risco. A partir disso, formaram-se as situações de perigo à medida que as inundações passaram a ocasionar situações de perigo aos sujeitos e seus ativos expostos.

A produção do espaço ocorreu de maneira desordenada e sem planejamento adequado. Dessa forma, fatores como os fluxos migratórios concomitantes ao processo de industrialização e crescimento populacional somaram-se à insolvência administrativa e especulação imobiliária. O resultado desse contexto foi a produção das áreas de risco de inundação apresentadas na pesquisa.

Na planície de inundação do rio Paranhana, a segregação residencial materializa a desigualdade socioeconômica no espaço e agrava as situações de risco. Nessas áreas, são instaladas novas ocupações em áreas conhecidamente suscetíveis às inundações por uma população com elevada vulnerabilidade. A partir disso, as áreas de risco são produzidas e reproduzidas de maneira contínua.

As complexidades das áreas de risco necessitam de abordagens multidisciplinares para que o gerenciamento de desastres seja efetivo. Desse modo, ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação devem ser estruturadas com a participação de diferentes setores da administração pública e da sociedade. Por fim, inseridos nessa perspectiva, os resultados desta pesquisa poderão contribuir para o gerenciamento de risco em Taquara e Parobé. Com base nisso, poderão ser utilizados

como referência para a elaboração e atualização dos planos de contingência, na identificação e atualização das áreas de risco de inundação e para o desenvolvimento de planos de ação junto às comunidades.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Santa Maria, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul.

Referências Bibliográficas

- Abdrabo, K. I., Kantoush, S. A., Saber, M., Sumi, T., Habiba, O. M., ELleithy, D., Elboshy, B. (2020). Integrated Methodology for Urban Flood Risk Mapping at the Microscale in Ungauged Regions: A Case Study of Hurghada, Egypt. *Remote Sens*, v. 12, 3548, 1-22.
- Afifi, Z., Chu, H.-J., Kuo, Y.-L., Hsu, Y.-C., Wong, H.-K., Zeeshan Ali, M. (2019). Residential Flood Loss Assessment and Risk Mapping from High-Resolution Simulation. *Water*, v. 11, 751, 1-15.
- Aksha, S. K., Resler, L. M., Juran, L., CArstensen JR., L. W. (2020). A geospatial analysis of multi-hazard risk in Dharan, Nepal. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, v. 11, n. 1, 88-111.
- Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Park, H.-J., Lee, J. H. (2014). A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena*, v. 114, 21-36.
- Amaral, R., Ribeiro, R. R. (2015). Inundações e enchentes. In: Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (Orgs.). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. 3.ed. São Paulo: Instituto Geológico, 39-52.
- Bharwani, S., Magnuszewski, P., Sendzimir, J., Stein, C., Downing, T. E. (2008). *Vulnerability, adaptation and resilience: Progress toward incorporating VAR concepts into adaptive water resource management*. Stockholm Environment Institute, Oxford Centre.
- BRASIL (2007). Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. Carvalho, C. S., Macedo, E. S., Ogura, A. T. (Org.). *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.
- Brito, M. M. (2018). *A participatory multi-criteria approach for flood vulnerability assessment*. Tese (Doutorado) – Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Bonn, Alemanha, p. 186.
- Brito, M. M., EverS, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art. *Natural Hazard and Earth System Sciences*. v.16, 1019-1033.
- Brito, M. M., Evers, M., Höllermann, B. (2017). Prioritization of flood vulnerability, coping capacity and exposure indicators through the Delphi technique: A case study in Taquari-Antas basin, Brazil. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 24, 119-128.

- Buzai, G. D. (2014). *Mapas Sociais urbanos*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Castro, A. L. C. (1998). *Glossário de Defesa Civil*: Estudos de riscos e medicina de desastres. 2. ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil.
- Castro, S. D. A. (2000). Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía. Scripta Nova: *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidad de Barcelona, n. 60.
- Cutter, S. L. (2003). The Vulnerability of Science and the Science of Vulnerability. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 93, 1-12.
- Fernandez, P., Mourato, S., Moreira, M. (2016). Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis. A case study of Vila Nova de Gaia (Portugal). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, v. 7, n. 4, p. 1367-1389.
- Ferreira, M. C. (2014). *Iniciação à análise geoespacial*: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp.
- Fitz, P. R. (2008). *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Oficina de Textos.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO E REGIONAL (METROPLAN) (2018). Estudo de alternativas e projetos para minimização do efeito das cheias na bacia do rio dos Sinos. In: Carvalho Filho, O., Bezerra, L., Lou, W. C. (Responsáveis Técnicos). *PRODUTO 18 - RELATÓRIO FINAL*. Consórcio METROPLAN Bacia Rio dos Sinos, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Freitas, R. B. (2017). *Estudo e cadastro de áreas de risco de inundação na área urbana do município de Restinga Sêca – RS (Disertação de Mestrado)*. Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências (PPGGEO). Santa Maria, RS, 133 p.
- Goerl, R. F., Kobiyama, M., Pellerin, J. R. G. M. (2012). Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho - SC. *Boletim de Geografia, Maringá*, v. 30, n. 1, 81-100.
- Holt, J. B., Lo, C. P., Hodler, T. W. (2004). Dasymetric Estimation of Population Density and Areal Interpolation of Census Data. *Cartography and Geographic Information Science*, v. 31, n. 2, 103-121.
- Hoque, M. A. -A., Phinn, S., Roelfsema, C., Childs, I. (2018). Assessing tropical cyclone risks using geospatial techniques. *Applied Geography*, v. 98, 22-33.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2010). *Base Cartográfica dos Setores Censitários*. Escala 1: 50.000. Disponível em: http://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_de_setores_censitarios_divisoes_intramunicipais/censo_2010. Acesso em 09 ago. 2018.
- Jamrussri, S., Toda, Y. (2018). Available Flood Evacuation Time for High-Risk Areas in the Middle Reach of Chao Phraya River Basin. *Water*, v. 10, 1871, 1-23.
- JORNAL PANORAMA (1978). *Volume*: 1978. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (1990). *Volume*: 1990. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (1993). *Volume*: 1993. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (1996). *Volume*: 1996. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (2001). *Volume*: 2001. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (2002). *Volume*: 2002. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (2003). *Volume*: 2003. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (2007). *Volume*: 2007. Taquara, RS.

- JORNAL PANORAMA (2009). *Volume: 2009*. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (2010). *Volume: 2010*. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (2011). *Volume: 2011*. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (2012). *Volume: 2012*. Taquara, RS.
- JORNAL PANORAMA (2013). *Volume: 2013*. Taquara, RS.
- Kabenge, M., Elaru, J., Wang, H., LI, F. (2017). Characterizing flood hazard risk in datascarc areas, using a remote sensing and GIS-based flood hazard index. *Natural Hazards*, v. 89, n. 3, 1369-1387.
- Kazakis, N., Kougias, I., Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of The Total Environment*, v. 538, 555-563.
- Kienberger, S., Lang, S., Zeil, P. (2009). Spatial vulnerability units - expert-based spatial modelling of socio-economic vulnerability in the Salzach catchment, Austria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 9, 767-778.
- Knierin, I. S., Robaina, L. E. S., Trentin, R. (2019). Estudo da vulnerabilidade física das edificações em áreas suscetíveis a movimentos de massa e enxurradas na Vila Medianeira - Faxinal do Soturno - RS. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 20, n. 69, 207-222.
- Komi, K., Amisigo, B. A., Diekkrüger, B. (2016). Integrated Flood Risk Assessment of Rural Communities in the Oti River Basin, West Africa. *Hydrology*, v. 3, 42, 1-14.
- Kormann, T. C., Schirmer, G. J., Freitas, R. B. (2013). Contribuição ao estudo das inundações na área urbana de Alegrete, RS. In: Robaina, L. E. S., Trentin, R. (Orgs.). *Desastres naturais no Rio Grande do Sul*. Santa Maria: Editora da UFSM, 225-251.
- Luu, C., Meding, J. (2018). A Flood Risk Assessment of Quang Nam, Vietnam Using Spatial Multicriteria Decision Analysis. *Water*, v. 10, 461, 1-16.
- Marandola JR., E., Hogan, D. J. (2004). Natural hazards: o estudo geográfico de riscos e perigos. *Ambiente & Sociedade*, v. VII, n. 2, 95-109.
- Menezes, D. J. (2018). *Proposta metodológica para análise espaço-temporal de inundações: aplicação na área urbana de Alegrete – RS (Tese de Doutorado)*. Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências (PPGGEO). Santa Maria, RS, 267 p.
- Moraes, D. A. (2008). *Apontamentos sobre reforma urbana e produção social do habitat*. União Nacional por Moradia Popular - UNMP. URL: https://unmp.org.br/?__habitat__%2811_06_2008 Acesso em: 20 de fev. 2019.
- Pimenta, L. B., Beltrão, N. E. S., Gemaque, A. M. S., Tavares, P. A. (2019). Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. *INTERAÇÕES*, Campo Grande, MS, v. 20, n. 2, 407-420.
- Ramos, P. A. S. (2017). *Proposta metodológica para mapeamento de vulnerabilidade à inundação (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre, RS, 130 p.
- Ramos, P. A. S., Oliveira, G. G., Brito, M. M., Silva Filho, L. C. P. (2018). Proposta Metodológica para o Mapeamento da Vulnerabilidade a Inundações. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 41, n. 3, 281-291.
- REPERCUSSÃO PARANHANA (2019). *Alagamentos voltam e gerar transtornos em Parobé e Taquara*. Taquara, RS. Disponível em: <https://repercussaoparanhana.com/geral/alagamentos-voltam-e-gerar-transtornosem-parobe-e-taquara>. Acesso em: 10 jan. 2021.

- Robaina, L. E. S. (2013). Áreas de risco por processos de dinâmica geomorfológica: introdução ao tema. In: Guasselli, L. A., Oliveira, G. G., Alves, R. C. M. (Orgs.). *Eventos extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa*. Porto Alegre: Evangraf, 11-24.
- Saaty, T. L. (1991). *Método de análise hierárquica*. São Paulo: McGraw-Hill Publisher.
- Sar, N., Chatterjee, S., ADhikari, M. (2015). Integrated remote sensing and GIS based spatial modelling through analytical hierarchy process (AHP) for water logging hazard, vulnerability and risk assessment in Keleghai river basin, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, n. 31, 1-21.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM (2013). *Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa*: Parobé - RS. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Departamento de Gestão Territorial - DEGET, p. 1-7.
- Souza, L. B., Santos, C. B. (2006). O crescimento urbano e a ocupação de áreas sob riscos de escorregamentos na região noroeste da área urbana de Juiz de Fora - MG. *Boletim de Geografia*, v. 24, n. 1, 121-128.
- Souza, M. A. A. (2009). Pensando a política nacional de habitação para adversidade das famílias e dos municípios brasileiros. In: Bitoun, J., Miranda, L. (Orgs.). *Desenvolvimento e cidades no Brasil*: Contribuições para o debate sobre as políticas territoriais. Recife: FASE, Observatório das Metrópoles, 117-150.
- Tate, E. (2013). Uncertainty Analysis for a Social Vulnerability Index. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 103, 526-543.
- Tominaga, L. K. (2015). Análise e mapeamento de risco In: Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (Orgs.). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 147-160.
- Tucci, C. E. M. (Responsável Técnico). (2019). *Plano estratégico de manejo de águas pluviais e prevenção de inundações urbanas de Taquara - RS*: Relatório final – Relatório técnico final. RHAMA Consultoria Ambiental Ltda.: Porto Alegre/RS, Relatório técnico nº 7 - relatório final, 1-276.
- UNISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (2009). *Terminology on Disaster Risk Reduction*. Disponível em: www.unisdr.org, acesso em 20 fev. 2019.
- Veyret, Y., Richemond, N. M. (2015a). Definições e vulnerabilidades do risco. In: Veyret, Y. (Org.). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. 2. ed. Tradução: Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 25-46.
- Veyret, Y., Richemond, N. M. (2015b). O risco, os riscos. In: Veyret, Y. (Org.). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. 2. ed. Tradução: Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, p. 23-24.
- Vojinović, Z., Golub, D., Weesakul, S., KEerakamolchai, W., HIRunsalee, S. (2014). Merging Quantitative And Qualitative Analyses For Flood Risk Assessment At Heritage Sites, The Case Of Ayutthaya, Thailand. *International Conference on Hydroinformatics*, New York City, USA.
- Voogd, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London: Pion Ltd.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. (2003). *At Risk - Natural Hazards, Peoples's Vulnerability and Disasters*. London, Routledge.
- Zanella, M. E., Olímpio, J. L. S. (2014). Impactos pluviais, risco e vulnerabilidades em Fortaleza - CE. In: Mendonça, F. *Riscos climáticos: vulnerabilidades e resiliência associados*. Jundiaí: Paco Editorial, 115-136.
- Zuquette, L. V. (2018). *Riscos, desastres e eventos naturais perigosos: aspectos conceituais na análise e estimativa de riscos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

**DADOS LIDAR DE ALTA DENSIDADE E
MODELAGEM HIDRÁULICA DE FLUXO NA
GERAÇÃO DE MAPAS DE PERIGO DE INUNDAÇÃO
URBANA: ESTUDO DE CASO DA VILA CAUHY NO
DISTRITO FEDERAL – BRASIL**

**HIGH-DENSITY LIDAR DATA AND HYDRAULIC
FLOW MODELING APPLIED TO THE GENERATION
OF URBAN FLOOD RISK MAPS: CASE STUDY OF
VILA CAUHY IN THE FEDERAL DISTRICT – BRAZIL**

Ana Paula Cordeiro Costa¹

ORCID: 0000-0002-1047-415X
ana.apcc@hotmail.com

Guilherme Gomes Pessoa¹

ORCID: 0000-0003-3546-8706
guilherme.pessoa@unb.br

Elton Souza Oliveira^{1, 2}

ORCID: 0000-0002-5507-685X
elton.gea@gmail.com

Henrique Llacer Roig¹

ORCID: 0000-0002-9180-3081
roig@unb.br

¹Univ. de Brasília, Labtr. de Geoprocessamento, Instituto de Geociências (Brasil)

²Univ. do Oeste da Bahia, Centro das Humanidades (Brasil)

Resumo: Inundações causadas por fluxos extremos representam um desafio significativo em regiões urbanizadas globalmente. Para mitigar tais problemas, a compreensão da dinâmica e localização desses eventos é crucial para o planejamento territorial. Este estudo aplicou modelagem hidráulica com software HEC-RAS, dados LIDAR para Modelo Digital de Terreno (MDT) e dados de campo para calibração, investigando o processo de inundação na Vila Cauhy, Distrito Federal, Brasil. Cenários com diferentes tempos de retorno (TR de 3, 10 e 25 anos) e níveis de urbanização (coeficiente Curve Number - CN) foram analisados para

simular o impacto da expansão urbana. Os resultados indicam que o modelo reproduziu com sucesso eventos de inundação passados, e que a expansão urbana não planejada pode intensificar as inundações, resultando em aumento significativo da área inundada e da velocidade da água em áreas residenciais. A análise reforça a urgente necessidade de ordenamento territorial planejado e estratégias de mitigação para proteger comunidades vulneráveis e assegurar a gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente frente às projeções de avanço da impermeabilização e à importância de sistemas de alerta precoce e soluções integradas.

Palavras-chave: HEC-RAS, eventos extremos, histórico de inundação.

Abstract: Floods caused by extreme flow conditions pose significant challenges in urbanized regions worldwide. To mitigate these issues, understanding flood dynamics and locations is crucial for effective urban territorial planning. Hydraulic modeling is a valuable tool for mapping floodplains and assessing water body behavior during floods. This study employed a hydraulic model using HEC-RAS software, LIDAR data to build a Digital Terrain Model (DTM), and field data for model calibration, to investigate urban flooding in Vila Cauhy, Federal District, Brazil. Scenarios with varying return periods (TR of 3, 10, and 25 years) and urbanization levels (Curve Number - CN) were analyzed to simulate the impact of urban expansion. The model successfully reproduced past flood events, and results indicate that unplanned urban expansion can intensify floods, leading to a significant increase in both flooded area and water velocity in residential zones. Thus, urgent planned territorial development is needed to mitigate flood risks and promote sustainable water resource management, with a focus on protecting vulnerable communities, controlling increasing impermeability, and implementing early warning systems and integrated solutions.

Keywords: HEC-RAS, extreme events, Flood history.

Introdução

As inundações são fenômenos hidrológicos naturais que fazem parte da dinâmica dos rios (Najibi e Devineni, 2018; USDA, 2014). Apesar do caráter natural das inundações, a ocorrência de eventos extremos pode ser considerada uma catástrofe natural, com efeitos prejudiciais à sociedade, tanto do ponto de vista socioeconômico quanto ambiental (Criss, 2024; Ongdas *et al.*, 2021; Ridolfi *et al.*, 2025).

A análise temporal da base de dados sobre eventos emergenciais (*Emergency Events Database* - CRED, 2020, 2025) permite destacar que as inundações e as tempestades intensas estão entre os principais riscos climatológicos, onde a proporção de inundações tem aumentado nas últimas décadas em frequência e magnitude em várias partes do mundo (Hall, *et al.* 2015; Blöschl *et al.*, 2017; Halgamuge e Nirmalathas, 2017). De acordo com essa mesma base de dados, em 2024 ocorreram inúmeros desastres provocados por eventos de inundação extremos, afetando aproximadamente 48.8 milhões de pessoas, resultando na perda de 5.883 vidas em todo o mundo e gerando um prejuízo financeiro de cerca de US\$ 32.8 bilhões (CRED, 2025).

Avanços na identificação dos fatores que deflagram os eventos extremos permitem estimar como o aquecimento global antropogênico afeta as probabilidades de desastres climáticos individuais, como as inundações fluviais (Mihu-Pintilie *et al.*, 2019; IPCC, 2022; Scussolini *et al.*, 2023).

Vários estudos têm documentado esta relação entre as mudanças climáticas e o aumento dos eventos extremos de inundação. Por exemplo, na América do Norte, o impacto humano no aumento da magnitude de inundações foi demonstrado em eventos como o Furacão Harvey, na região de Houston, Texas, onde estimativas indicam que 30-50% das propriedades inundadas não teriam sido afetadas sem as alterações climáticas antropogênicas (Sebastian *et al.*, 2019; Wehner e Sampson, 2021; Smiley *et al.*, 2022). Da mesma forma, as inundações causadas pelos remanescentes do Furacão Ida também foram ligadas à influência climática (Li *et al.*, 2024).

Na Europa, a correlação entre eventos de chuva extrema e inundações é consistentemente associada aos impactos das mudanças climáticas. As inundações de 2000 e 2013 no Reino Unido tiveram sua probabilidade de ocorrência

significativamente aumentada devido a emissões antropogênicas (Pall *et al.*, 2011; Kay *et al.*, 2011), afetando vastas áreas da Inglaterra, País de Gales e Escócia (Kay *et al.*, 2018; Schaller *et al.*, 2016; Christidis e Stott, 2015; Vautard *et al.*, 2016). Mais recentemente, as severas inundações no oeste da Europa em julho de 2021, decorrentes de chuvas intensas, foram igualmente atribuídas à influência humana (Tradowsky *et al.*, 2023).

No continente africano, o papel das alterações climáticas em eventos de inundação específicos também tem sido investigado. Por exemplo, a subida recorde dos níveis e as inundações no Lago Vitória em 2020 foram analisadas em relação a alterações climáticas antropogênicas (Pietroiusti *et al.*, 2024). Embora com ressalvas sobre a disponibilidade de dados para atribuição, inundações mortais em partes da República Democrática do Congo e Ruanda em 2023 também foram objeto de discussão sobre a influência das mudanças climáticas (Kimutai *et al.*, 2023).

Da mesma forma, os estudos das ocorrências de chuvas torrenciais induzidas por tufões no Vietnã, como as ocorrências de outubro de 2020 (Luu *et al.*, 2021) e das inundações de 2017 em Bangladesh (Philip *et al.*, 2019), têm demonstrado que a probabilidade do aumento das intensidades e frequências estão relacionadas as mudanças climáticas. Não obstante, na Ásia Central, a análise de dados climáticos recentes revela que o aumento na frequência e magnitude de eventos extremos de temperatura e precipitação pode ser atribuído ao aquecimento global. Um evento de precipitação que historicamente ocorreria a cada 50 anos, por exemplo, pode hoje ocorrer em intervalos menores que 20 anos, demonstrando um risco significativamente maior para eventos de alto impacto como deslizamentos de terra e inundações (Fallah *et al.*, 2024).

Os eventos hidrológicos são os responsáveis pelas maiores catástrofes associado a riscos naturais na América do Sul e estão associados ao maior número de perdas socioambientais. As inundações constituem a maioria desses riscos hidrológicos. Nos últimos anos, a frequência de desastres hidrológicos na América do Sul parece ter aumentado, em relação a outros tipos de desastres. Cinco dos dez desastres hidrológicos mais mortais na América do Sul ocorreram no Brasil, seguido da Colômbia e do Peru com 2 em cada país (CRED, 2024). Neste contexto, destaca-se as inundações sem precedentes de abril a maio de 2024 no Rio Grande do Sul,

afetando mais de 90% do estado, deslocando centenas de milhares de pessoas e causando centena de milhões de dólares em prejuízos socioeconómico (Marengo *et al.*, 2024).

No entanto, processos hidrológicos e condições antecedentes tornam a relação entre o aumento de precipitações extremas causadas por mudanças climáticas e inundações altamente não linear. Além disso, a hidrologia reconhece que mudanças nos padrões de inundações podem ser fortemente impulsionadas por mudanças na cobertura vegetal e por outras intervenções humanas no sistema hidrológico, como irrigação e construção de barragens. Esses fatores podem amplificar, atenuar ou superar o efeito das mudanças climáticas na ocorrência de inundações locais. Negligenciar esses processos e fatores pode levar à atribuição incorreta de inundações.

Diante dessa realidade imposta, torna-se imprescindível aprimorar as técnicas de previsão, análise e mitigação de inundações, auxiliando nas estratégias de planejamento com vistas a mitigar os impactos desses eventos, sendo o mapeamento das áreas de risco ou suscetíveis à inundação, uma medida que contribui com a prevenção, controle e gestão territorial (Tucci e Bertoni, 2003; Ongdas *et al.*, 2021; FEMA, 2024).

Nesse contexto, o uso de modelos hidrológicos/hidráulicos alimentados por dados provenientes de sensoriamento remoto tem sido uma estratégia com desenvolvimento confiável e consistente nos últimos anos (FEMA, 2001; Zambrano, *et al.*, 2020). Entre os avanços recentes na área de sensoriamento remoto, destaca-se a disponibilidade de Modelos Digitais de Terreno (MDT) de alta precisão, gerados a partir de tecnologias baseadas em varredura a laser (*Light Detection and Ranging* – LiDAR). Essa técnica é capaz de obter informações detalhadas sobre o relevo, mesmo em áreas com densa cobertura vegetal (Mihu-Pintilie *et al.*, 2019, Zambrano *et al.*, 2020).

Nesse mesmo caminho, os recentes avanços computacionais têm auxiliado no desenvolvimento e melhorias das aplicações de modelagem hidráulica, oferecendo novas oportunidades no mapeamento de áreas de risco de inundação, previsão de enchentes em tempo quase-real e na reconstituição de eventos de cheias passadas (Halgamuge e Nirmalathas, 2017; Martini e Loat, 2007; FEMA, 2024; Rangari e Lal, 2025; Snikitha, *et al.*, 2025).

Segundo Ongdas *et al.* (2021), esses modelos descrevem o movimento do fluido e a dinâmica da onda de inundação por meio da resolução de equações matemáticas baseadas nos princípios da conservação da massa e do momento. Os autores também enfatizam que a escolha da dimensionalidade (1D, 2D, ..) depende das características da área de estudo, da escala, bem como da finalidade do projeto. Esses modelos também podem variar quanto ao modelo numérico - volume finito, diferença finita, forma de representação da malha espacial (estruturada, não estruturada) e das equações de base (Kinematic Wave, Difusion Wave, Muskingum, entre outros). Todos esses fatores influenciam na complexidade do modelo a ser empregado e, conseqüentemente, na capacidade computacional e no número de variáveis de entrada (Moin, 2010; Ponce, 2014; USDA, 2014; Julien, 2018; Brunner *et al.* 2020a; Snikitha, *et al.*, 2025).

Entre os modelos disponíveis, o HEC-RAS - *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System* (USACE, 1997; Brunner *et al.*, 2020b) oferece uma abordagem poderosa para a análise de inundações em diferentes cenários. Esse conjunto de ferramentas permite a modelagem de fluxos de água de forma cada vez mais complexa (1D, 2D e 3D), em diversas escalas espaço-temporais, resultando em previsões mais precisas do comportamento hidráulico dos corpos hídricos (Khattak, *et al.*, 2016; Brunner *et al.* 2020a; Aryal, *et al.*, 2022). Essa aplicação já se encontra amplamente consolidada na literatura científica, com diversos estudos destacando a confiabilidade e a consistência do uso do modelo hidrodinâmico HEC-RAS em simulações de escoamento e análise de inundações. (Adams, *et al.*, 2018; Bush *et al.*, 2022; Nagarajan *et al.*, 2022). Também existem estudos que tratam do seu acoplamento a outros sistemas, como HEC-HMS e HEC-RAS (Thakur *et al.* 2017); SWAT - HEC-RAS (Loi *et al.* 2019); HAC-RAS e LISFLOOD-FP (Shutikova, *et al.* 2019); MIKE 21 and HEC-RAS (Shrestha *et al.*, 2020) e ADCIRC + 1D HEC-RAS (Bush *et al.*, 2022), entre outros.

Mesmo com o desenvolvimento de diversos métodos de modelagem, é importante destacar que a prevenção total contra cheias ainda é um desafio significativo. Ainda assim, a avaliação e a gestão de inundações futuras, com base em mapas de inundação, constituem ferramentas viáveis e indispensáveis (Kourgialas e Karatzas, 2011; FEMA, 2001 e 2024). Nesse contexto, cabe destacar o histórico de iniciativas

voltadas ao mapeamento de áreas de risco, como por exemplo o projeto europeu de mapeamento de enchentes, iniciado no final da década de 1990 em resposta a grandes eventos de cheia registrados naquele período. Após eventos críticos de inundações na Europa (incluindo Áustria, República Tcheca e Alemanha), a Diretoria de Água da União Europeia (*EU Water Directors*) reconheceu a necessidade de se desenvolver sistemas de previsão, prevenção e mitigação de cheias. Em resposta, um grupo liderado por pesquisadores holandeses e franceses elaborou um *”Guia de melhores práticas para prevenção, proteção e mitigação de enchentes”*, além de propor uma diretiva para que todos os países membros produzissem mapas de inundação até 2015 (Martini e Loat, 2007).

A exemplo da Noruega, o processo de planejamento em escala municipal é normalmente dividido em três níveis: (I) Plano municipal — fornecendo as principais estratégias para o uso da terra dentro do município (equivalente ao Plano Diretor de Ordenamento Territorial das cidades brasileiras); (ii) Planos de zoneamento — onde áreas específicas são zoneadas para diferentes usos da terra com regramentos detalhados; e (iii) Locais de construção — terrenos identificados como seguros para construções urbanas (Peereboom, 2000).

Nos Estados Unidos, existe um plano nacional estratégico para a integração de mapeamento, avaliação e planejamento de mitigação (FEMA, 2024). Dentre as estratégias adotadas, destaca-se o uso de modelos hidráulicos para o mapeamento de inundações (FEMA, 2001; Cook e Merwade, 2009). O Programa instituído a partir desta estratégia tem permitido, por exemplo, que estados como o de Maryland, na costa leste dos EUA, disponham de sistemas para o monitoramento dos eventos de inundação.

No Brasil, também existem iniciativas governamentais para o estudo das planícies de inundação e dos mapas de enchente, como os desenvolvidos pelo Serviço Geológico Nacional (SGB, 2024), pelo Instituto Pesquisa Tecnológico (Campos, 2015), e pelo CEMADEM, que tem por competência gerenciar sistema de alerta de Riscos e Desastres (<https://www.gov.br/cemaden/pt-br>). Esses projetos têm por objetivo criar medidas de caráter preventivo — estruturais e não estruturais — para auxiliar a população em casos de eventos extremos. No entanto, até o momento, apenas parte dos municípios brasileiros

foram contempladas com esses estudos (<https://www.sgb.gov.br/cartografia-de-suscetibilidade> e <https://geoportal.sgb.gov.br/desastres/>), e o Distrito Federal ainda não foi incluído.

A relevância desse tipo de estudo torna-se ainda mais evidente diante do cenário nacional. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2017, dos 5.570 municípios brasileiros, mais da metade (59,4 %) não dispunha de instrumentos de planejamento e gerenciamento de riscos. Apenas 25 % dos municípios possuíam Plano Diretor com diretrizes específicas para prevenção de enchentes e enxurradas, e apenas 23 % contavam com Lei de Uso e Ocupação do Solo que contemplasse tais situações. Ainda mais raros são os municípios que possuem mapeamentos específicos para a determinação de áreas de risco à inundação, como é o caso de Colatina, no estado do Espírito Santo (ES), uma exceção no contexto nacional.

O Perfil dos Municípios Brasileiros revela que a proporção de municípios afetados por desastres naturais é mais alta em áreas urbanas. Isso se deve em parte à construção de moradias, rodovias e outras obras que interferem na drenagem da água das chuvas, nos processos erosivos e na redução da permeabilidade das áreas de contribuição na bacia. Em números globais, os alagamentos e enchentes são a segunda maior causa de desastres, ficando atrás apenas das secas (IBGE, 2018).

Desastres naturais decorrentes de eventos extremos de chuvas não se limitam a cidades menos desenvolvidas e a áreas restritas. Em maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul sofreu com o maior desastre natural de sua história, talvez um dos maiores do país. Os impactos foram catastróficos e abrangentes, mais de 15.000 km² ficaram submersos, atingindo 478 dos 497 municípios do estado, com perdas humanas e sociais alarmantes: cerca de 2,4 milhões pessoas atingidas e 183 mortes confirmadas (ANA, 2025).

Embora na Capital do Brasil (Território do Distrito Federal) ainda não haja registros de tal envergadura, a situação não é diferente de muitas capitais brasileiras como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte (Silveira *et al.*, 2024). Regiões da capital sofrem com alagamentos e inundações recorrentes durante os períodos de chuva. Um exemplo emblemático de Brasília é a Vila Cauhy, que

historicamente registra alagamentos. Esses eventos têm apresentado um aumento na magnitude e frequência devido as alterações do uso e ocupação do solo nas margens do curso d'água.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é aplicar o HEC-HAS como instrumento para mapeamento de áreas de risco a inundação para o DF, utilizando-se do estudo de caso da Vila Cauhy (fig. 1). A área de estudo deste artigo pertencia a uma reserva ambiental no Distrito Federal (DF) – Brasil, a qual foi ocupada de forma irregular (invasão) por pessoas em situação de vulnerabilidade socioeconômica com a construção de casas simples de alvenaria e sem saneamento básico. Atualmente, a área está em processo de regularização no Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT), segundo a Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação no DF - SEDUH/DF (GDF, 2016).

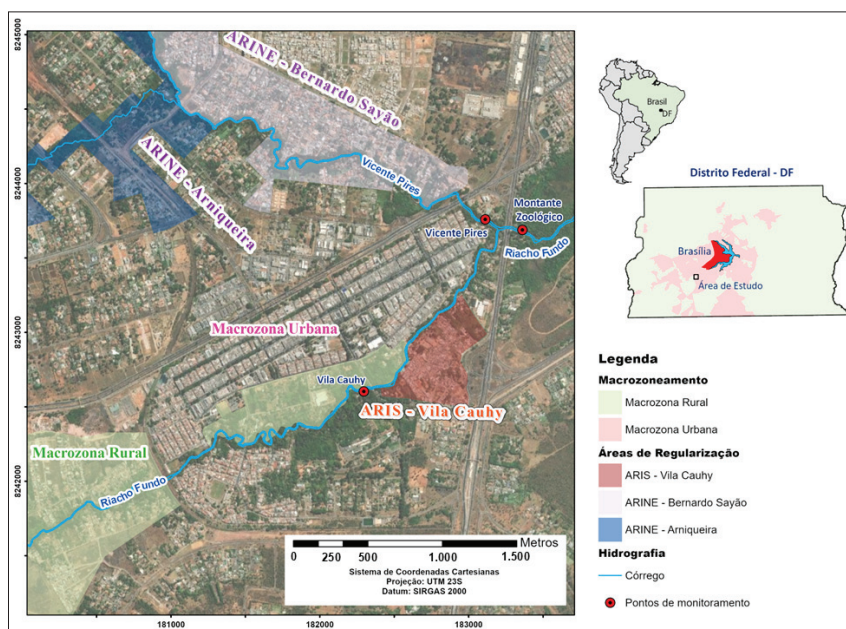


Fig. 1 - Mapa de Localização da área de estudo em relação ao atual Zoneamento do DF (PDOT/DF). ARIS - Área de Regularização de Interesse Social; ARINE - Área de Regularização de Interesse Específico.

Fig. 1 - Location map of the study area in relation to the current Federal District Zoning (Territorial Planning Master Plan - PDOT/DF). ARIS - Area of Social Interest Regularization; ARINE - Area of Specific Interest Regularization.

Materiais e Métodos

A modelagem das áreas de inundação da região da Vila Cauhy foi gerada utilizando-se o software HEC-RAS 6.2 (USACE, 2025). Desenvolvido para modelagem hidrológica, esse software permite realizar cálculos hidráulicos em uma ou mais dimensões, tanto para canais naturais quanto para canais construídos (USACE, 1997). As vantagens do uso desse software incluem a simplicidade de cálculo, a eficácia na simulação dos processos hidrológicos, a gratuidade da sua distribuição e a boa documentação, inclusive com artigos em português (USACE, 2008).

A Intensidade da chuva crítica para a área de estudo foi calculada pela equação intensidade - duração - frequência (IDF), estabelecida no Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (GDF, 2009; Da Costa, *et al.*, 2023). Para a determinação da chuva crítica (i), além dos parâmetros intensidade, duração e frequência, a equação da curva IDF considera parâmetros locais que foram modelados a partir de dados históricos de pluviometria (1961 – 2017) (GDF, 2017; Da Costa, *et al.*, 2023), levando a formulação da eq. 1.

$$i = \frac{1574,70 \times TR^{0,207}}{(t_d + 11)^{0,884}} \quad (1)$$

Onde i é a intensidade da chuva crítica (mm/h), TR é o tempo de retorno (anos), t_d é o tempo de duração da chuva (minutos).

Para a estimativa da intensidade de chuva, foram avaliados diferentes cenários considerando tempos de retorno (TR) de 3, 10 e 25 anos, com tempo de concentração de 120 minutos (fig. 2). As curvas de intensidade de chuva dos TR e do tempo de concentração basearam-se nas condições atuais de urbanização da bacia do Riacho Fundo (fig. 3). Os tempos de recorrência escolhidos para o cálculo são os mais utilizados para projetos de micro e macro drenagem urbana. A partir das curvas IDF (fig. 2), os histogramas são construídos pelo método de blocos alternados para aplicação do método *Soil Conservation Service* (SCS – NRCS, 2004).

Deste modo, as vazões de pico foram modeladas/estimadas com base em vazões de projeto, calculadas pelo método SCS. Esse método permite a incorporação do fator de escoamento superficial com o uso do *Curve Number* (CN), possibilitando

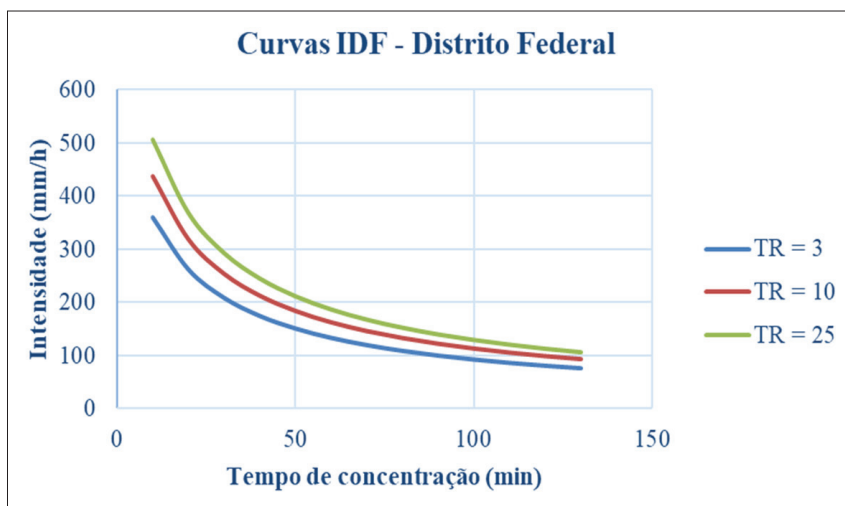


Fig. 2 - Curvas de intensidade de chuvas para os tempos de retorno de 3, 10 e 25 anos.

Fig. 2 - Rain Intensity Curve for 3, 10, and 25-year return periods.

a visualização de cenários de inundação em diferentes condições de urbanização da bacia hidrográfica. O método SCS foi escolhido por ser um dos métodos mais populares para estimativa de escoamento superficial, tendo passado por diversos aprimoramentos, tanto na formulação dos modelos, quanto na interpretação de seus parâmetros (Prabaswara, *et al.*, 2023; Odey e Cho, 2025). Embora o método tenha sido delineado para um evento particular de chuva, ele pode ser escalonado para encontrar valores anuais de escoamento superficial. O resultado do método SCS-CN (*Soil Conservation Service - Curve Number*) é adotado por muitos modelos hidráulicos para determinar a entrada de dados referente ao escoamento superficial, como nos estudos de Ezz (2018), Prastica *et al.* (2018), Costabile *et al.* (2020), Zeiger e Hubbart (2021), Munna *et al.* (2021) e Prabaswara *et al.* (2023).

Na aplicação do método CN, são considerados: (i) os tipos de solo (grupo de classe hidrológica do solo); (ii) as condições de saturação inicial; e (iii) uso e ocupação da terra da região/bacia. No caso do estudo realizado neste trabalho, foram consideradas as seguintes condições:

- I. Os tipos de solo encontrados na região são de 2 tipos: Grupo Hidrológico A – bem drenados e profundos e Grupo hidrológico D, mal drenados. Os solos

- da região do Cerrado, em especial no DF, foram adaptados por Gonçalves *et al.* (2009) a partir dos trabalhos Lombarde-Neto *et al.* (1989) e Sartori *et al.* (2005);
- II. A saturação do solo para as situações dos cenários calculados e para as situações reais considerou que as inundações, frequentemente, ocorrem durante eventos chuvosos intensos após um período prolongado de chuvas brandas ininterruptas. Em eventos de inundação analisados, verificou-se a ocorrência frequente de chuvas acumuladas superiores a 40 mm nos 5 dias anteriores às enchentes, o que justifica a adoção de uma condição de solo do tipo III (solo úmido, próximo à saturação), segundo a classificação SCS; e
- III. Para o uso e ocupação da terra, foi utilizado o mapeamento realizado em 2022, onde os principais tipos de uso e cobertura são: áreas contruídas (urbano), áreas agrícolas e vegetação natural (Formações campestres, savânicas e florestaais) (fig. 3). Este padrão de urbanização em expansão justifica a criação de cenários para as prováveis futuras enchentes da bacia em especial nas Áreas de Regularização de Interesse Social como à Vila Cauhy (fig. 1).

Neste contexto, o cálculo do coeficiente CN foi realizado a partir da média ponderada dos tipos de cobertura do solo encontrados atualmente na sub-bacia do Riacho Fundo (TABELA I). Para os cenários futuros hipotéticos, adotou-se o CN = 90, considerando a alta taxa de expansão das áreas impermeáveis na sub-bacia do Riacho Fundo, que segue o mesmo processo de impermeabilização que a sub-bacia do Vicente Pires, responsável por elevados níveis de escoamento superficial.

Para este estudo, foram selecionadas 3 estações fluviométricas (fig. 1, TABELA II) da rede de monitoramento contínuo da ADASA (SNIRH, 2020), para coleta de dados de vazão e sedimento suspenso, cuja distribuição estratégica permite avaliar os processos de inundação: (I) estação 60478185 (Vila Cauhy), a montante da Vila homônima; (II) estação 60477900 (Vicente Pires), no Córrego Vicente Pires a montante da confluência; e (III) estação 60478200 (Montante Zoológico - EPIA 003), a jusante, cerca de 100 m após a confluência. Embora o SNIRH/Hidroweb disponibilize dados fluviométricos, os levantamentos de campo foram imprescindíveis para capturar a dinâmica do fluxo em momentos de cheia, complementando as séries históricas com dados de vazões extremas, os quais são dificilmente capturados nos levantamentos regularmente executados pelas operadoras, conforme demonstrado por Aquino *et al.* (2018).

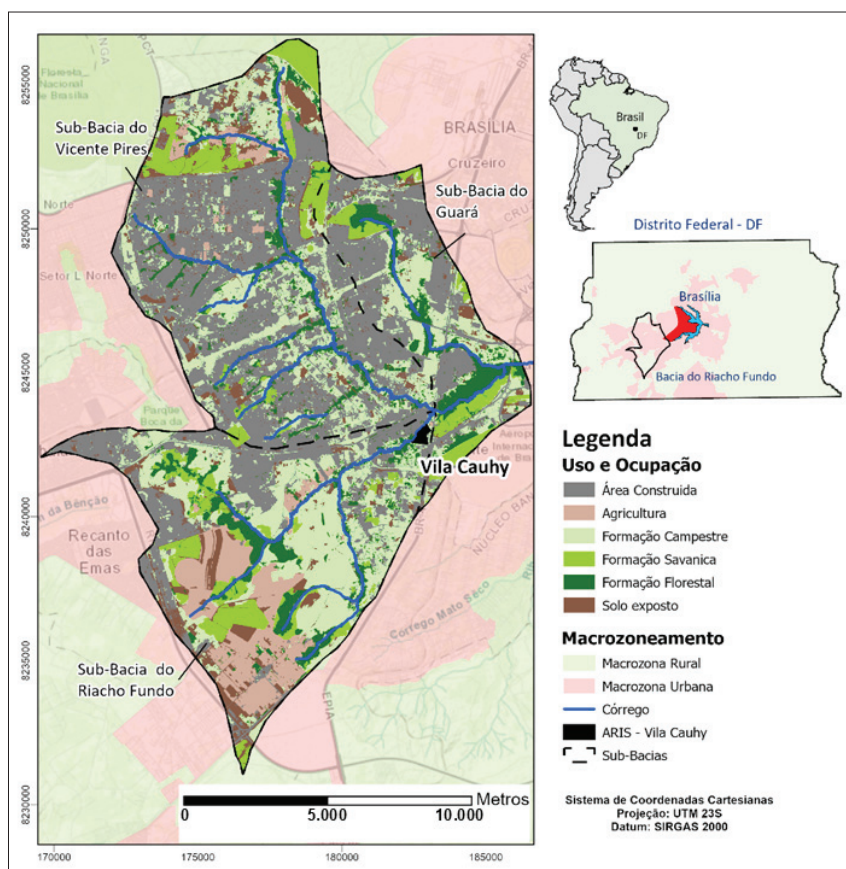


Fig. 3 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra utilizado para cálculo de CN.

Fig. 3 - Land Use and cover used for CN Calculation.

TABELA I - Valor de CN que corresponde a diferentes ocupações de solo para a condição de umidade tipo III, cujo solo pertence ao grupo hidrológico D.

TABLE I - CN Values Corresponding to Different Land Uses for Type III Humidity Condition, whose soil belongs to hydrological group D.

Uso do solo	Grupo Hidrológico A	Grupo Hidrológico D
Lotes com Solo exposto	64	78
Vias pavimentadas / Estacionamento	81	87
Zona Comercial / Zona Urbana de Alta Densidade	78	87
Cerrado	40	70
Agricultura	40	70
Lotes vegetados	40	70

Fonte: Gonçalves *et al.* (2009). Adaptado de Lombardi Neto (1989) e Sartori (2005)
Source: Gonçalves *et al.* (2009). Adapted from Lombardi Neto (1989) and Sartori (2005).

Neste contexto, as campanhas de amostragem foram planejadas com base na previsão de precipitação, utilizando radares meteorológicos da Rede de Meteorologia da Aeronáutica (REDEMET), do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), e o Gestor das Plataformas de Coleta de Dados (PCD) da ADASA.

Além disso, a batimetria dos canais foi obtida por meio de métodos acústicos (SonTek M9 ou FlowTracker, dependendo da profundidade), garantindo a precisão da representação geométrica e a consideração de mudanças na morfologia do leito devido a erosão e sedimentação.

TABELA II - Nomes e códigos das estações encontradas no Hidroweb

TABLE II - Names and Codes of the Stations found in Hidroweb.

Nome da Estação	Código	Localização	Zona UTM
Montante Zoológico - EPIA 003 – Riacho Fundo	60478200	183357,97 E 8243658,21 S	23S
Vicente Pires Montante Riacho Fundo	60477900	183151,01 E 8243762,97 S	23S
Vila Cauhy	60478185	182289,68 E 8242550,86 S	23S

A seleção dos coeficientes de rugosidade de Manning (n) (TABELA III) foi realizada com base na literatura especializada (*Chow, 1959; Barnes Jr., 1967; McCuen, 1998; De Roo, 1999*), considerando a distribuição e o tipo de rugosidade predominante em cada segmento do canal. Valores específicos foram adotados para diferentes coberturas: para trechos com árvores de grande porte, utilizou-se $n = 0,15$; para áreas de grama ou planície urbana, empregou-se $n = 0,259$. Esses valores estão em conformidade com as recomendações da Tabela 10 (*Chow, 1959; De Roo, 1999*). É importante notar que, embora esses coeficientes possam ser considerados superiores aos mais comumente empregados em contextos gerais, eles foram determinados para refletir as condições específicas observadas em campo, caracterizadas pela presença de vegetação densa, entulho e obstáculos nas margens. Tais valores foram estabelecidos como ponto de partida (valores iniciais) para posterior avaliação por meio de análise de sensibilidade e, quando possível, calibração contra as curvas-chave obtidas em estações de medição.

A morfologia da bacia hidrográfica estudada foi extraída de Modelo Digital de Terreno (MDT) disponibilizado pela Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal (Terracap). O MDT, na escala de 1:2.000, foi gerado a partir do levantamento LIDAR realizado em 2016. Com base neste MDT, complementado com dados de batimetria do canal, seções transversais foram extraídas por meio da ferramenta RAS Mapper (fig. 4). No que se refere à qualidade do MDT utilizado, cabe destacar a existência de uma descontinuidade nos dados originais, que foi mitigada com a realização de filtragens e posterior edição das seções transversais, especificamente na região da Vila Cauhy.

A definição do número e do espaçamento das seções transversais foi realizada no RAS Mapper, a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT). No HEC-RAS, o espaçamento não é fixo, sendo ajustado conforme a complexidade e a escala do trecho do rio. A modelagem unidimensional (1D) requer seções distribuídas de forma a representar adequadamente as variações do canal e da topografia circundante (Cook e Merwade, 2009).

Foram seguidas diretrizes da literatura, incluindo Samuels (1989) para o espaçamento máximo aceitável e Cook e Merwade (2009) para a representação de trechos complexos, estruturas e variações topográficas. Inicialmente, foram estabelecidas cerca de 50 seções, mas verificou-se que, em trechos retilíneos, seções muito próximas provocavam instabilidade computacional devido a erros de discretização. Nessas regiões de baixa variabilidade do canal, o espaçamento foi aumentado, garantindo a estabilidade do modelo

TABELA III - Valores de Manning utilizados na modelagem deste trabalho.

TABLE III - *Manning's Values Used in the Modeling of this Study.*

Descrição	Manning (s/m ^(1/3))	Córrego	Fonte Bibliográfica
O leito é composto de areia, cascalho e pedregulhos	0,030	Vicente Pires	(Barnes Jr., 1967)
O leito consiste em areia e argila	0,030	Riacho Fundo Jusante	(Barnes Jr., 1967)
O leito consiste em areia e pedregulho	0,032	Riacho fundo montante/ Vila Cauhy	(Barnes Jr., 1967)
Árvores de grande porte	0,15	Área urbana de inundação	(Chow, 1959)
Grama em área construída	0,259	Área urbana de inundação	(De Roo, 1999)
Asfalto	0,011	Área urbana de inundação	(McCuen, 1998)

sem comprometer a precisão dos resultados. A configuração final do modelo contemplou 40 seções transversais, com espaçamento médio de 35 m, mínimo de 12 m em trechos críticos, como início e término de pontes e trechos sinuosos, e máximo de 150 m em regiões retilíneas caracterizadas por baixa declividade e pequena variação topográfica.

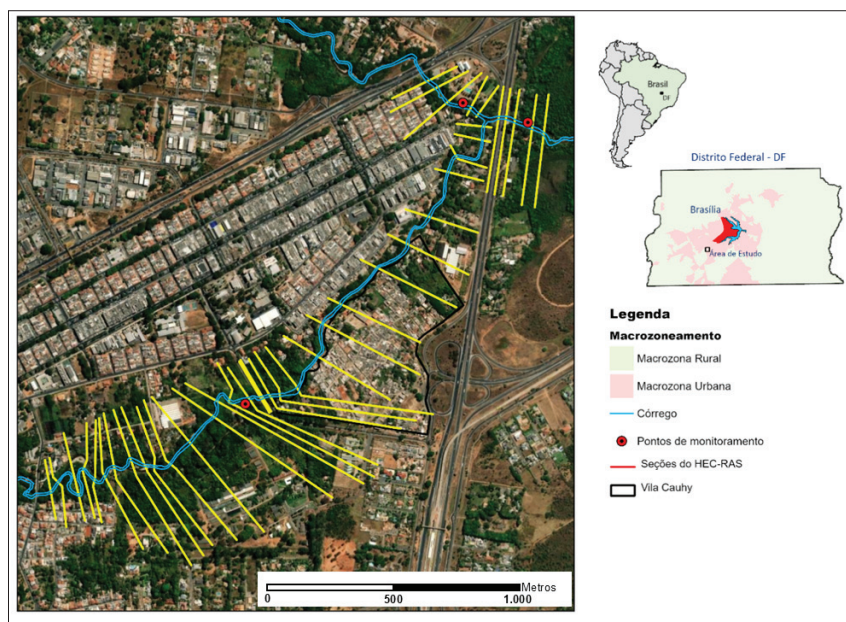


Fig. 4 - Localização das seções transversais utilizadas na modelagem com o HEC-RAS.

Fig. 4 - Location of cross-sections used in the HEC-RAS model.

Na área de estudo, existem duas estruturas (pontes) que interferem na condição hidráulica (vazão) do canal, com impacto potencializado nas condições de cheia. Essas estruturas foram parametrizadas e inseridas no modelo desenvolvido por meio de coeficientes de contração e expansão do canal, aplicados especificamente nas seções transversais adjacentes às estruturas. Adicionalmente, considerou-se a formação de áreas inefetivas devido à presença das pontes. Em razão da inexistência de dados suficientes para dimensionar as áreas inefetivas, foram utilizados os valores indicados pelo manual do modelo: 0,3 para contração e 0,5 para expansão.

A integração de observações de campo com dados das séries fluviométricas (Aquino *et al.*, 2018 e Da Costa, *et al.*, 2023) possibilitou o cálculo das curvas-chave das estações, sendo que a curva-chave da estação Vicente Pires é apresentada na fig. 5. As curvas obtidas foram utilizadas como condição de contorno (*rating curve*) no modelo HEC-RAS.

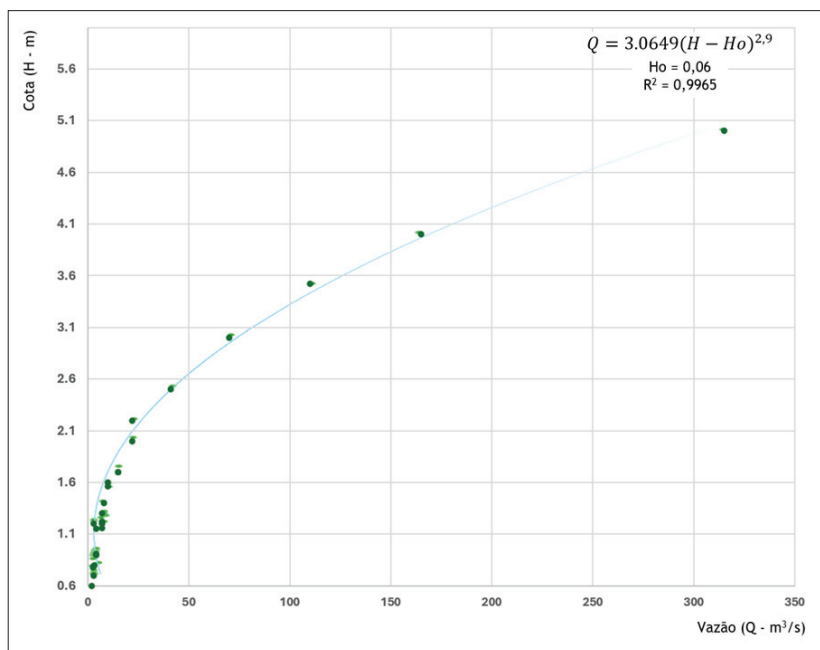


Fig. 5 - Curva-chave do córrego Vicente Pires calculada para este trabalho

Fig. 5 - Rating Curve of Vicente Pires Stream Calculated for this Study.

No ponto de controle da Vila Cauhy, a declividade do canal foi utilizada como condição de contorno (*Normal depth*) no modelo HEC-RAS, com o valor de 0,0053 m/m. Essa informação foi obtida a partir dos dados do MDT ao longo do canal e calculada de acordo com a Equação (2):

$$D = \frac{C_1 - C_2}{L} \quad (2)$$

Onde: C1 é a Cota mais alta do trecho (m); C2 é Cota mais baixa do trecho (m); e L é Comprimento do córrego (m).

Após a parametrização dos modelos, o procedimento de verificação da acurácia foi realizado a partir da estimativa de valores de raiz quadrada do erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* - RMSE), calculado a partir da diferença entre os valores de curva-chave gerados pelo modelo e os produzidos pelos dados de campo. A área de inundação calculada também foi comparada com os dados fornecidos pela Defesa Civil/DF para uma enchente que aconteceu em fevereiro de 2021 no Córrego Riacho Fundo. O RMSE é calculado de acordo com a Equação (3) abaixo:

$$RMSE = \sqrt{\frac{(Y - X_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Onde: n é o tamanho da amostragem; Y é o valor de caudal dado pelo modelo; e Xi é o valor de caudal medido em campo.

Resultados e discussão

A taxa de impermeabilização na Bacia do Riacho Fundo reflete o crescimento desordenado típico do Distrito Federal. Em 2022, o mapa de uso da terra indica que aproximadamente 40% da bacia está quase totalmente impermeabilizada devido à urbanização acelerada. Adicionalmente, 10% das áreas de preservação permanente (APP), conforme o Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012), estão degradadas por atividades humanas como construções, vias ou agricultura, especialmente nas áreas de Regularização de Interesse Social, como a Vila Cauhy.

Considerando o exposto e a partir da modelagem hidrológica, foi possível mapear as principais áreas sujeitas a inundações para vários eventos de precipitação, como por exemplo os TR de 3, 10 e 15 anos. O processo de modelagem reproduziu com sucesso os eventos de inundação da Vila Cauhy ocorridos em 2016 e 2021, quando a enchente atingiu várias regiões habitadas (fig. 6 e 7 e 8 e 9, respectivamente).

O mapa de inundação com tempo de retorno de 3 anos (TR = 3 anos), foi simulado para uma vazão de 85 m³/s e altura d'água de aproximadamente até 3,5 metros (fig. 6). Essa altura foi a registrada durante a chuva de janeiro de 2006 que causou inundação na Vila Cauhy, segundo relatório de campo da Defesa Civil (fig. 7), podendo atingir até 1 m nas áreas urbanas (fig 7B).

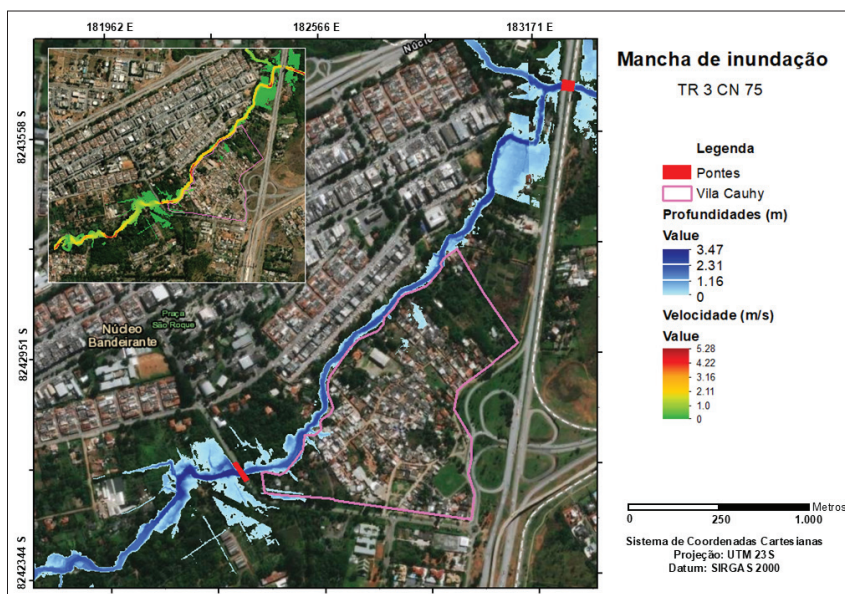


Fig. 6 - Mapa das áreas inundadas para um tempo de retorno de 3 anos, similar ao evento de 2016 gerados pelo HEC_RAS com os pontos de “alagamento” identificados pelo corpo de bombeiros e apresentados na fig. 7.

Fig. 6 - Map of flooded areas for a 3-year return period, similar to the 2016 event, generated by HEC-RAS, with the ‘flooding’ points identified by the fire department and presented in fig. 7.



Fig. 7 - Fotos da inundação da Vila Cauhy em 2016 e das perdas materiais registradas logo após o evento (Fotografia do acervo do Corpo de Bombeiros).

Fig. 7 - Photos of the flood in Vila Cauhy in 2016 and of the material losses recorded shortly after the event (Source: Photography from the Fire Department collection).

Para embasar o projeto de obras de drenagem, foram simuladas outras duas situações com a mesma taxa de ocupação da bacia, mas com tempos de recorrência maiores (10 e 25 anos). No mapa de simulação com tempo de recorrência de 10 anos ($TR = 10$ anos) e CN 75 (fig. 8), observa-se o provável evento responsável pela inundação de 2021, que além da vila Cauhy (fig. 9), provocou inundações em outras regiões na bacia do Riacho Fundo, como a região da ponte do Aeroporto e zoológico. Para este evento é possível verificar o efeito do barramento hidráulico da ponte antes da Vila Cauhy e logo após a confluência com o Rio Vicente Pires (fig. 8).

A ponte reduz a velocidade da água a montante, impactando no escoamento e, consequentemente, no controle do volume de água que chega tanto na Vila Cauhy como na região da NovaCap. Nesse caso, a velocidade da água começa a se elevar na área urbanizada, aumentando o poder de destruição da inundação.

Na simulação com tempo de recorrência de 25 anos (fig. 10), os resultados indicaram um transbordamento expressivo do nível d'água para fora do canal principal do rio. Nesse caso, a velocidade da água pode atingir até aproximadamente 2,3 m/s na área residencial atingir uma lamina d'água de até 1,5m.

O RMSE calculado para esses modelos foi de 2,14. Este valor serve de comparativo para futuras simulações que utilizem mais dados de caudal (vazão). É importante destacar que os dados da estação Vila Cauhy, na sub-bacia do córrego Riacho Fundo, utilizados neste estudo têm uma baixa densidade de levantamento, o que demonstra a necessidade de adição de mais dados para a confirmação da curva chave, proporcionando assim uma maior confiabilidade ao modelo.

A fig. 11 mostra uma comparação entre as vazões pontuais coletadas em campo em um ano hidrológico e os resultados calculados na simulação. O RMSE foi calculado a partir do desvio padrão dessa comparação. Vale ressaltar que a coleta de dados de vazão é uma tarefa complexa e, por isso, o número de eventos registrados é limitado.

Além dos cenários que consideraram a estimativa de CN ponderado, foram simulados cenários de urbanização com maior impermeabilização do solo à jusante da Vila Cauhy, com um CN = 90 (fig. 12, 13 e 14), que corresponde a uma zona urbana densamente ocupada. Esse cenário já é realidade na sub-bacia do Córrego Vicente Pires (fig. 3), que também sofre com alagamentos devido à precariedade das redes de drenagem urbana. Vale ressaltar que as simulações visam auxiliar na alocação eficiente de recursos para a prevenção e mitigação das enchentes.

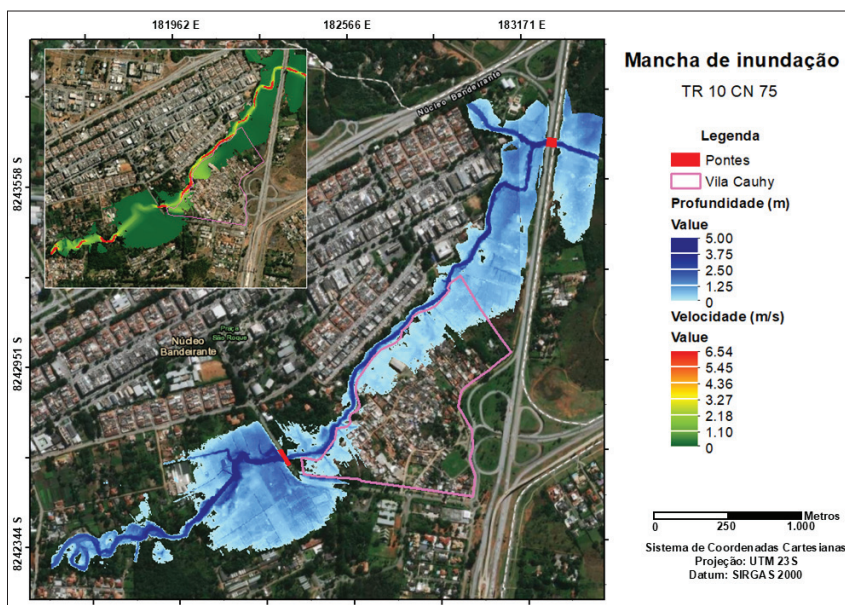


Fig. 8 - Mapa mancha de inundação para TR= 10 anos, similar ao evento de 2021 gerados pelo HEC_RAS com os pontos de “alagamento” identificados pelo corpo de bombeiros e apresentados na fig. 10

Fig. 8 - Flood extent map for a 10-year return period, similar to the 2021 event, generated by HEC-RAS, with the 'flooding' points identified by the fire department and presented in fig. 10.



Fig. 9 - Fotos da inundação da Vila Cauhy em 2021 e das perdas materiais registradas logo após o evento (Fotografia do acervo do Corpo de Bombeiros).

Fig. 9 - Photos of the flood in Vila Cauhy in 2021 and of the material losses recorded shortly after the event (Photography from the Fire Department collection).

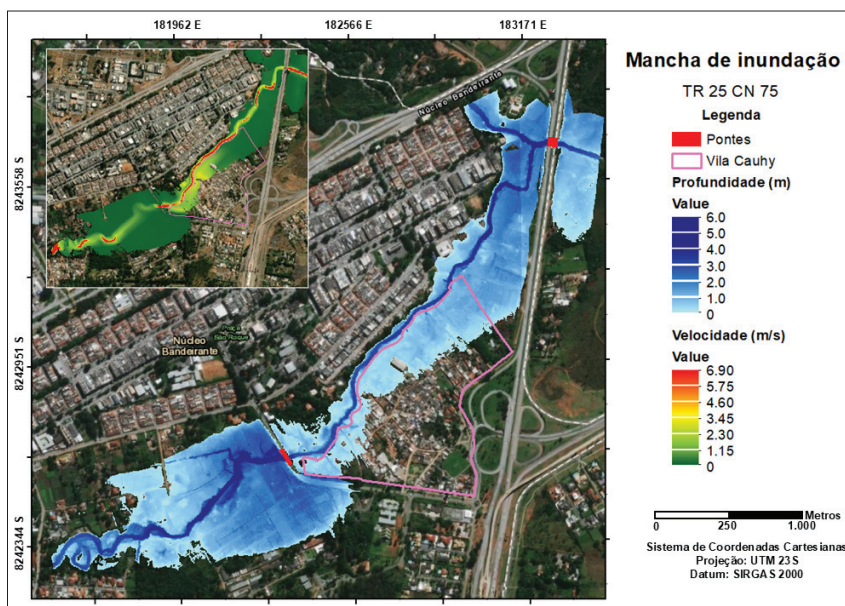


Fig. 10 - Mancha de inundação para TR = 25 anos e CN = 75.

Fig. 10 - Floodplain for TR (Return Period) = 25 years and CN (Curve Number) = 75.

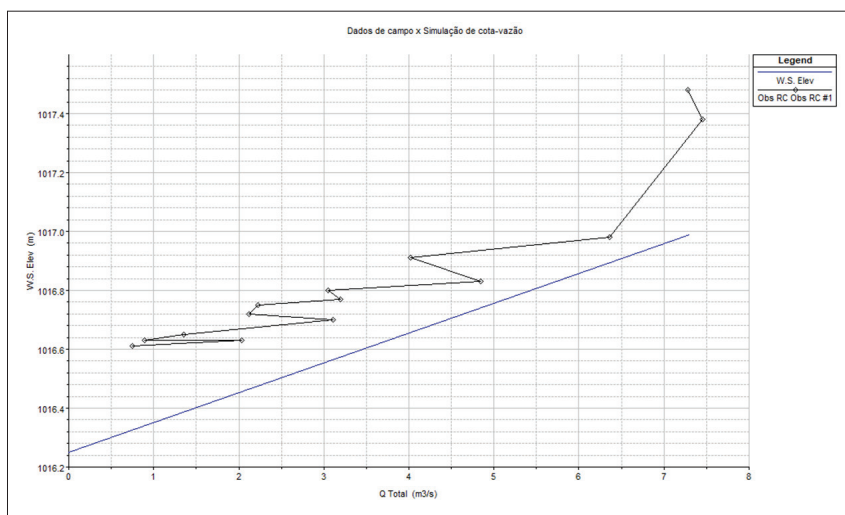


Fig. 11 - Comparação de dados de caudal coletados em campo com os resultados da simulação

Fig. 11 - Comparison of Field Collected Flow Data with Simulation Results.

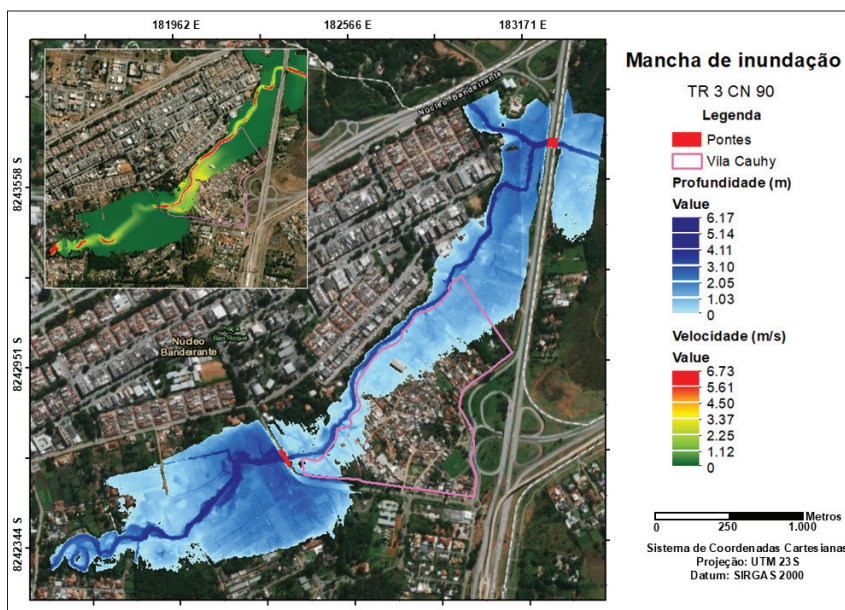


Fig. 12 - Mancha de inundação para TR = 3 anos e CN = 90.

Fig. 12 - Floodplain for TR (Return Period) = 3 years and CN (Curve Number) = 90.

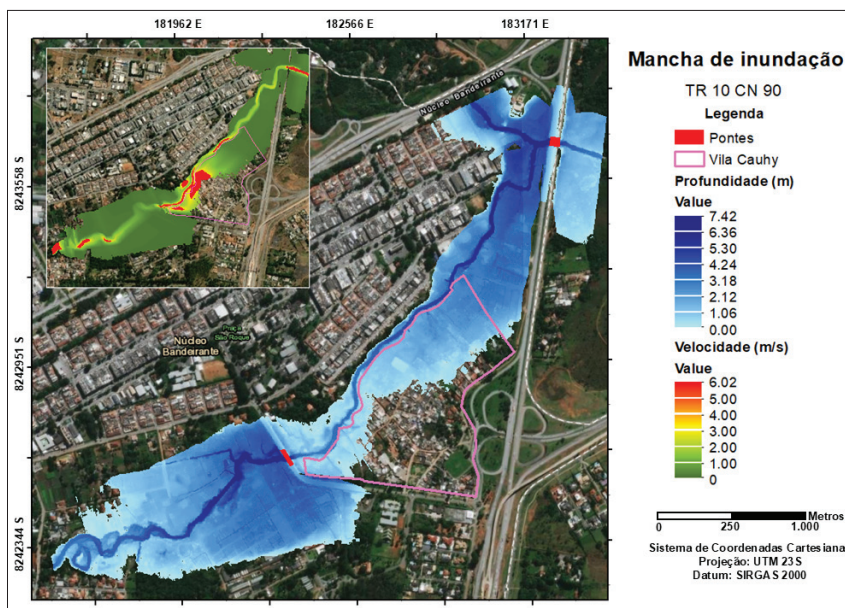


Fig. 13 - Mancha de inundação para TR = 10 anos e CN = 90.

Fig. 13 - Floodplain for TR (Return Period) = 10 years and CN (Curve Number) = 90.

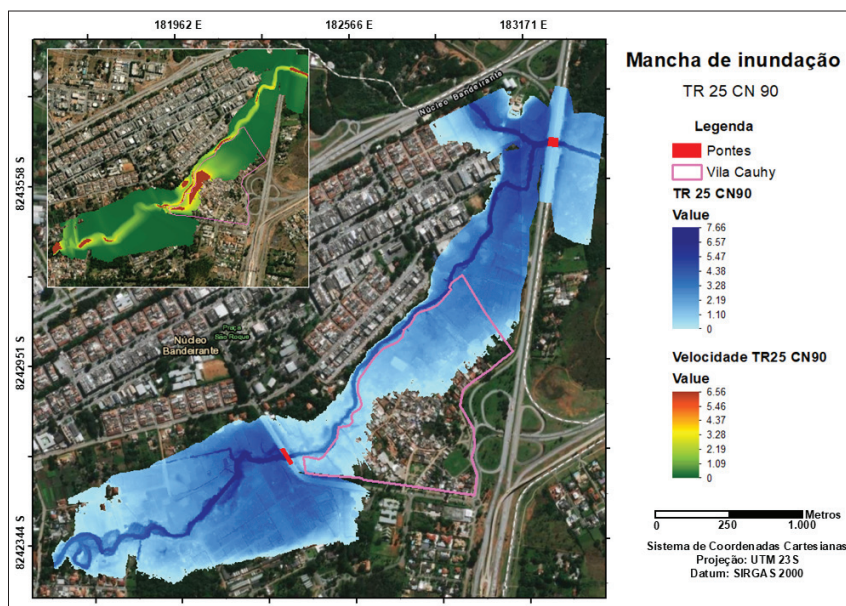


Fig. 14 – Mancha de inundação para TR = 25 anos e CN = 90.

Fig. 14 - Floodplain for TR (Return Period) = 25 years and CN (Curve Number) = 90.

No cenário de urbanização com CN = 90, a mancha de inundação para um TR = 3 anos (fig. 12) é semelhante à mancha de inundação para um TR = 25 anos e CN = 75 na situação de ocupação atual da bacia (fig. 10). Isso demonstra o alto risco para o aumento das inundações caso não sejam tomadas medidas para controlar a impermeabilização da bacia.

As manchas de inundação resultantes dos cenários com TR de 10 e 25 anos e CN = 90 indicam maiores áreas de inundação e níveis d'água mais elevados. Em alguns trechos do talvegue do rio, a altura da água pode atingir cerca de 5 metros no TR de 3 anos, ao passo que pode alcançar até aproximadamente 7,5 metros no TR de 10 e 25 anos. Nesse contexto, o potencial destrutivo da onda de cheia é muito alto, podendo provocar diversos danos no local e à jusante da Vila Cauhy. Isso inclui danos expressivos às residências, o carreamento de materiais para o leito do rio, a obstrução de locais de estreitamento do canal, entre outros. A velocidade da água também é preocupante, podendo atingir 6,0 m/s e laminais d'água de até 2 m em pontos específicos da área residencial.

É importante ressaltar que, mesmo com uma forte relação entre a simulação e os eventos já observados, a baixa densidade de dados dos levantamentos utilizados, demonstra que o modelo necessita de aprimoramento e que os resultados das simulações futuras precisam ser utilizadas com cautela e novos dados são necessários para a confirmação da curva chave, proporcionando assim uma maior confiabilidade ao modelo.

Conclusão e recomendações

Neste estudo, avaliou-se a propensão à inundação na bacia do córrego Riacho Fundo, com ênfase na identificação das áreas alagadas, destacando-se a vila Cauhy, que enfrenta episódios frequentes de enchentes. A avaliação do uso e cobertura do solo evidenciou que, na região do Córrego Vicente Pires, a urbanização é mais intensa e consolidada, resultando em menor variação do CN. Por outro lado, a porção sul da bacia, onde se localiza o Córrego Riacho Fundo, apresenta alto potencial de expansão urbana devido à sua posição estratégica em relação às atividades econômicas e à proximidade com o Plano Piloto.

Os experimentos que simularam diferentes cenários de impermeabilização (variando o CN) na sub-bacia do Córrego Riacho Fundo demonstraram a relevância de intervenções para mitigação de enchentes futuras. O modelo indicou a ampliação das áreas urbanas afetadas em cenários com maior impermeabilização, reforçando a necessidade de ações preventivas.

As enchentes na Vila Cauhy, área urbana consolidada situada em faixa de preservação permanente, são um problema recorrente e poucos estudos sobre a situação dessa área fragilizada da cidade foram encontrados. As manchas de inundação identificadas no estudo podem subsidiar ações preventivas, contribuindo para evitar novas fatalidades e perdas materiais. Os resultados do modelo, que indicam velocidades elevadas e elevado potencial destrutivo da onda de cheia, reforçam a urgência de um planejamento territorial que vá além da análise técnica, integrando aspectos sociais, urbanísticos e ambientais.

A demonstração de que a impermeabilização significativa da bacia amplifica as áreas urbanas afetadas pelas cheias ressalta a urgência de um ordenamento

territorial efetivo, aliado à incorporação de soluções baseadas na natureza — como a recuperação de ecossistemas degradados e o aumento da permeabilidade do solo urbano —, estratégias essenciais para a resiliência frente às inundações. Essa abordagem, como demonstrado por Sanches *et al.* (2020) em outras regiões do Distrito Federal, pode complementar medidas de engenharia e oferecer respostas mais sustentáveis ao problema.

Os resultados também ressaltam a importância do desenvolvimento de sistemas de monitoramento e alerta precoce. Tais sistemas, fundamentados em dados robustos e modelagens precisas, são fundamentais para que as informações geradas se traduzam em ações preventivas e de resposta rápida, salvaguardando as comunidades mais vulneráveis. A contínua pesquisa e o investimento em gestão integrada de riscos hidrológicos representam, portanto, uma abordagem socialmente responsável e economicamente vantajosa, capaz de mitigar os expressivos prejuízos e o sofrimento humano associados aos eventos de inundação extrema.

Para estudos futuros, vislumbram-se três pontos importantes para o aprimoramento dos modelos e dos cenários analisados. Em primeiro lugar, considerando que este estudo representa uma primeira aproximação, sugere-se a otimização do sistema de seções transversais, tornando-o mais densificado, especialmente em trechos críticos, e sua integração a simulações bidimensionais (2DH), visando a obtenção de resultados mais robustos. Em segundo lugar, recomenda-se a incorporação ao modelo de soluções baseadas na natureza (SbN) e de outras tipologias de infraestrutura de drenagem, com o objetivo de avaliar o seu impacto na mitigação de inundações. Por fim, ressalta-se a necessidade de intensificar a coleta de dados de vazão durante eventos extremos, por meio de sistemas de monitoramento automatizados. Essa medida é justificada pela rápida propagação da onda de cheia e pelo considerável potencial de transporte de sedimentos e materiais, que dificulta o monitoramento manual e exige informações precisas para a validação e calibração de modelos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de mestrado e doutorado concedidas aos dois primeiros autores. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília pelo infraestrutura disponibilizada e programa de Pós-graduação em Geociências Aplicada e Geodinâmica por todo apoio administrativo e financeiro.

Referências bibliográficas

- Adams, T. E., Chen, S., & Dymond, R. (2018). Results from Operational Hydrologic Forecasts Using the NOAA/NWS OHRFC Ohio River Community HEC-RAS Model. *Journal of Hydrologic Engineering*, V.23, I.7. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001663](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001663)
- da Costa, J., Gonçalves, S. A., & do Espírito Santo, A. S. (2023). *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal*. 2. ed. ADASA. Brasília, DF, 327 p. https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/drenagem_urbana/regula%C3%A7%C3%A3o/Manual_de_drenagem_e_manejo_de_aguas_urbanas/Manual%20Drenagem%20Adasa_Digital_rev_compactado-2_compressed.pdf
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2025). *As enchentes no Rio Grande do Sul: lições, desafios e caminhos para um futuro resiliente*. Ed. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. – Brasília, 57 p. URL: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/107692?returnUrl=/sophia_web/Home/Index&guid=1745452800751
- Aquino, I. G., Roig, H. L., Oliveira, E. S., Garnier, J., Guimarães, E., & Koide, S. (2018). Variação temporal da descarga sólida em suspensão e identificação de minerais a partir de aperfeiçoamento de método de amostragem automática no Córrego Riacho Fundo, Brasília, Distrito Federal. *Geologia USP, Sér. cient.*, 18(2), 171-185. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-140500>
- Aryal, A., Acharya, A., & Kalra, A. (2022). Assessing the Implication of Climate Change to Forecast Future Flood Using CMIP6 Climate Projections and HEC-RAS Modeling. *Forecasting*, 4(3), 582-603. DOI: <https://doi.org/10.3390/forecast4030032>
- Barendrecht, M.H., Viglione A, & Blöschl, G. (2017). A dynamic framework for flood risk. *Water Security*, 1, 3–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.02.001>
- Barnes Jr, H. H. (1967). *Roughness Characteristics of Natural Channels*. United States Government Printing Office. Washington. https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp_1849/pdf/wsp_1849.pdf
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilbashi, A., Bonacci, O., Borga, M., ... Živković, N. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357, 588–590. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
- Bravo, N., & Carmo, J. S. (2005). Study of fluvial processes using Geographic Information Systems. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 83, 525–533. DOI: <https://www.witpress.com/Secure/elibary/papers/RM05/RM05050FU.pdf>

- Brunner, G. W, Savant, G., & Heath, R. (2020a). *Modeler Applicatoin Guidance for Steady vs Unsteady, and 1D vs 2D vs 3D Hydraulic Modeling TD-41*. U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.
URL: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/hgt/latest/reference-documents>
- Brunner, G. W., Sanchez, A., Molls, T., Ford, D., & Parr, D. A. (2020b). *HEC-RAS Verification and Validation Tests*. U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.
URL: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/hgt/latest/reference-documents>
- Bush, S. T., Dresback, K. M., Szpilka, C. M., & Kolar, R. L. (2022). Use of 1D Unsteady HEC-RAS in a Coupled System for Compound Flood Modeling: North Carolina Case Study. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(3), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse10030306>
- Campos, S. J. A. M., Stefani, F., Faccini, L., & Bitar, O. (2015). Mapeamento de áreas sujeitas à inundação para planejamento e gestão territorial: cartas de suscetibilidade, perigo e risco. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 5(1), 67-81.
DOI: <https://www.abge.org.br/downloads/revistas/mapeamento.pdf>
- Chow, V. (1959). *Open Channel Hydraulics*. NY: Mc Graw Hill international editions.
- Christidis, N., & Stott, P. A. (2015). Extreme Rainfall in the United Kingdom During Winter 2013/14: The Role of Atmospheric Circulation and Climate Change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96, S46–S50. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00094.1>
- CRED (2025). *2024 Disasters in numbers: A Hot and Stormy Year*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. URL: https://files.emdat.be/reports/2024_EMDAT_report.pdf
- CRED (2024). *CRED Crunch 75 - Hydrological Disasters in South America*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. <https://files.emdat.be/2024/07/CredCrunch75.pdf>
- CRED & UNDRR (2020) *The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019)*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.
URL: <https://www.cred.be/sites/default/files/CRED-Disaster-Report-Human-Cost2000-2019.pdf>
- Cook, A., & Merwade, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 377, 131 - 142.
- Costabile, P., Constanzo, C., Ferraro, D., Macchione, F., & Petaccia, G. (2020). Performances of the New HEC-RAS Version 5 for 2-D Hydrodynamic-Based Rainfall-Runoff Simulations at Basin Scale: Comparison with a State-of-the Art Model, *Water*, 12, 2326, 1-19.
DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092326>
- Criss, R. E. (2024). Dynamics of River Flood Waves below Hydropower Dams and Their Relation to Natural Floods. *Water*, 16(8), 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16081099>
- De Roo, A. P. J., Price, D. A., & Schmuck, G. (1999), Simulating the Meuse and Oder floods using the LISFLOOD model. In: Fohrer, N. & Doell, P. (eds.) *Modellierung des Wasser- und Stofftransports in grossen Einzugsgebieten Proceedings Giessen Meeting November*. Kassel University Press, 41-50.
- Delano Smith, C. (1979). *Western Mediterranean Europe: A Historical Geography of Italy, Spain and Southern France since the Neolithic*. Academic Press.
- Delforge, D., Wathelet, V., Below, R., Lanfredi Sofia, C., Tonnelier, M., van Loenhout, J.A.F., & Speybroeck, N. EM-DAT: the Emergency Events Database. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 124(15), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105509>
- Di Baldassarre, G., S. Sacca, G.T. Aronica, S. Grimaldi, A. Ciullo, & M. Crisci. (2017). Human-flood interactions in Rome over the past 150 years. *Advances in Geosciences*, 44, 9–13.
DOI: <https://doi.org/10.5194/adgeo-44-9-2017>

- Donatti, C. C. I., Nicholas, K., Fedele, G., Delforge, D., Speybroeck, N., Moraga, P., Blatter, J., Below, R., & Zvoleff, A. (2024). Global hotspots of climate-related disasters. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 108, 1-18p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104488>
- Ezz, H. (2018). Integrating GIS and HEC-RAS to model Assiut plateau runoff. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 219-227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.002>
- Fallah, B., & Rostami, M. (2024). Exploring the impact of the recent global warming on extreme weather events in Central Asia using the counterfactual climate data ATTRICI v1.1. *Climatic Change*, 177(80), 1 – 20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03743-0>
- FEMA (2001). *National Flood Insurance Program. Modernizing FEMA's Flood Hazard Mapping Program: Recommendations for Using Future-Conditions Hydrology for the National Flood Insurance Program*. URL: https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-03/frm_frpt.pdf
- FEMA (2024). *National Flood Insurance Program. Flood Insurance Manual*. URL: https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_nfip_flood-insurance-manual_042024.pdf
- Frizzle, C, Trudel, M., Daniel, S, Pruneau, A, & Noman, J. (2024) LiDAR topo-bathymetry for riverbed elevation assessment: A review of approaches and performance for hydrodynamic modelling of flood plains. *Earth Surface Processes and Landforms*, 49, 2585–2600. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.5808>
- GDF (2009). *Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal: Manual Técnico 2 e 3*. Brasília: Concremat Engenharia, Secretaria de Estado de Obras do GDF. URL: <https://www.sanfrancisco2.com.br/files/legislacoes/02-Manual-de-Drenagem-Urbana-Manuais-Tecnicos-2-3.pdf>
- Goerl, R. F., Michel, G. P., & Kobiyama, M. (2017). Mapeamento de áreas susceptíveis a inundações com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. *Revista brasileira de cartografia*, 69(1). 61-69. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n1-44032>
- Gonçalves. T. D., Campos, J. E. G., & Roig, H. L. (2009). Sistema de informação geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geociências*, 39, 169-180. URL: <http://bjg.siteoficial.ws/2009/n.1/o.pdf>
- Halgamuge, M. N., & Nirmalathas, A. (2017). Analysis of large flood events: Based on flood data during 1985–2016 in Australia and India. *International journal of disaster risk reduction*, 24, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.05.011>
- Hall, J., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilibashi, A., Boháč, M., Bonacci, O., Borga, M., Burlando, P., Castellarin, A., Chirico, G.B., Claps, K. Fiala, L., Gaál, L., Gorbachova, A., Gül, J., Hannaford, A., Kiss, T., Kjeldsen, S., Kohnová, J. J., ... Blöschl, G (2015). A European Flood Database: Facilitating comprehensive flood research beyond administrative boundaries. *Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci.*, 370, 89–95. DOI: <https://doi.org/10.5194/piahs-370-89-2015>
- IBGE (2018). *Pesquisa de Informações Básicas Municipais: Perfil dos Municípios Brasileiros 2017*. Coordenação de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro. URL: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101595.pdf>
- IPCC (2022). *Climate Change 2022 - Impacts, Adaption and Vulnerability: the Working Group II contribution*. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
- Julien, P. Y. (2018). *River Mechanics*. 2nd edition. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781316107072>
- Kay, A. L., Booth, N., Lamb, R., Raven, E., Schaller, N., & Sparrow, S. (2018). Flood event attribution and damage estimation using national-scale grid-based modelling: Winter 2013/2014 in Great Britain. *International Journal of Climatology*, 38, 5205–5219. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.5721>

- Kay, A. L., Crooks, S. M., Pall, P., & Stone, D. A. (2011). Attribution of Autumn/Winter 2000 flood risk in England to anthropogenic climate change: A catchment-based study. *Journal of Hydrology*, 406, 97–112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.06.006>
- Khattak, M. S., Anwar, F., Saeed, T. U., Sharif, M., Sheraz, K., & Ahmed, A. (2016). Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcGIS: a case study of Kabul River. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41, 1375–1390. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1915-3>
- Kimutai, J., Faka, D., Ayabagabo, P., Barnes, C., Zachariah, M., Pinto, I., Koren, G., Vahlberg, M., Singh, R., Heinrich, D., Raju, E., Thalheimer, L., Sivanu, S. & Otto, F. (2023b). *Limited data prevent assessment of role of climate change in deadly floods affecting highly vulnerable communities around Lake Kivu*. Grantham Institute, Imperial College London
- Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2011). Flood Management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas - a case study. *Hydrological Sciences Journal*, 56(2), 212–225. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>
- Lestel, L., M. Meybeck, C. Carre, & J. Belliard. (2023). The Seine, the River dedicated to Paris. In K.M. Wantzen (ed.), *River Culture-Life as a Dance to the Rhythm of the Waters* (673–697). UNESCO Publishing. URL: <https://hal.science/hal-03936169>
- Li F, Yan X-F & Duan H. F. (2019). Sustainable Design of Urban Stormwater Drainage Systems by implementing detention tank and LID measures for flooding risk control and water quality management. *Water Resources Management*, 33, 3271–3288. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02300-0>
- Li, X., Wehner, M., Judi, D., and Hetland, R. (2024). The influence of climate change on flooding and social inequalities from remnants of Hurricane Ida. *Nature Reviews Earth & Environment*, 33, 3271–3288 DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3470345/v1>
- Loi, N. K., Liem, N. D., Tu, L. H., Hong, N. T., Truong, C. D., Tram, V. N. Q., Nhat, T. T., Anh, T. N., & Jeong, J. (2019). Automated procedure of real-time flood forecasting in Vu Gia –Thu Bon river basin, Vietnam by integrating SWAT and HEC-RAS models. *Journal of Water and Climate Change*, 10, 535–545. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.015>
- Lombardi Neto, F., Bellinazzi Júnior, R., Galeti, P. A., Bertolini, D., Lepsch, I. F., & Oliveira, J.B. (1989). Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. *Simpósio sobre terracamento agrícola* (99–124). Fundação Cargill.
- Luu LN, Scussolini P, Kew S, Philip S, Hariadi MH, Vautard R, Van Mai K, Van Vu T, Truong KB, Otto F, van der Schrier G., van Aalst, M. K. & van Oldenborgh, G. J. (2021). Attribution of typhoon-induced torrential precipitation in Central Vietnam, October 2020. *Climatic Change*, 169(24), 1 – 24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03261-3>
- Marengo, J. A., Dolif, I. G. Cuartas, A., Camarinha, P., Gonçalves, D., Luiz, R., Silva, L., Alvala, R. C. S., Seluchii, M. E., Moraes, O. L., Soares, W. R., & Nobre, C. A. (2024). O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. *Estudos Avançados*, 38(112), 203–227. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.202438112.012>
- Martini, F., & Loat, R. (2007). *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*. European Commission. EXCIMAP -European exchange circle on flood mapping. Water Directors. URL: <https://www.preventionweb.net/quick/47764>
- Masoero, A., Claps, P., Asselman, N. E., Mosselman, E., & Di Baldassarre, G. (2013). Reconstruction and analysis of the Po River inundation of 1951. *Hydrological Processes*, 27(9), 1341–1348. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.9558>
- McCuen, R. H. (1998). *Hydrologic analysis and design*. 2a ed. Editora Prentice Hall.

- Mihu-Pintilie, A., Cimpianu, C. I., Stoleriu, C. C., Pérez, M. N., & Paveluc, L. E. (2019). Using high-density LiDAR data and 2D streamflow hydraulic modeling to improve urban flood hazard maps: A hec-ras multi-scenario approach. *Water*, 11(9), 1832, 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11091832>
- Moin, P. (2010). *Fundamentals of Engineering Numerical Analysis*. 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press. Online. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511781438>
- Mudashiru, R. B., Sabtu, N., Abustan, I., Balogun, W. (2021). Flood hazard mapping methods: A review. *Journal of Hydrology*. 603, 1-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126846>
- Munna, G. M., Alam, M. J., Uddin, M. M., Isla M, N., & Orthee, A. A. (2021). Runoff prediction of Surma basin by curve number (CN) method using ARC-GIS and HEC-RAS. *Environmental and Sustainability Indicators* 11, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100129>
- Nagarajan, K., Raju Narwade, A. P., Panhalkar, S., Kulkarni, V. S., & Hingmire, A. P. (2022). Employing Digital Elevation Model (DEM) for Floodplain mapping with applications of HEC-HMS, HEC-RAS, and ArcGIS: A Review. *Journal of Research in Sciences and Engineering*, 13(2), 1-16. DOI: <https://techjournals.stmjournals.in/index.php/JoRSG/article/view/1291>
- Najibi, N., & Devineni, N. (2018). Recent trends in the frequency and duration of global floods. *Earth System Dynamics*, 9(2), 757-783. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-9-757-2018>
- NRCS - NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (2004). *National Engineering Handbook. Part 630: Hydrology. Chapter 10 – Estimations of Direct Runoff from Storm Rainfall*. United States Department of Agriculture. URL: https://irrigationtoolbox.com/NEH/Part630_Hydrology/H_210_630_10.pdf
- Odey, G., & Cho, Y. (2025). Event-Based vs. Continuous Hydrological Modeling with HEC-HMS: A Review of Use Cases, Methodologies, and Performance Metrics. *Hydrology*, 12(2), 1-39. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology12020039>
- Oliver, T. H. & Morecroft, M. D. (2014). Interactions between climate change and land use change on biodiversity: attribution problems, risks, and opportunities. *WIREs Clim Change*, 5, 317–335. DOI: <https://doi.org/10.1002/wcc.271>
- Ongdas, N., Akiyanova, F., Karakulov, Y., Muratbayeva, A., & Zinabdin, N. (2021). Application of HEC-RAS (2D) for Flood Hazard Maps Generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan. *Water*, 12, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12102672>.
- Pall, P., Aina, T., Stone, D. A., Stott, P. A., Nozawa, T., Hilberts, A. G. J., Lohmann, D., & Allen, M. R. (2011). Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. *Nature*, 470, 382–385. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature09762>
- Peereboom, I. O. (2000). *Identification of areas exposed to flooding in Norway at a national level*. Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE), Section for Geoinformation. URL: https://gis3.nve.no/metadata/rapporter/smallscalefloodassessment_v3.pdf
- Philip, S., Sparrow, S., Kew, S. F., van der Wiel, K., Wanders, N., Singh, R., Hassan, A., Mohammed, K., Javid, H., Hausteine, K., Otto, F. E. L., Hirpa, F., Rimi, R. H., Islam, A. K. M. S., Wallom, D. C. H., & van Oldenborgh, G. J. (2019) Attributing the 2017 Bangladesh floods from meteorological and hydrological perspectives, *Hydrology and Earth System*, 23, 1409–1429. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-23-1409-2019>
- Pietroiu, I., Vanderkelen, I., Otto, F. E. L., Barnes, C., Temple, L., Akurut, M., Bally, P., Nicole, P. M., van Lipzig, N. P. M., & Thiery, W. (2024). Possible role of anthropogenic climate change in the record-breaking 2020 Lake Victoria levels and floods. *Earth System Dynamics*, 15, 225–264. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-15-225-2024>
- Ponce, V. M. (2014). *Engineering Hydrology, Principles and Practices*. (2nd ed.). URL: <http://ponce.sdsu.edu/enghydro/>

- Prabaswara, M. H. M. A., & Wickramaarachchi, T. N. (2023). Event-Based Rainfall-Runoff Simulation Using Different Precipitation Loss Methods: Case Study in Tropical Monsoon Catchment. *Sustainable Water Resources Management*, 9, 1-16.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00795-x>
- Prastica, R. M., Maitri, C., Hermawan, A., Nugroho, P. C., Sutjningsih, D., & Anggraheni, E. (2018). Estimating design flood and HEC-RAS modelling approach for flood analysis in Bojonegoro city. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316, 1-9.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/316/1/012042>
- Raaijmakers, R., J. Krykwow, & van der Veen, A. (2008). Flood risk perceptions and spatial multi-criteria analysis: An exploratory research for hazard mitigation. *Natural Hazards*, 46, 307–322
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9189-z>.
- Rangari, V. A., & Lal, D. S. (2025). Advancements in Urban Flood Modeling: A Comprehensive Review of Models and Capabilities. In: Baskaran, V., Renuka, S., Velkennedy, R. (eds) *EcoTech Urbanism*. The Urban Book Series. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-83833-0_6
- Ridolfi, E., Lucantonio, M., Di Baldassarre, G., Moccia, B, Napolitano, F, & Russo, F (2025). The interplay between the urban development of Rome (Italy) and the Tiber River floods: A review of two millennia of socio-hydrological history. *Ambio*, 54, 198–210.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02078-5>
- Samuels, P.G. (1989). Backwater lengths in rivers. *Proceedings -- Institution of Civil Engineers, Part 2, Research and Theory*, 87, 571–582. DOI: <https://doi.org/10.1680/jicep.1989.3779>
- Sanches Brito, L. K., Leite Costa, M. E., & Koide, S. (2020). Assessment of the Impact of Residential Urban Patterns of Different Hillslopes on Urban Drainage Systems and Ecosystem Services in the Federal District, Brazil. *Sustainability*, 12(14), 5859. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12145859>
- Sartori, A., Genovez, A.M, & Lombardi Neto, F. (2005). Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10(4), 05-18.
DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p19-29>
- Schaller, N., Kay, A. L., Lamb, R., Massey, N. R., van Oldenborgh, G. J., Otto, F. E. L., Sparrow, S. N., Vautard, R., Yiou, P., Ashpole, I., Bowery, A., Crooks, S. M., Haustein, K., Huntingford, C., Ingram, W. J., Jones, R. G., Legg, T., Miller, J., Skeggs, J., ... Allen, M. R. (2016). Human influence on climate in the 2014 southern England winter floods and their impacts. *Nature Climate Change*, 6, 627–634. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2927>
- Scussolini, P., van der Wiel, K., Wehn, H.-W., van der Spek, E., Siebert, S., Leite, R., Van den Broeke, R. C., van der Velde, S., Wallinga, D., Kwadijk, O. H. V., Ward, P. (2023). Challenges in the attribution of river flood events. *WIREs Climate Change*, 14(3), e819. DOI: <https://doi.org/10.1002/wcc.874>
- Sebastian, A., Gori, A., Blessing, R. B., van der Wiel, K., & Bass, B. (2019). Disentangling the impacts of human and environmental change on catchment response during hurricane Harvey. *Environmental Research Letters*, 14, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5234>
- SGB (2024). *Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações*. Porta do SGB. Serviço Geológico de Brasil. URL: <https://www.sgb.gov.br/cartas-de-suscetibilidade>
- Silverira, G.B, Rodrigues. L.H.R., & Dornelles, F. (2025). Uso de soluções baseadas na natureza (SbN) pela gestão pública brasileira no manejo de águas pluviais urbanas. Urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 17, 1- 21. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.016.e20240012>
- Shrestha, A., Bhattacharjee, L., Baral, S., Thakur, B., Joshi, N., & Kalra, A. (2020). Understanding Suitability of MIKE 21 and HEC-RAS for 2D Floodplain Modeling. *World Environmental and Water Resources Congress 2020: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis*. Asce Library, 311-317. DOI: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784482971.024>

- Shustikova, I., Domeneghetti, A., Neal, J.C., Bates, P., & Castellarin, A (2019). Comparing 2D capabilities of HEC-RAS and LISFLOOD-FP on complex topography. *Hydrological Sciences Journal*, 64, 1769–1782. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1671982>
- Smiley, K. T., Noy, I., Wehner, M. F., Frame, D., Sampson, C. C., & Wing, O. E. (2022). Social inequalities in climate change-attributed impacts of Hurricane Harvey. *Nat. Commun.* 13:34 *Nature Communications*, 13, 341818, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31056-2>
- Snikitha, S., Kumar, G.P. & Dwarakish, G.S. (2025). A Comprehensive Review of Cutting-Edge Flood Modelling Approaches for Urban Flood Resilience Enhancement. *Water Conservation Science and Engineering* 10, 2, 1-32. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41101-024-00327-y>
- SNIRH - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS (2020). *Hidroweb*. disponível em <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>
- Thakur, B., Parajuli, R., Kalra, A., Ahmad, S., & Gupta, R (2017). Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in precipitation runoff modelling and evaluating flood plain inundation map. In *World Environmental and Water Resources Congress. Asce Library*, 240–251.
URL: https://digitalscholarship.unlv.edu/fac_articles/450
- Tradowsky, J. S., Philip, S. Y., Kreienkamp, F., Kew, S. F., Lorenz, P., Arrighi, J., Bettmann, T., Caluwaerts, S., Chan, S.C., De Cruz, L., de Vries, H., Demuth, N., Ferrone, A., Fischer, E. M., Fowler, H. J., Goergen, K., Heinrich, D., Henrichs, Y., Kaspar, F., ... Wanders, N. (2023). Attribution of the heavy rainfall events leading to severe flooding in western Europe during July 2021. *Climatic Change*, 176, 1 - 38. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03502-7>
- USACE (1997). *HEC-RAS River Analysis System*. USACE.
URL: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- USACE. (2008). *Dam Break Analysis for Reservoir*. Tetra tech.
URL: <https://www.hec.usace.army.mil/publications/TrainingDocuments/TD-39.pdf>
- USACE (2025). *HEC-RAS User's Manual Version 6.7_Beta3*.
URL: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs>
- USDA. (2014). Chapter 17 - Flood Routing. In *National Engineering Handbook Hydrology Chapters - Natural Resources Conservation Services. Section 5 - Hydraulics*. USAD.
URL: <https://damtoolbox.org/images/a/a6/NEH17.pdf>
- Vautard, R., Yiou, P., Otto, F., Stott, P., Christidis, N., Oldenborgh, G. J. van, & Schaller, N. (2016). Attribution of human-induced dynamical and thermodynamical contributions in extreme weather events. *Environmental Research Letters*, 11, 114009.
- Wehner, M., & Sampson, C. (2021). Attributable human-induced changes in the magnitude of flooding in the Houston, Texas region during Hurricane Harvey. *Climatic Change*, 166(20), 1-13.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03114-z>
- Zandsalimi, Z., Feizabadi, S., Yazdi, J., & Neyshabouri, S.A.A.S. (2024). Evaluating the Impact of Digital Elevation Models on Urban Flood Modeling: A Comprehensive Analysis of Flood Inundation, Hazard Mapping, and Damage Estimation. *Water Resource Management*, 38, 4243–4268.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03862-4>
- Zambrano, F. C., Kobiyama, M., Pereira, M. A. F., Michel, G. P., & Fan, F. M. (2020). Influence of different sources of topographic data on flood mapping: urban area São Vendelino municipality, southern Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25, 1-13.
DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190108>
- Zeiger, S. J., Hubbart, J. A. (2021). Measuring and modeling event-based environmental flows: An assessment of HEC-RAS 2D rain-on-grid simulations. *Journal of Environmental Management*, 285, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112125>

**MONITORAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA
VEGETAÇÃO ATRAVÉS DA ANÁLISE DO NDVI
FRENTE AO REGIME DE CHUVA NA PARAÍBA-BRASIL**
**SPATIAL-TEMPORAL MONITORING OF
VEGETATION THROUGH NDVI ANALYSIS IN
FRONT OF THE RAIN REGIME IN PARAÍBA-BRAZIL**

Bárbara Silva Souza

Universidade Federal de Campina Grande (Brasil)
Faculdade de Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
ORCID: 0000-0003-3777-9508 barbarasouza3397@gmail.com

Célia Campos Braga

Universidade Federal de Campina Grande (Brasil)
Faculdade de Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
ORCID: 0000-0001-6383-3112 celia.braga@ufcg.edu.br

Beatriz Alves Lopes

Universidade Federal de Campina Grande (Brasil)
Faculdade de Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
ORCID: 0009-0005-7504-1194 beatriz.lopes@estudante.ufcg.edu.br

Edivan Silva dos Santos

Universidade Federal de Campina Grande (Brasil)
Faculdade de Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
ORCID: 0009-0001-0099-3263 edivan.silva@estudante.ufcg.edu.br

Resumo: A devastação da cobertura vegetal nativa devido às ações antrópicas e naturais caracteriza um cenário preocupante que pode repercutir em mudanças significativas no clima. Portanto, vale salientar a fundamental importância do monitoramento da vegetação na detecção das mudanças climáticas. Diante das considerações acima, o presente trabalho objetiva avaliar a dinâmica da vegetação e as tendências dos índices de vegetação dependentes da precipitação pluvial anual e mensal de

anos extremos. Utilizaram-se imagens de satélite do sensor MODIS/Aqua no período de 2003-2018 para calcular o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), com resolução espacial de 1 km, e dados de precipitação pluviométrica (PRP). Os valores do NDVI mostraram que a resposta da vegetação tem início de um a dois meses após as chuvas, dependendo do tipo de cobertura. A correlação linear entre os totais anuais de PRP e médias anuais do NDVI explicou 82 % da variância total dos dados e correlação bastante expressiva de $r=0,91$ para o nível de significância de $\alpha=0,05$. Neste contexto, pode-se considerar que o NDVI é um bom indicador de chuvas de uma determinada região.

Palavras-chave: Variabilidade climática, cobertura vegetal, índice de vegetação.

Abstract: The devastation of native vegetation cover due to human and natural actions characterizes a worrying scenario that could result in significant changes in the climate. Therefore, it is worth highlighting the fundamental importance of monitoring vegetation in detecting climate change. Given the above considerations, the present work aims to evaluate the dynamics of vegetation and trends in vegetation indices dependent on annual and monthly rainfall in extreme years. Satellite images from the MODIS/Aqua sensor were used in the period 2003-2018 to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), with a spatial resolution of 1 km, and rainfall data (PRP). The NDVI values showed that the vegetation response begins one to two months after the rains, depending on the type of cover. The linear correlation between annual PRP totals and annual average NDVI explained 82 % of the total data variance and a very significant correlation of $r=0.91$ for the significance level of $\alpha=0.05$. In this context, it can be considered that the NDVI is a good indicator of rainfall in a given region..

Keywords: Climate variability, vegetation cover, vegetation index.

Introdução

A devastação da cobertura vegetal nativa, seja por ações antrópicas, como o desmatamento para fins agrícolas ou urbanização, ou por causas naturais, como incêndios florestais, tem causado um impacto significativo no ambiente. Além das óbvias consequências para a biodiversidade local, a perda de vegetação tem implicações abrangentes que afetam diretamente o clima e os serviços ecossistêmicos. Estudos científicos demonstram que a degradação da cobertura vegetal contribui para mudanças climáticas globais, não apenas por meio da liberação de gases de efeito estufa, mas também pela diminuição da capacidade de absorção de carbono da atmosfera. Além disso, a perda de vegetação nativa reduz a resiliência dos ecossistemas a eventos climáticos extremos, como secas e inundações, exacerbando ainda mais os impactos sobre as comunidades humanas e a vida selvagem. Portanto, é crucial monitorar de perto a dinâmica da vegetação, tanto em nível local quanto global, a fim de entender e mitigar os efeitos das mudanças climáticas que ocorrem (Madureira, 2019; IPCC, 2021).

A utilização de séries temporais de imagens orbitais são cruciais para identificar padrões, detectar mudanças globais na cobertura terrestre ou anomalias associadas a atividades humanas contínuas e/ou fatores naturais (Kuplich *et al.* 2013), tornando-se uma das aplicações mais importantes dos dados de sensoriamento remoto atualmente (Martinez e Gilabert, 2009; Freitas *et al.*, 2011). Francisco *et al.* (2020) destacam que, devido ao avanço tecnológico na obtenção de dados da superfície terrestre por meio de sensores remotos, as imagens multiespectrais têm se tornado a principal fonte de dados, com resoluções espaciais, espectrais e radiométricas cada vez mais refinadas.

Dados de sensoriamento remoto têm ampla aplicação na determinação e classificação de parâmetros da vegetação, assim como no monitoramento de culturas agrícolas regionais, desertificação, monitoramento de secas, estimativa do Índice de Área Foliar -IAF, albedo, balanço de energia, evapotranspiração, estimativa da água consumida em perímetros irrigados, entre outros. Algumas dessas aplicações incluem monitoramento das possíveis modificações temporais e espaciais ocorridas na dinâmica da vegetação, destacando-se o uso do Índice de

Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), que possibilita, dentre outros, avaliar o desenvolvimento e característica do tipo de vegetação, os quais são úteis no uso de modelos de previsão de tempo e clima. Este índice é obtido a partir de dados espectrais nas bandas do vermelho - V (0,55 – 0,70 μm) e infravermelho próximo - IV (0,70 – 1,30 μm), para explicitar as condições vegetativas, ou seja, o vigor vegetativo em cada pixel da imagem de forma numérica, variando de -1 a 1 (Parkinson, 1997).

Diversos pesquisadores têm desenvolvido estudos utilizando séries temporais de índices de vegetação para observar as mudanças climáticas ocorridas devido a fatores naturais e antrópicos (Zhan, 2002). Destacam-se os trabalhos realizados por Dantas (2008), que conduziu um estudo comparativo entre imagens do Landsat-Tm e AVHRR/NOAA para estimar o Índice de Área Foliar e Albedo sobre diferentes regiões no estado do Ceará, identificando correções significativas entre os parâmetros. Braga *et al.* (2009) utilizaram dados de dois anos do Landsat 5 para encontrar correlações entre diferentes parâmetros da vegetação na região Nordeste do Brasil. Sousa e Braga (2012) utilizaram dados do AVHRR/NOAA para estudar a variabilidade da vegetação no estado da Paraíba ao longo de quatro anos na década de 2010. Dantas *et al.* (2013) analisaram o comportamento da vegetação em anos extremos no estado de Pernambuco, utilizando dados de sensores remotos e destacando a estabilidade da vegetação em regiões serranas, como na Serra do Araripe-Ce. Rocha *et al.* (2016) realizaram o monitoramento mensal da variabilidade espacial da vegetação no estado da Paraíba utilizando dados do AVHRR/NOAA. Costa *et al.* (2017) utilizaram imagens do produto MOD13A3 para analisar a variabilidade espaço-temporal do EVI em regiões homogêneas no estado da Bahia. Braga *et al.* (2018) especializaram o albedo estimado sobre diferentes regiões no cerrado do Amapá a partir de imagens do sensor MODIS/Terra, utilizando o algoritmo de Liang (2000). Da Silva (2019) utilizou dados do MODIS/Terra para estimar a Produtividade Primária Bruta (PPB) na Caatinga no semiárido paraibano e investigou a relação entre os valores medidos e estimados em uma torre micrometeorológica. Souza *et al.* (2019), baseados em séries de dados do sensor MODIS/Aqua, analisaram a dinâmica da vegetação durante anos extremamente chuvosos (2005/2011) e secos (2016/2017) em três estados do

Nordeste do Brasil. Com base em séries de dados do sensor MODIS/Aqua, Souza *et al.* (2019) analisaram a dinâmica da vegetação nos anos extremamente chuvosos (2005/2011) e secos (2016/2017) em três estados do Nordeste do Brasil. Chen *et al.* (2020) utilizaram dados do NDVI derivados de satélites durante o período de 1982 a 2015 para investigar a variabilidade espaço-temporal da resposta da vegetação às anomalias da precipitação na China. Devido aos esforços contínuos da comunidade científica para aprimorar a precisão dos dados provenientes de diversas fontes (Souza *et al.* 2022; Costa *et al.*, 2017; Song *et al.*, 2019; Braga *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2020; Chen *et al.* 2020) no intuito de detectar possíveis tendências e mudanças climáticas em todo o mundo, destaca-se a importância crucial do monitoramento da vegetação para identificação dessas mudanças ao longo do tempo.

Diante das considerações acima, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica, tendência e dependência da vegetação em relação a precipitação pluvial no estado da Paraíba no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2018. Para isto analisou-se o comportamento do NDVI e sua associação com o regime pluviométrico (PRP) anual e, mensal de dois anos extremos (chuvoso de 2009 e seco de 2012, respectivamente), para investigar e precisar a resposta da vegetação às variações da precipitação no estado da Paraíba neste anos específicos.

Metodologia

O estado da Paraíba está localizado na região nordeste do Brasil, área marcada pelas altas temperaturas e irregularidade das chuvas, abrangendo o bioma Caatinga e a área litorânea onde predomina o bioma mata atlântica. O Estado possui clima semiárido e subúmido seco, na parte centro-oeste (Alto Sertão, Sertão, Cariri/Curimataú e Agreste) e clima subúmido e úmido no leste (Brejo e Litoral) conforme regiões homogêneas delimitadas por Brito e Braga, 2005. (fig. 1). O Estado é fortemente influenciado pelos sistemas atmosféricos que atuam no Nordeste do Brasil, mas os mais importantes na geração de chuvas **são** a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os quais são responsáveis cerca de 80 % da precipitação nos meses de fevereiro e maio, abrangendo por parte

do setor centro-oeste (Molion e Bernardo, 2002; Reboita *et al.* 2012). No setor leste o período mais chuvoso ocorre de maio a julho, cuja precipitação é proveniente das ondas de leste e brisas (Gan e Kousky, 1986; Ferreira e Mello, 2005).

A Caatinga cobre originalmente aproximadamente 90 % do território Paraibano (MapBiomias, 2023), excluindo as áreas da Mata Atlântica (litoral), do cerrado e dos brejos de altitude (agreste e brejo) (fig.1). Assim, o Estado é caracterizado como uma região de muitas variações ambientais, submetendo a vegetação a uma diversidade em suas características, com grande adaptabilidade. As plantas do tipo xerófitas, com cactos suculentos, árvores crassuláceas com estratos arbustivos adaptados às condições de estiagem, e espécies de baixo e médio porte com folhas pequenas, que agem como protetoras contra o calor e desidratação, de grande biodiversidade. Respondem prontamente às chuvas, refletindo as variações na disponibilidade de água (Sanches *et al.*, 2018). Os solos geralmente são ricos em nutrientes, garantindo fertilidade e promovendo o crescimento vegetal (SENAR, 2014). No entanto, nas regiões do setor leste, cujo bioma compreende a Mata Atlântica (litoral) com vegetação de grande porte apresenta regime de chuvas mais regulares, favorecendo a permanência da vegetação verde praticamente o ano todo (Brito e Braga, 2005), devido a proximidade do mar e atuação de sistemas de leste

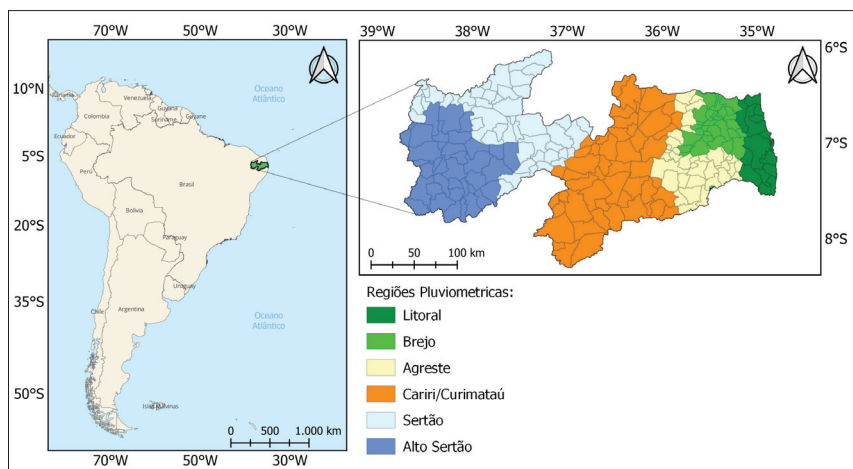


Fig. 1 - Localização Geográfica do estado da Paraíba em relação à América do Sul.

Fig.1 - *Geographic location of the state of Paraíba in relation to South America.*

que atuam nessa região, tais como brisa e ondas de leste (Gan e Kousky, 1986; Ferreira; Mello, 2005). Quanto ao relevo, observa-se predominantemente terrenos planos ou levemente ondulados na maior parte da paisagem. No entanto, algumas áreas apresentam elevações superiores a 2.000 m, configurando serras e cadeias montanhosas (Sampaio, 2003).

A série temporal dos dados utilizados compreende o período de janeiro de 2003 a dezembro de 2018 do produto mensal MYD13A3 do satélite MODIS/Aqua com resolução espacial de 1 km. Este produto corresponde a composição do NDVI proveniente dos canais 1 e 2 (visível e infravermelho próximo) e convertidos em unidades de reflectância da superfície vegetada. Os valores de NDVI variam entre -1 e 1 (Latorre *et al.*, 2003). O NDVI é determinado pela seguinte proporção:

$$NDVI = \frac{(IV - V)}{(IV + V)}$$

Em que, IV e V são as medidas da reflectância nas bandas espectrais do infravermelho próximo (0,725-1,10 μm) e do visível (0,58-0,68 μm) respectivamente. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação verde, sua magnitude reflete o nível de atividade fotossintética da vegetação. Para as superfícies vegetadas os valores de NDVI variam de 0 a 1, solo exposto valores entre 0 e 0,3, para os corpos d'água e nuvens geralmente são menores que zero. A variabilidade nos valores do NDVI da vegetação possibilita a diferenciação entre a vegetação verde e seca em relação aos demais alvos da superfície. Valores mais próximos de 1 denotam uma vegetação vigorosa, ao passo que valores mais baixos sugerem uma vegetação menos saudável (Parkinson, 1997). Em seguida, para encontrar a relação existente entre a precipitação total média anual e o NDVI médio anual no período de 2003 a 2018 utilizou-se os seguintes indicadores estatísticos: Erro Médio Absoluto (EMA), Erro Percentual Absoluto Médio (EPAM), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) e *Coefficiente de Determinação* (R^2) e *correlação linear de Pearson* (r) (WILKS, 2006). Utilizou-se o software ERDAS para o tratamento das imagens de satélite e, posteriormente, o software QGIS para a confecção dos mapas temáticos mensais. Os dados pluviométricos foram obtidos no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA-PB).

Resultados e Discussão

A seguir são analisados e discutidos os padrões espaciais e temporais da precipitação média anual e do índices de vegetação NDVI obtido de imagens do sensor MODIS satélite Terra com resolução espacial 1 km para o período de 2003 a 2018 no estado da Paraíba, localizado na região nordeste do Brasil. A fig. 2 a) e b) ilustra a distribuição espacial do total médio anual da chuva e a média anual do NDVI do período estudado.

Os valores mais elevados de NDVI no estado da Paraíba são encontrados no setor leste (litoral, agreste e brejo) e oeste (sertão) e, os menores na diagonal da região central (cariri/curimataú) do Estado, conforme o regime de chuva (Brito e Braga, 2005). Nas regiões de vegetação de grande porte (mata atlântica-litoral) a resposta da vegetação às chuvas ocorre lentamente, enquanto que em áreas de vegetação Caatinga a resposta é mais rápida, ou seja, um mês após as chuvas a vegetação já está em pleno vigor (Braga *et al.* 2003).

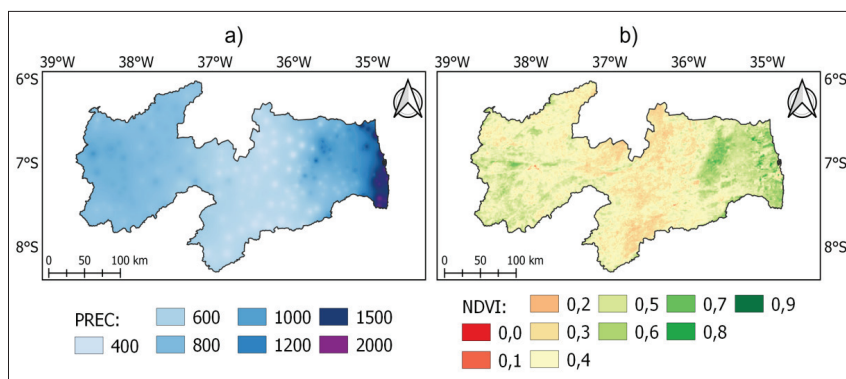


Fig. 2 - Variabilidade dos totais médios anuais da precipitação (a) e Variabilidade espacial da média do NDVI (b) no estado da Paraíba, Brasil no período de 2003-2018.

Fig. 2 - Variability of average annual precipitation totals (a) and Spatial variability of average NDVI (b) in the state of Paraíba, Brazil in the period 2003-2018.

A fig. 3 a) e b) apresenta a variabilidade espacial média do NDVI para o ano chuvoso de 2009 e seco de 2012, respectivamente. Observa-se que, o comportamento mensal do NDVI nesses anos extremos (chuvoso e seco) são semelhantes e oscilam

com a variabilidade dos índices pluviométricos. Os valores mais elevados são encontrados no setor leste (litoral, agreste e brejo) e oeste (sertão) e os menores na diagonal da região central do Estado, semelhante ao comportamento total médio anual da PRP e NDVI (fig. 2 a) e b)).

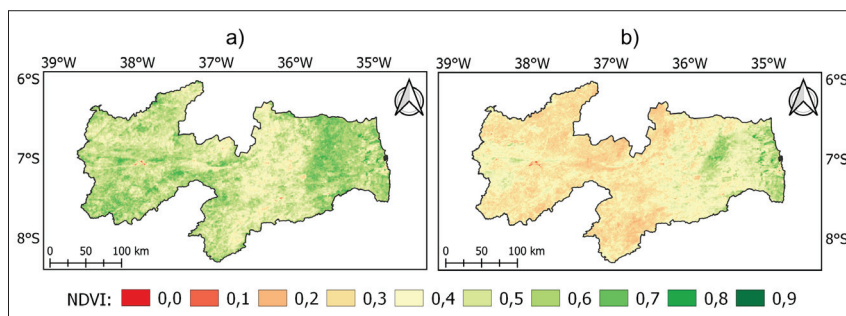


Fig. 3 - Variabilidade espacial média do NDVI para o ano chuvoso de 2009 (a) e seco de 2012 (b) para o estado da Paraíba, Brasil.

Fig. 3 - Spatial variability of NDVI for the rainy year of 2009 (a) and dry year of 2012 from the NDVI (b) for the state of Paraíba, Brazil

Nesta seção são analisados e discutidos os mapas temáticos da variabilidade (evolução/diminuição) total mensal da PRP e da média mensal do NDVI para os dois anos extremos selecionados (chuvoso de 2009 e seco 2012). As fig.'s 4a a 6b e 7a a 9b referem-se à distribuição espacial mensal dos respectivos anos. Para o ano chuvoso 2009, as chuvas mais expressivas ocorreram no oeste de janeiro a maio. A partir de fevereiro, com as chuvas ocorridas em janeiro, o NDVI se eleva em quase todo o Estado com maior intensidade em abril e maio, onde se observam os maiores valores oscilando entre 0,5 e 0,9, principalmente no oeste do Estado (período chuvoso da região). A partir de junho as chuvas decrescem e o NDVI diminui no oeste (fim do período chuvoso). No setor leste as chuvas continuam até agosto, com maior intensidade em julho (período chuvoso do setor leste), os valores do NDVI são mais elevados, variando de 0,6 a 0,9 de maio a julho (fig. 5a e 5b). A partir de setembro começa o período de estiagem em quase toda a região, o NDVI vai diminuindo até dezembro com valores baixos entre 0,4 e 0,6 no litoral (fig. 6a e 6b). Ressalta-se que, embora tenha diminuído as chuvas no leste, a vegetação ainda

continua verde no litoral e, em pontos isolados mais próximos, pois esta região além das chuvas serem mais regulares, devido a proximidade do mar, assim como, a atuação de sistemas de leste (Kousky, 1980; Gan e Kousky, 1986), onde a vegetação predominante é de grande porte, com raízes mais profundas que retiram a água do subsolo (Braga, 2000).

Para o ano seco de 2012 o comportamento do NDVI é semelhante ao do ano chuvoso. Entretanto, neste ano, a distribuição mensal das chuvas foi bastante irregular e escassa quando comparada com o ano chuvoso. A partir dos mapas temáticos deste ano (fig. 7a e 7b), percebe-se que os meses de janeiro e fevereiro choveu pouco em todo o Estado com maiores índices pluviométricos no oeste e leste (fig. 7a), com NDVI variando de 0,3 na região central e de 0,6 no leste e oeste (fig. 7b). A partir de março as chuvas diminuíram em quase toda a região. Em junho, o setor leste (litoral) volta a chover. Nos meses de junho e julho a vegetação fica mais vigorosa e o NDVI oscilando de 0,6 a 0,7 na faixa litorânea e Agreste. De agosto em diante as chuvas diminuem consideravelmente até dezembro, consequentemente a vegetação fica praticamente seca em quase toda região (fig. 8a a 9b).

A fig. 10 ilustra a variabilidade temporal dos totais anuais médios da precipitação – PRP e a média anual do NDVI para o período de 2003-2018. Observa-se claramente que o índice está associado a variabilidades sazonais da precipitação, assim como para os anos extremos de 2009 (fig. 4a a 6b) e 2012 (fig. 7a a 9b). Além disso, pode-se observar que o NDVI mostra estar bem relacionado com as precipitações, pois quando a precipitação cresce nos anos de 2004, 2009 e 2011, coincide com os picos do NDVI. Quando o NDVI é mínimo o valor da precipitação é baixo, a exemplo do ano de 2012 (ano mais seco da década) (Souza *et al.* 2022). Os resultados mostram a tendência da precipitação decrescente a partir de 2012 até 2018, consequentemente ocorreu um decréscimo do NDVI. Para precisar melhor a dependência do NDVI em relação as precipitações, aplicou-se a estatística do coeficiente de correlação linear entre as variáveis (Wilks, 2006).

A fig. 11 ilustra o diagrama de dispersão e curva de regressão entre o total anual de PRP e média anual do NDVI no período de 2003-2018. Durante este anos o NDVI mostrou crescimento significativo em relação a precipitação no estado da

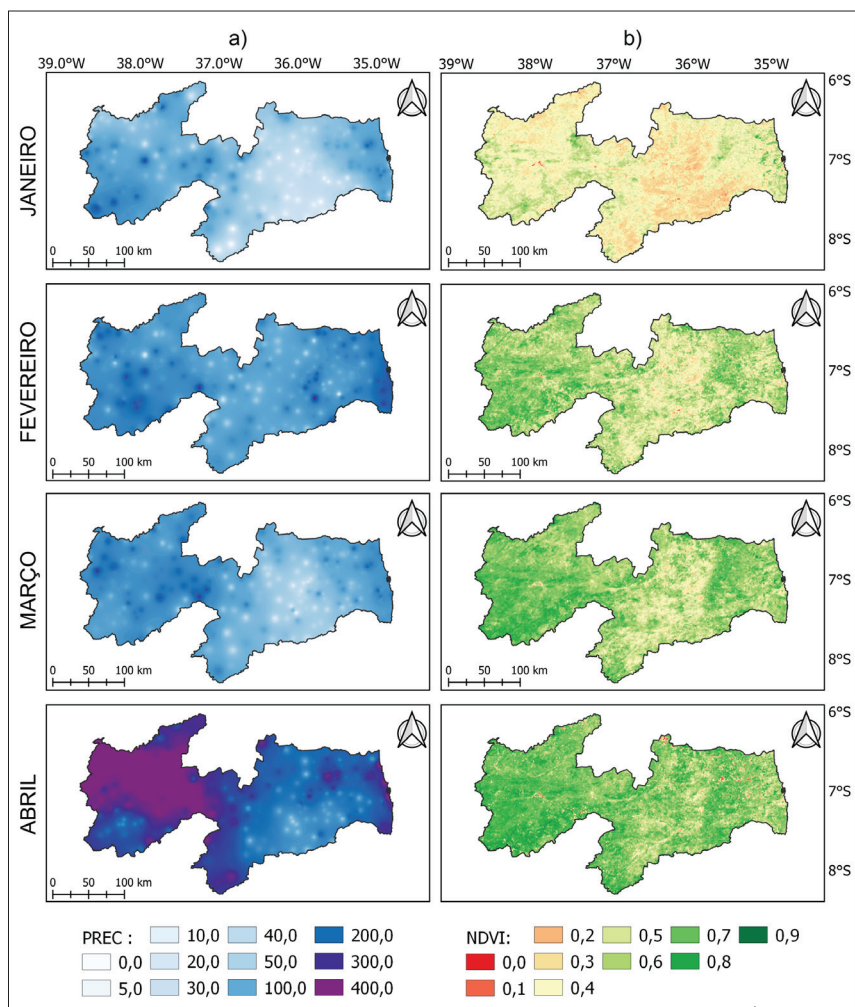
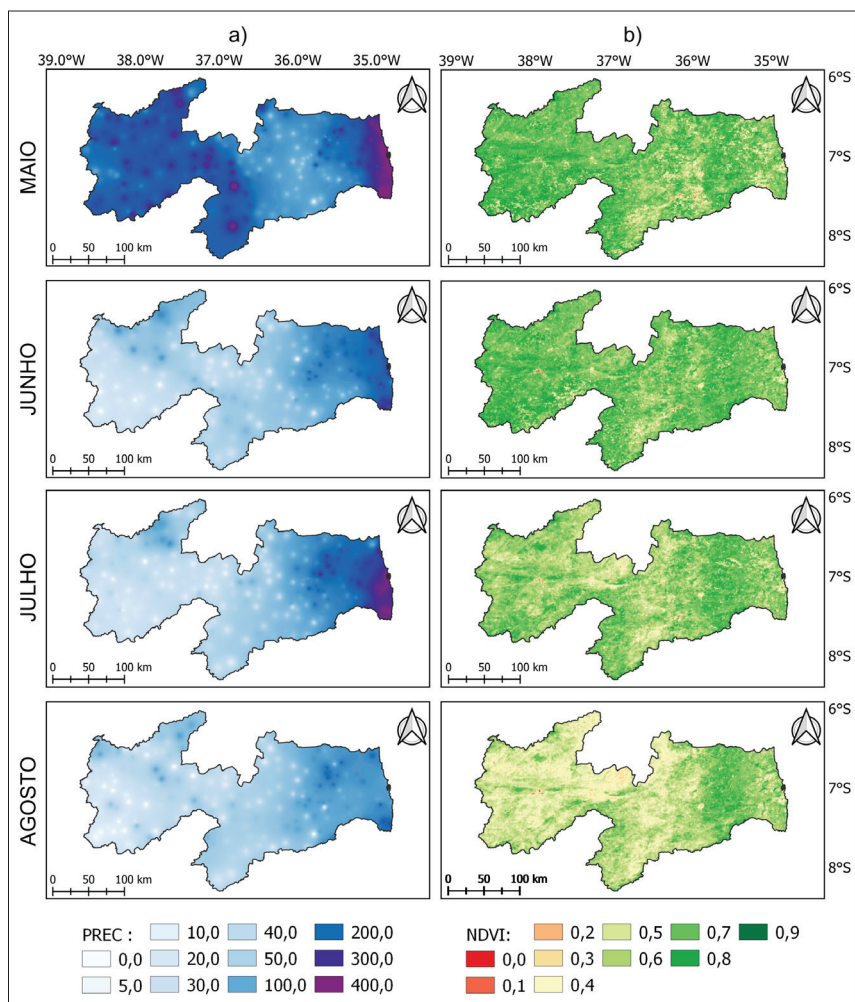


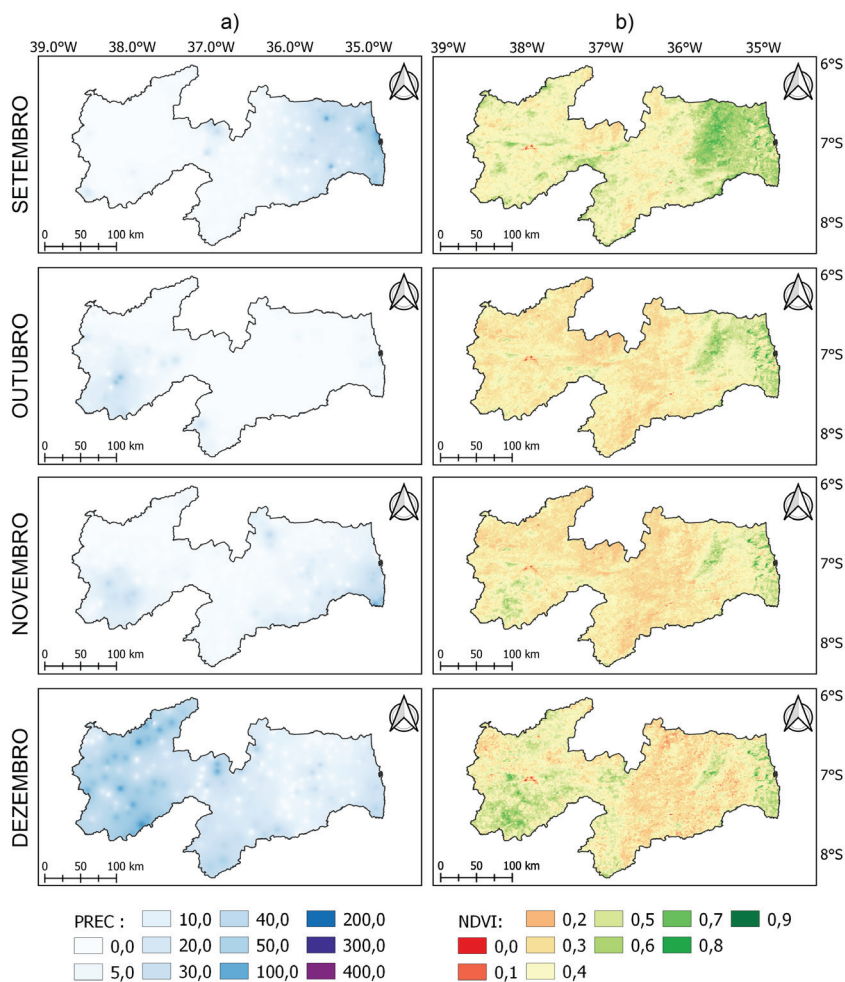
Fig. 4 - Variabilidade espaço-temporal mensal da precipitação – PRP (a) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI de janeiro a abril de 2009 (b) para o estado da Paraíba, Brasil.

Fig. 4 - Monthly spatio-temporal variability of precipitation – PRP (a) and Normalized Difference Vegetation Index – NDVI from January to April 2009 (b) for the state of Paraíba, Brazil.

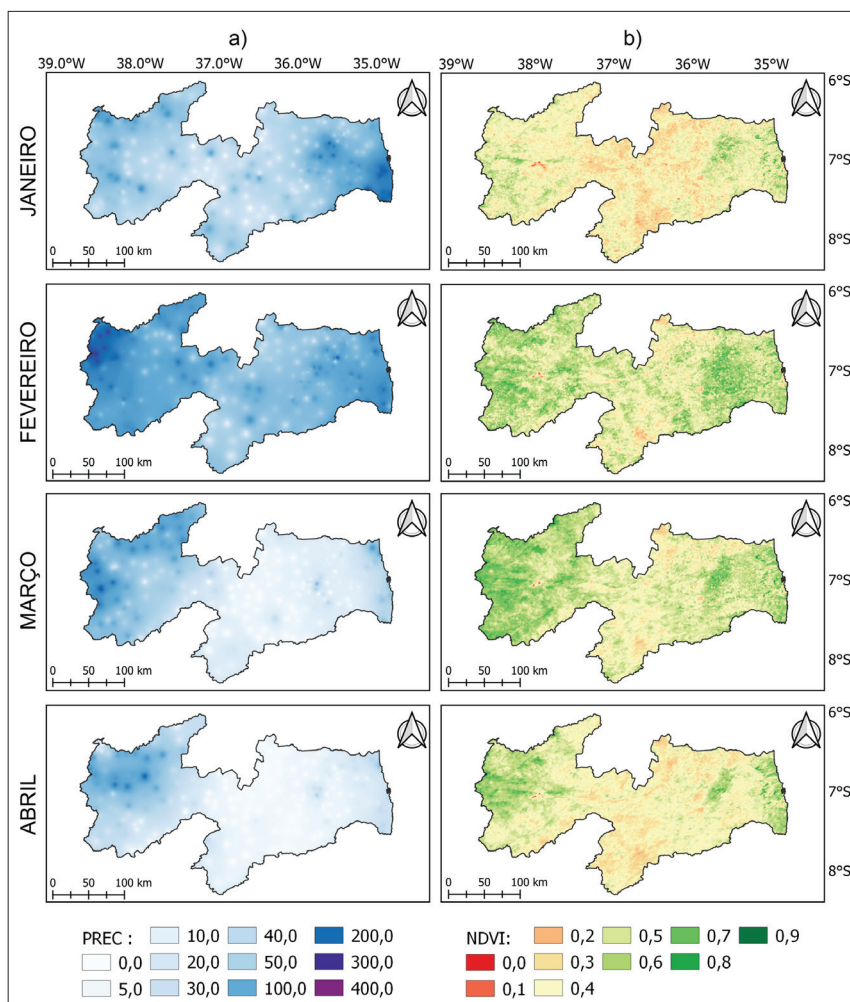
Paraíba, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,82$ para o nível de significância de $\alpha = 0,05$, explicando 82 % da variância total dos dados e tendência linear de 0,0002, ou seja, $NDVI = 0,0002PRP + 0,03604$ e coeficiente de correlação $r =$

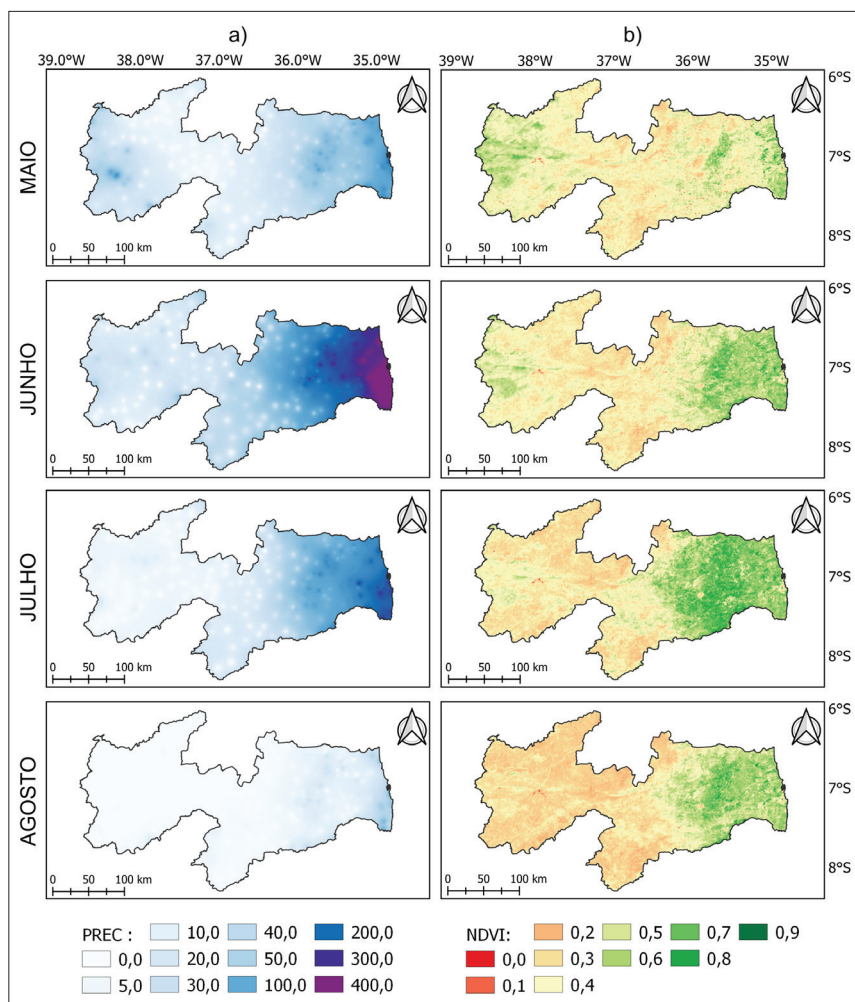


0,91. Diante dos resultados encontrados neste estudo pode-se dizer que o NDVI tem uma forte relação com as precipitações. Os valores do NDVI mais elevados ocorreram após altos acumulados de precipitação. Assim, pode ser considerado



um bom indicador de chuva. Os resultados obtidos neste estudo corroboram com diversos estudos realizados por Braga (2000), Braga *et al.* (2003), Souza *et al.* (2019) e Souza *et al.* (2022) para região Nordeste do Brasil.





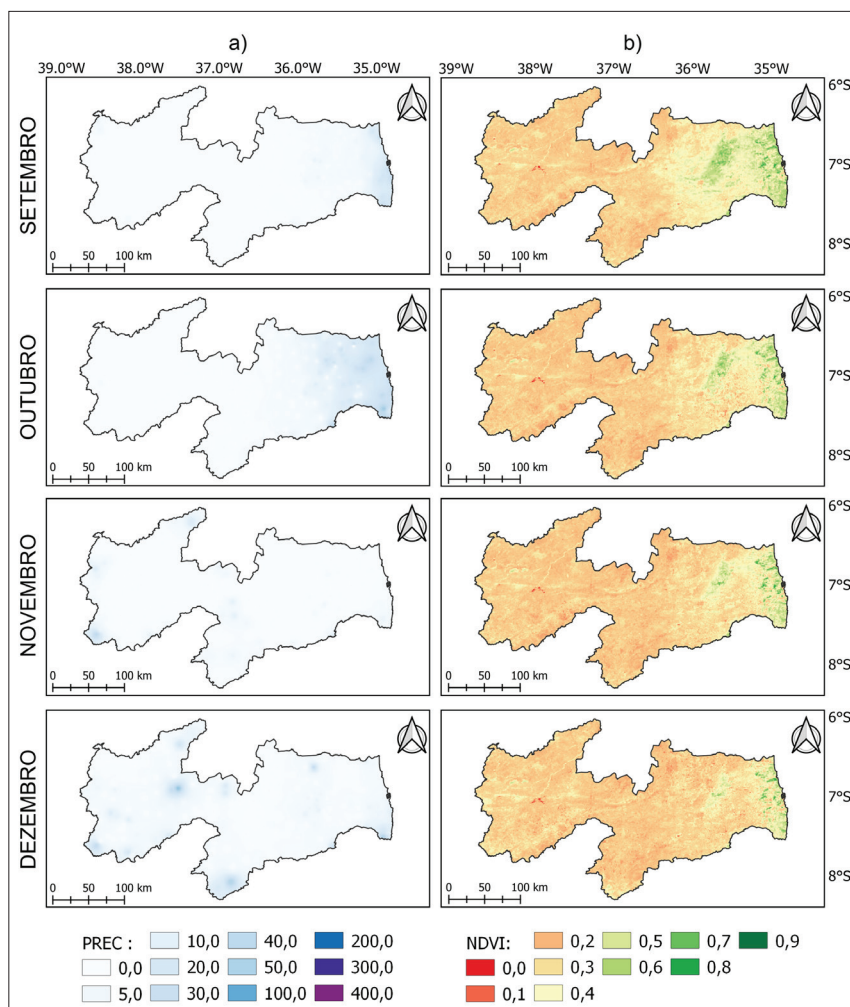


Fig. 9 - Diagrama de dispersão e curva de regressão entre a precipitação – PRP e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI no período de 2003-2018 no estado da Paraíba, Brasil.

Fig. 9 - Scatter diagram and regression curve between precipitation – PRP and Normalized Difference Vegetation Index – NDVI in the period 2003-2018 in the state of Paraíba, Brazil.

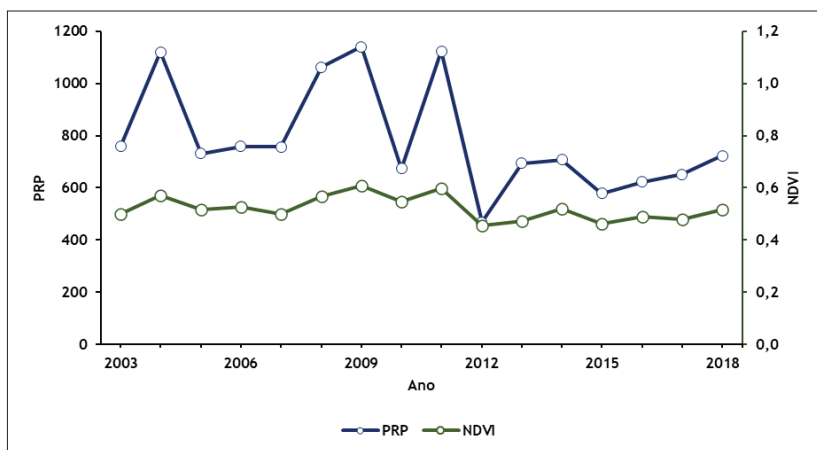


Fig. 10 - Variabilidade espaço-temporal mensal da precipitação – PRP (a) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI de janeiro a abril de 2012 (b) para o estado da Paraíba, Brasil.

Fig. 10 - Monthly spatio-temporal variability of precipitation – PRP (a) and Normalized Difference Vegetation Index – NDVI from January to April 2012 (b) for the state of Paraíba, Brazil.

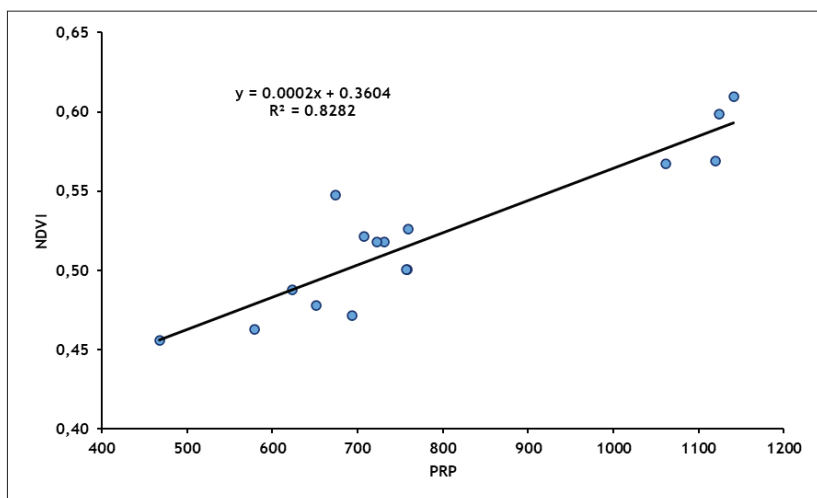


Fig. 11 - Variabilidade espaço-temporal mensal da precipitação – PRP (a) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI de maio a agosto de 2012 (b) para o estado da Paraíba, Brasil.

Fig. 11 - Monthly spatio-temporal variability of precipitation – PRP (a) and Normalized Difference Vegetation Index – NDVI from May to August 2012 (b) for the state of Paraíba, Brazil.

Conclusão

O estudo da variabilidade espacial e temporal da precipitação e NDVI, mostrou que:

- A partir dos mapas médios mensais do NDVI e precipitação pode-se identificar que na região central do estado da Paraíba, com vegetação típica do bioma Caatinga, a vegetação responde rapidamente às precipitações, enquanto que a vegetação de grande porte, por exemplo a Mata Atlântica (litoral), a resposta da vegetação às chuvas ocorrem mais lentamente e, além disso, a vegetação de grande porte tem a capacidade de retirar água das camadas mais profundas do solo. Essa adaptação regional permite que as plantas se mantenham verdes, mesmo durante os períodos de estiagem, quando a precipitação é escassa. Essas particularidades da vegetação regional é de suma importância para a sobrevivência das espécies em ambientes com disponibilidade de água superficial é irregular.
- A partir dos mapas temáticos das variáveis nos anos extremos de 2009 (seco) e 2012 (chuvoso), foi possível identificar e concretizar que a vegetação responde de maneira significativa às anomalias da precipitação e, que existe uma dependência forte entre elas, evidenciando que a variabilidade na disponibilidade de água é um fator crucial bioma Caatinga.
- A relação funcional entre os totais anuais da precipitação e a média anual do NDVI no período de 2003-2018 explicou 82 % da variância total dos dados, com correlação bastante expressiva de $r=0,91$ para um nível de significância de $\alpha= 0,05$. Mostrando que a relação entre o NDVI e a precipitação a nível regional é bastante expressiva.

Referências bibliográficas

- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA - AESA (2023). *Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba*. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.
- Braga, C. C. (2000). *Inter-relações entre padrões de índice de vegetação e de pluviometria no Nordeste do Brasil. Campina Grande (Tese de Doutorado em Recursos Naturais)*. UFPB, Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba, 124 p.

- Braga, C. C., Amanajás, J. C., Alcântara, C. R., Dantas, M. P. (2018). Evaluation of albedo different types of coverage of the Amapá savannah - Brazil with MODIS images. *Territorium* (Coimbra), v. 1, 129-134.
- Braga, C.C., Soares, F. R., Dantas, F. R. C. Barbiere, L. F. P. (2009). Determinação do Albedo índice de Área Foliar usando o sensor TM / Landsat 5. In: *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal – RN. Anais v.1. 935-942.
- Braga, C. C. Neves, G. D., Brito, J. I. B. (2003). Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.11, n.1, 149-157.
- Brito, J. I. B., Braga, C. C. (2005). Chuvas no estado da Paraíba em 2004. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos. v. 29, n.1, 27-32.
- Chen, Z., Wang, W. & Fu, J. (2020). Vegetation response to precipitation anomalies under different climatic and biogeographical conditions in China. *Nature*. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57910-1>
- Costa, W. L. B., Braga, C. C., Alcântara, C. R., Costa, A. S. (2017). Phenological Dynamics of Vegetation Using the Enhanced Vegetation Index (EVI) in Regions of Bahia State. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 7, 399-407.
- Da Silva, K. K., Braga, C. C. (2019). *Avaliação da Produtividade Primária Bruta da Caatinga do Semiárido Paraibano (Dissertação de Mestrado em Meteorologia)*. UFCG. Campina Grande-PB.
- Dantas, F. R. Da Cunha. (2008). *Estudo Comparativo de Parâmetros da Vegetação sobre Diferentes Alvos Utilizando Dados do AVHRR e TM. Campina Grande (Dissertação de Mestrado em Meteorologia)*. Universidade Federal de Campina Grande, 56 p.
- Dantas, M. P., Braga, C. C., Oliveira G. B., Sousa, L.F., Amanajás, J. C. (2013). Análise Espacial do IVDN no estado Paraíba baseado em séries de dados do sensor AVHRR/NOAA. In: *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Foz do Iguaçu. Anais CDROM, 1923-1929.
- Ferreira, A. G., Mello, N. G. S. (2005). Principais Sistemas Atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, 15-28.
- Francisco, C. N., Ruiz, P. R. S., Almeida, C. M., Gruber, N. C., Anjos, C. S., (2020). Análise do impacto da correção atmosférica no cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada a partir de Imagem Landsat 8/OLI. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 13. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p076-086>
- Freitas, R. M., Arai, E., Adami, M., Ferreira, A. S., Sato, F. Y., Shimabukuro, Y. E., Rosa, R. R., Anderson, L. O., Rudorff, B. F. T. (2011). Virtual laboratory of remote sensing time series: Visualization of MODIS EVI2 data set over South America. *Journal of Computational Interdisciplinary Sciences*, v.2, 57-68.
- Gan, M. A., Kousky, V. E. (1986). Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 1, 19-28.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Kousky, V. E. (1980). Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 108(4), 488-498.
- Kuplich, T. M., Moreira, A., & Fontana, D. C. (2013). Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 1116-1123.

- Liang, S. (2000). *Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. Remote Sensing of Environment*, 76, 213- 238.
- Latorre, M. L., Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E., & de Carvalho Júnior, O. A. (2003). Sensor MODIS: Características gerais e aplicações. *Revista Espaço e Geografia*, vol 6, 91-121.
- Madureira, A. (2019). Mixed Catastrophes: An environmental perspective. *Mixed Atmospheric Hazards*. DOI: <https://doi.org/10.14195/978-989-26-1901-9>
- Martinez, B., Gilabert, M. A. (2009). Vegetation dynamics from time series using the wavelet transform. *Remote Sensing of Environment*, v.113, 1829-1842.
- Molion, L. C. B., Bernardo, S. O. (2002). Uma revisão dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.17, 1-10.
- Parkinson, C. L. (1997). *Earth from above*. University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, 107-111.
- Projeto MapBiomas – Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <http://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.
- Reboita, M. S., Krusche, N., Ambrizzi, T., Rocha, R. P. (2012). Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. *Terra e Didática*, v. 8(1), 34-50.
- Rocha, T. A., Costa, Wanessa L. De B., Braga, C. C. (2016). Analysis comparison behavior of vegetation in the Paraíba State using remote sensing AVHRR/NOAA and precipitation pluviual. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 6, 316-328.
- Sampaio, E. V. S. B. (2003). Caracterização da Caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. In: Sales, V. C. (Org.). *Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação*. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora. 129-142.
- Sanches, M. C., Junior, J. Z., & Romani, L. A. S. (2018). Comparação do risco climático da soja, cana-de-açúcar e café arábica, para o estado de São Paulo, calculado com dados terrestres e orbitais de precipitação pluviual. *Agrometeoros*, 26(1).
- SENAR-SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (2015). Técnicas de produção vegetal. Brasília, 150 p.
- Song, L., Li, Y., Ren, Y., Wu, X., Guo, B., Tang, X., ... & Zhao, L. (2019). Divergent vegetation responses to extreme spring and summer droughts in Southwestern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279, 107703.
- Sousa, L. F., Braga, C. C. (2012). Monitoramento mensal da variabilidade da vegetação no estado da Paraíba e Pernambuco usando imagens do AVHRR/NOAA: período de 2011 / 2012. *IX Congresso de Iniciação Científica da UFCG*. Campina Grande –PB. Anais 1. Meio digital.
- Souza, B. S., Cantalice, W. L., Braga, C. C., Silva, M. T., & Silva, E. A. (2022). Response of the EVI Vegetation Index to precipitation anomalies in the State of Paraíba. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 12(1), 10-19.
- Souza, B. S., Soares, C. S., Braga, C. C. (2020). Análise do IVDN com Relação à Precipitação Pluviométrica no Estado da Paraíba. In: Madson Tavares Silva; Carlos Antonio Costa dos Santos. (Org.). 1ed.Campina Grande: EDUFCG, 2020, v. 1, 85-92.
- Souza, B. S., Soares, C. S., Monteiro, N. S., Costa, W. L. B., Braga, C. C. (2019). Monitoramento Espacial do IVDN em Três Estados do Nordeste Brasileiro Usando o Sensor MODIS/AQUA. In: *VIII Simpósio Internacional de Climatologia*. Belém, PA, Anais.
- Zhan, X., Sohlberg, R. A., Townshend, J. R. G., DiMiceli, C., Carroll, M. L., Eastman, J. C., ... & DeFries, R. S. (2002). Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 336-350.
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2 ed, 649 p.

**UNIDADES DE CONSERVAÇÃO AFETADAS
PELO DERRAMAMENTO DE ÓLEO NO LITORAL
BRASILEIRO, OCORRIDO EM 2019-2020**
**CONSERVATION UNITS AFFECTED BY THE OIL
SPILL ON THE BRAZILIAN COAST IN 2019-2020**

Alessandra Conde de Freitas

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia (Brasil)
Escola Politécnica, Programa de Engenharia Civil
ORCID: 0000-0001-7068-336X alessandracfreitas@poli.ufrj.br

Gabriel Viana da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia (Brasil)
Escola Politécnica, Programa de Engenharia Civil
ORCID: 0009-0008-6799-0316 gabrielvianads@poli.ufrj.br

Resumo: No Brasil entre 2019 e 2020 uma extensa região litorânea foi afetada por óleo oriundo de derramamento ocorrido no mar. De modo a contribuir para o entendimento do impacto desse desastre ambiental, foram elaborados mapas que indicam a posição das localidades oleadas, incluindo as situadas em Unidades de Conservação (UCs) brasileiras. Também é apresentada análise estatística a qual indica o percentual de localidades oleadas por tipo de UC. Os dados utilizados foram obtidos do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e de arquivos geoespaciais de Unidades de Conservação Marinhas e Costeiras obtidas do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC). Como principais resultados, observou-se que nos onze estados brasileiros afetados foram registradas 1.009 localidades oleadas. Dentre essas, 569 localidades situam-se em

UCs, o que representam 56,39 % do total de localidades oleadas. No desastre, 63 UCs e 8,4 % do litoral brasileiro foram afetados pelo derramamento de óleo.

Palavras-chave: Derramamento de óleo, petróleo, unidades de conservação, desastre, Brasil.

Abstract: In Brazil, between 2019 and 2020, an extensive coastal region was affected by oil from a spill that occurred at sea. In order to contribute to understanding the impact of this environmental disaster, maps were prepared, which indicate the position of oiled locations, including those located in Brazilian UCs. Statistical analysis is also presented, which indicates the percentage of oiled locations by type of UC. The data was obtained from the Brazilian Institute of the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) and from geospatial files of Marine and Coastal Conservation Units obtained from the National Registry of Conservation Units (CNUC). As main results, it was observed that in the eleven Brazilian states affected, 1.009 oiled locations were registered. Among these, 569 locations are located in UCs, which represent 56.39 % of the total number of oiled locations. In the disaster, 63 UCs and 8.4 % of the Brazilian coast were affected by the oil spill.

Keywords: Oil spill, oil, Conservation Units, disaster, Brazil.

Introdução

Cerca de dois terços da área superficial do planeta Terra é coberta por água (oceanosfera). Por ocuparem uma área tão extensa do globo terrestre, Nunes (2003) ressalta que os oceanos desempenham importantes funções geo-ambientais: (i) são fonte primária da água que chega aos continentes, sob a forma de chuva ou neve; (ii) contêm o maior reservatório de carbono; (iii) têm grande capacidade em armazenar calor, o que faz deles importantes reguladores climáticos, especialmente das regiões litorais, e, por fim, (iv) têm sido classificados como os pulmões universais, devido à grande liberação de oxigênio por parte do fitoplâncton.

A oceanosfera e a região costeira podem ser severamente afetadas por derrames de óleo na região *on shore*, *near shore* e *offshore*. Derramamentos de óleo, quando ocorrem no mar, podem ser originados por fenômeno natural em que o óleo começa a fluir pelo fundo oceânico, em função de fissuras geológicas pré-existentes; por falhas ocorridas em etapas de prospecção de petróleo ou de execução de poço; por naufrágio de embarcação contendo óleo bruto; por falhas em dutos e por acidentes, ou não, envolvendo embarcações em trânsito, dentre outras causas, conforme destacado por Freitas e Costa (2022a). De acordo com Carvalho (2008), aproximadamente 10 % da poluição global nos oceanos são oriundos de derramamento de óleo e derivados originados do transporte marítimo.

No caso do Brasil, os derramamentos de produtos perigosos (DPP) no mar representam situações perigosas, que em função (i) da extensa faixa litorânea brasileira, (ii) da elevada vulnerabilidade dos elementos envolvidos (flora, fauna, geomateriais, população, água) e (iii) da fragilidade na gestão de riscos e de desastres desse tipo, faz com que os riscos associados a DPP sejam elevados. Especialmente quando as regiões expostas ao perigo e, portanto, em risco são locais que deveriam ser protegidos e preservados, como é o caso das Unidades de Conservação (UC).

No caso de o óleo derramado atingir Unidades de Conservação (UCs), como as de Proteção Integral (PI) ou as de Uso Sustentável (US), as consequências podem ser desastrosas, com impactos que podem ser, em alguns casos, irreversíveis em curto prazo, visto que os efeitos danosos aos ambientes podem durar anos.

Objetivos e metodologia adotada

O presente capítulo objetiva apresentar, por meio dos mapas elaborados, as localidades situadas em Unidades de Conservação brasileiras (UCs) que foram afetadas por óleo decorrente de derramamento ocorrido na costa brasileira em 2019, cujos efeitos estenderam-se até 2020. Também foi realizada análise estatística a qual indica o percentual de localidades oleadas por tipo de Unidade de Conservação (UC), conforme classificação utilizada na legislação brasileira.

De modo a atingir-se os objetivos, foram analisadas 1.009 localidades oleadas obtidas do último relatório do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2020a) referente ao período de 04/03/2020 a 19/03/2020, dados estes disponibilizados pelo IBAMA e estudados por Freitas e Costa (2022a), que apresentam análise de ocorrências, mensal e por estado, de manchas, vestígios e óleo esparsos em litoral brasileiro para este episódio de derramamento de óleo.

Com o auxílio de arquivos geoespaciais de Unidades de Conservação Marinhas e Costeiras obtidas da plataforma brasileira de Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC, 2022), foi possível estabelecer análise das localidades oleadas situadas em Unidades de Conservação (UCs) brasileira.

Levantamento de dados secundários e base cartográfica

O levantamento de dados secundários corresponde ao levantamento de dados disponíveis de todas as unidades de conservação afetadas, como nome das unidades, seu tipo, seu formato e sua localização. Todas essas informações foram obtidas na plataforma de Cadastro de Unidades de Conservação Marinhos, que contém informações de todas as Unidades de Conservação cadastradas no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). A delimitação das unidades federativas utilizada no presente trabalho foi obtida no sítio eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

Organização dos dados

Toda a base de dados utilizada no capítulo foi classificada como descrito a seguir, em que cada tipo de dado foi representado de uma maneira considerada adequada às análises subsequentes: (i) Localidades Oleadas foram representadas por “Ponto”; (ii) Unidades de Conservação (UCs), por “Polígono”; e (iii) Unidades Federativas (UFs), também representadas por “Polígono”.

Análise da quantidade e tipo das localidades oleadas

Como uma localidade oleada representa 1 km de costa contaminada ou afetada por vestígios ou manchas de óleo, ou ainda por óleo esperso (ver, por exemplo. Freitas e Costa, 2022a, b), com o auxílio do *software* QGIS V3.32.2, foi aplicado o comando *Buffer* para transformar o ponto em um círculo do tipo polígono com raio de 500 m. Após, a transformação foi aplicado o comando Interseção para identificar, dentre as 1.009 localidades registradas pelo IBAMA, os pontos oleados situados dentro de regiões de conservação ambiental brasileira. A partir da tabela de atributos produzida pelo comando Interseção foi possível gerar uma nova tabela contendo todas as Unidades de Conservação (UCs) afetadas, suas Unidades Federativas (UFs) e suas respectivas categorias ou tipo de Unidade de Conservação (UC) de acordo com a legislação brasileira.

Confecção de mapas e gráficos

Com o auxílio do *software* Excel e de algoritmos de classificação em linguagem de programação Python foi possível elaborar gráfico que subsidiou a interpretação dos resultados obtidos no presente trabalho. Para a confecção de mapas foram geradas circunferências de raio de 2,5 km em cada ponto (localidade oleada), com o intuito de garantir a visibilidade dos registros na presente pesquisa.

Derramamento de óleo no litoral brasileiro: Caso ocorrido entre 2019 e 2020

No Brasil, entre 2019 e 2020, várias localidades litorâneas foram afetadas por mancha, vestígio e óleo esperso decorrente de “acidente” com navio em trânsito pela costa brasileira. O desastre, de acordo com a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz, 2022) foi considerado o maior derramamento de óleo da história do Brasil e um dos mais extensos registrados no mundo, tendo sido afetados 11 estados brasileiros, de acordo com o IBAMA.

Nesse episódio, as primeiras ocorrências oficialmente registradas de óleo no litoral foram feitas em 30 de agosto de 2019, com avistamentos de óleo nas praias Bela, Gramame, Jacumã e Tambaba, na Paraíba, estado do Nordeste do Brasil, segundo o IBAMA. E, poucos dias após, no dia 2 de setembro de 2019 os estados de Pernambuco e Sergipe já haviam sido afetados, decorrentes do mesmo derramamento de óleo, de acordo com Freitas e Costa (2022a, b, c).

Freitas e Costa (2022a) analisaram os registros reportados pelo IBAMA, referentes a 1.009 localidades oleadas no litoral brasileiro, observadas por meio de vistorias técnicas realizadas entre 30 de agosto de 2019 a 19 de março de 2020.

A partir da análise estatística realizada pelas autoras, verificou-se que o mês de novembro de 2019 apresentou a maior quantidade de registros de avistamentos de localidades oleadas (mancha, vestígio e/ou óleo esperso) no litoral brasileiro, no período analisado (532 registros). Além disso, as autoras identificaram que dentre os dezessete (17) estados brasileiros que possuem região litorânea, onze (11) tiveram localidades oleadas, dos quais nove (9) estados, pertencentes à região Nordeste do Brasil: Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio Grande do Norte (RN) e Sergipe (SE). Os outros dois (2) estados afetados localizam-se na região Sudeste: Espírito Santo (ES) e Rio de Janeiro (RJ).

Freitas e Costa (2022 a, b) reportam, também, que o estado da Bahia foi o que apresentou a maior quantidade de localidades oleadas por mancha, vestígio e óleo esperso (376 localidades), seguido de Alagoas (128), Espírito Santo (123), Sergipe (105), Rio Grande do Norte (80), Pernambuco (55), Maranhão (48), Ceará

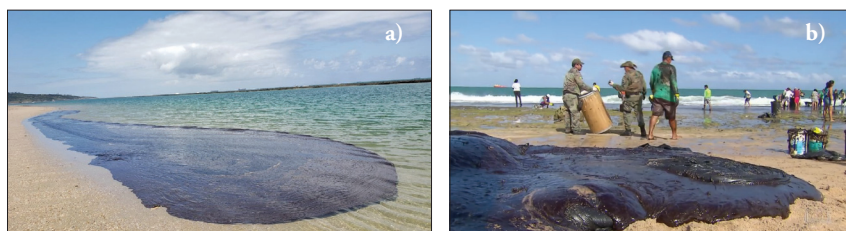
(48), Piauí (21), Paraíba (21) e Rio de Janeiro (4), totalizando as 1.009 localidades brasileiras oleadas citadas anteriormente. Vale ressaltar que o conceito de localidade utilizado no referido mapeamento do IBAMA, reportado por Freitas e Costa (2022a), se refere a uma extensão de um quilômetro ao longo da costa brasileira.

São apresentadas a seguir imagens de praias oleadas em Pernambuco, obtidas por meio de Mapa Colaborativo da Poluição por Petróleo na Zona Costeira do Brasil (Desastre 2019-2020), iniciativa de mapeamento colaborativo do Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável (IVIDES.ORG). As imagens revelam parte dos impactos na costa brasileira, especificamente nas praias do Paiva, de Suape e dos Carneiros (fotos 1 a 3).



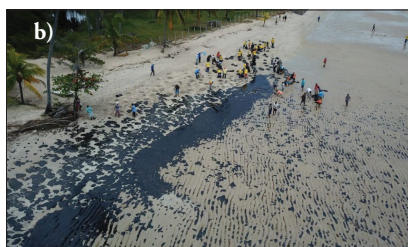
Fot. 1 – Praia do Paiva, Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil (LATLONG: -8.26009; -34.94517) - 20/10/2019 (Fonte: IVIDES.ORG, 2023).

***Photo.1** – Paiva Beach, Cabo de Santo Agostinho town, Pernambuco State, Brazil (LATLONG: -8.26009; -34.94517) - 10/20/2019 (Source: IVIDES.ORG, 2023).*



Fot. 2 – (a) Praia de Suape, Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil. (LATLONG: -8.35787; -34.95677) - 20/10/2019 e em (b) Praia de Muro Alto, Ipojuca, Pernambuco, Brasil. (LATLONG: -8.42947; -34.97817) - 9/10/2019. (Fonte: IVIDES.ORG, 2023).

***Photo 2** – Suape Beach, Cabo de Santo Agostinho town, Pernambuco State, Brazil. (LATLONG: -8.35787; -34.95677) - 10/20/2019 e em (b) Muro Alto Beach, Ipojuca, Pernambuco, Brazil. (LATLONG: -8.42947; -34.97817) - 10/9/2019 (Source: IVIDES.ORG, 2023).*



Fot. 3 – Praia dos Carneiros, Tamandaré, Pernambuco, Brasil. (LATLONG: -8.71583; -35.08511) - 19/10/2019
(Fonte: IVIDES.ORG, 2023).

Photo 3 – Carneiros Beach, Tamandaré town, Pernambuco State, Brazil. (LATLONG: -8.71583; -35.08511) - 10/19/2019
(Source: IVIDES.ORG, 2023).

Aproximadamente três meses após o desastre, em 29 de novembro de 2019, cerca de 5.000 toneladas de petróleo cru misturados à areia haviam sido recolhidas do litoral brasileiro, de acordo com o Grupo de Acompanhamento e Avaliação (GAA), formado por Marinha do Brasil, Agência Nacional de Petróleo (ANP) e IBAMA.

De acordo com *International Tanker Owners Pollution Federation* (ITOPF, 2023), o petróleo e seus derivados ao serem derramados no mar passam a sofrer uma série de alterações, conhecidas como intemperismo, que modificam a composição química do produto derramado, por meio de processos físicos, químicos e biológicos a que o óleo é submetido.

Há oito principais tipos de intemperismo do óleo: espalhamento (*spreading*), evaporação (*evaporation*), dispersão (*dispersion*), emulsificação (*emulsification*), dissolução (*dissolution*), oxidação (*oxidation*), sedimentação / afundamento (*sedimentation / sinking*), biodegradação (*biodegradation*), que começam a ocorrer assim que o produto é exposto ao ambiente. Esses processos podem ocorrer imediatamente e serem rapidamente concluídos ou então estender-se por anos.

De acordo com a Marinha brasileira, alguns desses processos podem levar à remoção do óleo da superfície do mar. Enquanto outros fazem com que o óleo persista no ambiente, o que pode justificar, por exemplo, o seu aparecimento na costa, tempos após o seu vazamento ou derrame no mar.

O óleo que contaminou o litoral brasileiro chegou à costa em processo avançado de intemperização. Como resultado, de acordo com IBAMA (2019a, 2020b), as propriedades do óleo que atingiu a costa brasileira podem ser resumidas como: (i) alta viscosidade; (ii) altas concentrações de hidrocarbonetos de cadeia média e longa; (iii) baixas concentrações de hidrocarbonetos aromáticos; (iv) densidade próxima à da água; (v) baixo potencial de biodegradação e (vi) tendência a persistir no meio ambiente.

Em função das características citadas, o óleo foi classificado pelo IBAMA (2020b), e demais órgãos competentes do Brasil, como de Grupo 4 - “Óleos Pesados”, apresentando os seguintes comportamentos predominantes: (i) baixos níveis de evaporação do óleo flutuando no mar ou depositado na costa e, consequentemente, baixas concentrações de hidrocarbonetos no ar nas proximidades do óleo; (ii) o óleo é persistente, ou seja, é provável que permaneça no ambiente por um longo período se não for coletado; (iii) o óleo tem uma densidade próxima à da água do mar e, portanto, pode afundar ao encontrar água salobra ou ao se misturar com material sedimentar ou resíduos; (iv) os baixos níveis de compostos aromáticos no óleo estão relacionados a uma baixa toxicidade potencial para organismos marinhos; e (v) a alta viscosidade e densidade implicam em recobrimento e potencial sufocação física de organismos marinhos na costa se entrarem em contato direto com o material.

A persistência do óleo no ambiente foi observada por Soares *et al.* (2022). Os autores reportam que dois anos após o derramamento de óleo ocorrido em 2019, no litoral do Brasil, os resíduos continuavam impregnados nas rochas de várias praias do Nordeste brasileiro, conforme (fot. 4), que apresenta registros de quatro recifes de arenito na costa do Ceará, fotografados entre julho e novembro de 2021. É possível observar que o resíduo de petróleo (indicado pelas setas vermelhas), de fato, ainda permanecem impregnados nas rochas, mesmo após dois anos do derrame de petróleo ocorrido em 2019.



(a) Praia de Jericoacoara

(b).Praia de Caetanós

(c) Praia de Iguape

(d) Praia de Canoa Quebrada

Fot. 4 – Recifes de arenito na costa do Ceará (Nordeste do Brasil): o resíduo de petróleo (indicado por setas) permanece impregnado nas rochas (Fonte: Soares *et al.*, 2022).

Photo 4 - Sandstone reefs at Ceará State coast (Northeastern Brazil): the oil residue (indicated by arrow) remains impregnated on the rocks (Source: Soares *et al.*, 2022).

Maiores informações sobre riscos e desastres relacionados a derramamento de óleo podem ser obtidas, por exemplo, nas seguintes publicações: da Silva *et al.* (1997); Freitas *et al.* (2000); Michell (2000); Guadalupe *et al.* (2002); Romero *et al.* (2011); Landquist *et al.* (2013); Ruoppolo *et al.* (2017); Escobar (2019); Carmo e Teixeira (2020); da Silva *et al.* (2020); Disner e Torres (2020); de Oliveira Soares *et al.* (2020); de Oliveira *et al.* (2020); Pena *et al.* (2020); Lourenço *et al.* (2020); Araújo *et al.* (2021); Freitas (2021); Lessa *et al.* (2021); Marinho *et al.* (2021); Magalhães *et al.* (2021); Silva (2021); Vieira (2021); Wang *et al.* (2021); Zacharias *et al.* (2021 a ,b); Andrade e Coutinho (2022); Baptista (2022); Bitencourt e Soares (2022); do Nascimento *et al.* (2022); Fernandes *et al.* (2022); Freitas e Costa (2022 a,b,c); Hoff *et al.* (2022); Nobre *et al.* (2022); Soares *et al.* (2022); Petrobras (2022) e Lourenço *et al.* (2023).

Planos de Contingência e de Emergência no Brasil

No Brasil, a Lei Federal nº 9.966 de 2000 (BRASIL, 2000a) aborda planos relacionados a incidentes de poluição por óleo nas águas, bem como sobre a obrigatoriedade de dispor dos meios adequados para o combate à poluição.

De acordo com a Lei Federal nº 9.966 de 2000: Plano de Contingência é o conjunto de procedimentos e ações que visam à integração dos diversos planos de emergência setoriais, bem como a definição dos recursos humanos, materiais e equipamentos complementares para a prevenção, controle e combate da poluição das águas; Já Plano de Emergência Individual (PEI) é o conjunto de medidas que determinam e estabelecem as responsabilidades setoriais e as ações a serem desencadeadas imediatamente após um incidente, bem como definem os recursos humanos, materiais e equipamentos adequados à prevenção, controle e combate à poluição das águas.

Em relação aos sistemas de prevenção, controle e combate da poluição a Lei Federal nº 9.966 de 2000 (BRASIL, 2000a) determina que os portos organizados, instalações portuárias e plataformas, bem como suas instalações de apoio, devem dispor de Planos de Emergência Individuais (PEIs) para o combate à poluição por óleo e substâncias nocivas ou perigosas. Também aborda os Planos de Contingência Locais/de área (PA) ou Regionais (PR) e o Plano Nacional de Contingência (PNC) (TABELA I).

Ressalta-se que os planos de contingência são também abordados na Lei Federal nº 12.608 instituída em 2012 e detalhes sobre as características e o processo de elaboração desses, focando o cenário brasileiro, podem ser obtidos em Baptista (2022), Freitas, Aires e Barbosa (2022) e Freitas (2022). Na TABELA II são elencadas as principais leis e decretos relacionados a incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional brasileira, além da Resolução CONAMA (TABELA II).

Para o caso estudado no presente capítulo, IBAMA (2020c) reporta que a desmobilização do PNC ocorreu em 20 de março de 2020, tendo-sido registradas 1.009 localidades afetadas, em 130 municípios e 11 estados.

Embora a legislação brasileira contemple os planos supracitados, de fato há questionamentos quanto à rápida operacionalização e eficácia destes por ocasião do desastre abordado no presente trabalho. Isto se deve (i) à abrangência espacial dos efeitos danosos (escala espacial), já que o derramamento de óleo na costa brasileira entre 2019 e 2020 afetou 11 dos 17 estados costeiros, o que poderia ser minimizado por meio de ações mais rápidas e eficazes. E, também, (ii) ao intervalo de tempo (escala temporal) entre o primeiro avistamento de óleo (30 de setembro de 2019)

TABELA I - Características dos planos para emergências de acordo com a Lei nº 9.966 (2000).

TABLE I - Characteristics of emergency plans according to Law no. 9,966 (2000).

Tipo de Plano	Observações	Instituições envolvidas
Planos de emergência individuais (PEIs)	Portos organizados, instalações portuárias e plataformas, bem como suas instalações de apoio, devem dispor de planos de emergência individuais para o combate à poluição por óleo e substâncias nocivas ou perigosas	PEIs devem ser submetidos à aprovação do órgão ambiental competente
Planos de contingência locais/de área ou regionais (PA) e (PR)	Os planos de emergência devem ser consolidados pelo órgão ambiental competente , na forma de planos de contingência locais ou regionais .	Consolidação efetuada pelo órgão ambiental deve ser feita em articulação com os órgãos de defesa civil .
Plano de Contingência Nacional (PLANCON *)	Planos de contingência locais e regionais devem ser consolidados na forma do Plano Nacional de Contingência . Estabelecem o nível de coordenação e as atribuições dos diversos órgãos e instituições públicas e privadas neles envolvidas.	Consolidação dos planos deve ser feita pelo órgão federal de meio ambiente , em consonância com o disposto na OPRC/90, em articulação com os órgãos de defesa civil .
(*) Também é possível usar as siglas PCN ou PNC para se referir a Plano Nacional de Contingência		

e o último registro (19 de março de 2020), com quantidade máxima de registros em novembro de 2019 (532 registros). Adicionalmente, é importante ressaltar que anos após a ocorrência desse derramamento, ainda eram encontrados vestígios de óleo na costa brasileira decorrentes desse desastre, conforme imagens apresentadas anteriormente (fot. 4), de Soares *et al.* (2022).

O IBAMA e o TCU (2019) destacam, também, que a Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo (OPRC/90), assinada em Londres, em 30 de novembro de 1990, determina que cada parte deve estabelecer sistema nacional para responder pronta e efetivamente a incidentes de poluição por óleo. Esse sistema deve contemplar, entre outros, um PNC (TABELA I) para preparo e resposta que inclua a relação institucional entre os diversos órgãos envolvidos, tanto públicos, quanto privados, e que leve em consideração as diretrizes elaboradas pela Organização Marítima Internacional (IMO).

TABELA II - Legislação brasileira.

TABLE II - *Brazilian Legislation.*

Lei, Decreto e Resolução	Descrição e observações
Decreto Federal Nº 83.540, de 4 de junho de 1979	Regulamenta a aplicação da Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos Causados por Poluição por Óleo , de 1969, e dá outras providências.
LEI Nº 9.966, de 28 de abril de 2000 (Lei do óleo)	Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Obs.: essa lei prevê articulações entre o órgão ambiental, a autoridade marítima e o órgão regulador da indústria do petróleo para resposta a eventual acidente de grandes proporções sob a coordenação de um PNC.
DECRETO Nº 4.136, de 20 de fevereiro de 2002	Dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às infrações às regras de prevenção, controle e fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional , prevista na Lei no 9.966, de 28 de abril de 2000, e dá outras providências.
DECRETO Nº 4.871, de 6 de novembro de 2003	Dispõe sobre a instituição dos Planos de Áreas para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.
RESOLUÇÃO CONAMA 398, de 11 de junho de 2008	Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração.
LEI Nº 12.608, de 10 de abril de 2012	Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC ; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências.
DECRETO Nº 8.127, de 22 de outubro de 2013	Institui o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional , altera o Decreto nº 4.871, de 6 de novembro de 2003, e o Decreto nº 4.136, de 20 de fevereiro de 2002, e dá outras providências. Obs.: também determina a elaboração do Manual do PNC
DECRETO Nº 10.950, de 27 de janeiro de 2022	Dispõe sobre o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional .

Relação entre o derramamento de óleo no mar e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Há, de fato, um desalinhamento entre o caso de derramamento de óleo ocorrido no Brasil (2019-2020) e a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), conforme abordado por Gonçalves (2021), Freitas e Costa (2022c) e Camargos (2023). de modo que o episódio se relaciona negativamente, por exemplo, com os seguintes Objetivos e Metas do Desenvolvimento Sustentável (ODS), de acordo com ONU Brasil (2023):

Objetivo 6: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos.

Esse ODS contempla a necessidade de (i) melhoria da qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente (meta 6.3); e de (ii) proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos, e tomar medidas para a sua restauração, a fim de assegurar oceanos saudáveis e produtivos (meta 6.6).⁴

Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.

Esse ODS contempla a necessidade de (i) fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo (meta 11.4); (ii) reduzir o número de mortes e o número de pessoas afetadas por catástrofes e diminuir as perdas econômicas diretas causadas por elas em relação ao produto interno bruto global, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade (meta 11.5); (iii) reduzir o impacto ambiental negativo *per capita* das cidades (meta 11.6); e (iv) aumentar o número de cidades e assentamentos humanos adotando e implementando políticas e planos integrados para a inclusão, a eficiência dos recursos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas, a resiliência a desastres; e desenvolver e

implementar, de acordo com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, o gerenciamento holístico do risco de desastres em todos os níveis (meta 11.b).

Objetivo 14: Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

Esse ODS contempla a necessidade de (i) prevenção e redução da poluição marinha de todos os tipos (meta 14.1); (ii) gerir de forma sustentável e proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos, inclusive por meio do reforço da sua capacidade de resiliência, e tomar medidas para a sua restauração, a fim de assegurar oceanos saudáveis e produtivos (meta 14.2); (iii) minimizar e enfrentar os impactos da acidificação dos oceanos (meta 14.3); e (iv) assegurar a conservação e o uso sustentável dos oceanos e seus recursos (meta 14.c).

Categorias de Unidades de Conservação (UCs) no Brasil

Ao estudarem aspectos que devem ser observados para a caracterização do tipo de perigo e do grau de risco hidrológico, Freitas, Freitas e Lima (2023) ressaltam a importância da proteção das Unidades de Conservação (UCs), assim como das ações preventivas de modo que estas áreas não sejam impactadas por eventos capazes de causar danos e prejuízos, em alinhamento à Agenda 2030 da ONU, conforme ODS e metas citadas no item anterior.

No Brasil, o CNUC é mantido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) com a colaboração dos órgãos gestores federal, estaduais, distrital e municipais e objetiva disponibilizar um banco de dados com informações oficiais do SNUC (PUCB, 2024), como as características físicas, gerenciais e os dados georreferenciados das Unidades de Conservação (UCs).

O SNUC objetiva: (i) contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais; (ii) proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional; (iii) contribuir

para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais; (iv) promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais; (v) promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento; (vi) proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica; (vii) proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural; (viii) proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos; (ix) recuperar ou restaurar ecossistemas degradados; (x) proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental; (xi) valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica; (xii) favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico; e (xiii) proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente (BRASIL, 2000b).

As categorias de UCs previstas no SNUC estão associadas com aquelas adotadas pela União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, do inglês International Union for Conservation of Nature), conforme indicado nas TABELAS III e IV, permitindo ao sistema brasileiro uma correlação aos padrões e às normas internacionais.

As UCs integrantes do SNUC dividem-se em dois grupos que englobam as doze categorias de manejo, conforme seus graus de proteção e as possibilidades de uso dos recursos naturais ou interferências neles.

O Grupo de Proteção Integral (PI) tem como objetivo geral a preservação da natureza *stricto sensu*. Nesse grupo, regras e normas são restritivas, sendo permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais, ou seja, aquele que não envolve consumo, coleta ou danos a tais recursos. As atividades permitidas nas UCs desse grupo são: ações de proteção e gerenciamento, pesquisa científica e educação e interpretação ambiental. Em algumas categorias, também são permitidas atividades voltadas à visitação, à recreação em contato com a natureza e ao turismo ecológico.

Já o Grupo de Uso Sustentável (US) tem como objetivo geral compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais resguardados em suas UCs. Nesse grupo, as atividades que envolvem coleta e uso dos recursos

naturais são permitidas, desde que praticadas de forma a garantir a perenidade dos recursos naturais renováveis e dos processos ecológicos, conforme definido no plano de manejo específico de cada UC.

As tabelas a seguir apresentam as categorias de UCs pertencentes aos Grupos de PI (TABELA III) e de US (TABELA IV), previstas no SNUC, assim como sua relação com as categorias da IUCN. Também são apresentados os objetivos e as características de cada categoria.

Resultados observados: Caso de derramamento de óleo no mar – Brasil (2019 a 2020)

As várias localidades litorâneas brasileiras que, entre 30 de agosto de 2019 e 19 de março de 2020, foram afetadas por mancha, vestígio e óleo esparsos decorrentes de “acidente” com navio em trânsito pela costa brasileira, são apresentadas nas figuras e tabelas seguintes em que os onze (11) estados brasileiros atingidos, de acordo com dados do IBAMA e do CNUC, são também contemplados.

De seguida foram indicados os tipos de UCs afetados por óleo decorrente do derramamento ocorrido em 2019-2020 (TABELA V). Observa-se que quase todos os tipos de Unidades de Proteção Integral (PIs) foram atingidos, sendo que oito (8) Parques foram afetados. Em relação às Unidades de Uso Sustentável (USs) destacam-se que 35 Áreas de Proteção Ambiental (APAs) foram impactadas por óleo. Os registros obtidos totalizam 63 UCs atingidas: 14 de PI e 49 de US.

Na fig. 1 e TABELA VI são indicados os resultados da análise por estado brasileiro, em que se verificou que, dentre os onze estados afetados, a Bahia (BA) teve a maior quantidade de APAs e de Reservas Extrativistas (RESEX) afetadas por óleo, dois dos tipos de unidades de US adotados no Brasil. Já o estado do Espírito Santo (ES), sudeste do Brasil, e o de Sergipe (SE), na região Nordeste, dentre os onze estados afetados foram os únicos que tiveram óleo atingindo área de Reserva Biológica (REBIO), um dos tipos de unidades de PI do Brasil.

Por meio de mapas temáticos estão apresentados os registros de localidades oleadas nos estados do Maranhão (MA), Piauí (PI) e Ceará (CE) (fig. 2). Ainda

TABELA III - Características das Unidades de Proteção Integral no Brasil de acordo com a Lei nº 9.985 (BRASIL, 2000b).

TABLE III - *Characteristics of integral Protection Units in Brazil according to Law no. 9.985 (BRASIL, 2000b).*

Unidade de Proteção Integral (PI)		Características da categoria		
		Objetivos	Posse e domínio	Visitação
(a) Estação Ecológica (ESEC)	IUCN categoria Ia Reserva natural estrita	Preservação da natureza e realização de pesquisas científicas.		Proibida, exceto aquela com objetivo educacional, de acordo com o que dispuser o plano de manejo da unidade ou regulamento específico.
	(b) Reserva Biológica (REBIO)	Preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais.	Público	Proibida, exceto aquela com objetivo educacional, de acordo com o que dispuser o plano de manejo ou com regulamento específico.
(c) Parque Nacional (PN); Parque Estadual (PE); Parque Natural Municipal (PNM); Parque Distrital (PD)	IUCN categoria II Parque nacional	Preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas, o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.		Depende de autorização prévia do órgão responsável pela administração da unidade e está sujeita às condições e às restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento
(d) Refúgio de Vida Silvestre (REVIS)	IUCN categoria III Monumento natural	Proteção de ambientes naturais para a existência ou a reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória.	Público e privado, desde que seja possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários.	Permitida, mas sujeita às condições e às restrições estabelecidas no plano de manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração e àquelas previstas em regulamento.
(e) Monumento Natural (MONA)	IUCN categoria III Monumento natural	Preservação de sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica.		Permitida e incentivada, sujeitando-se à prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade.

TABELA IV - Características das Unidades de Uso Sustentável no Brasil de acordo com a Lei nº 9.985 (BRASIL, 2000b).

TABLE IV - Characteristics of Integral Protection Units in Brazil according to Law no. 9,985 (BRASIL, 2000b).

Unidade de Uso Sustentável (US)		Especificidades da categoria			Pesquisa científica
		Objetivos	Posse e domínio	Visitação	
(a) Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE)	IUCN categoria IV Área de manejo de espécies ou de habitat	Manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível das áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza.	Público e privado.	-	Depende de autorização prévia e está sujeita à fiscalização do órgão responsável pela administração da unidade.
(b) Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN)	IUCN categoria IV Área de manejo de espécies ou de habitat	Conservar a diversidade biológica.	Privado.	Permitida com objetivos turísticos, recreativos e educacionais, conforme regulamentação.	Permitida, conforme regulamentação.
(c) Área de Proteção Ambiental (APA)	IUCN categoria V Paisagem terrestre ou marinha protegida	Proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.	Público e privado.	Respeitados os limites constitucionais, nas áreas sob propriedade privada, cabe ao proprietário estabelecer as condições para visita pelo público, observadas as exigências e as restrições legais. Nas áreas sob domínio público, o estabelecimento dessas condições cabe ao OG da unidade.	Nas áreas sob propriedade privada, cabe ao proprietário estabelecer as condições para a pesquisa, observadas as exigências e as restrições legais. Nas áreas sob domínio público, o estabelecimento dessas condições cabe ao OG da unidade.
(d) Floresta Nacional (FN) Floresta Estadual (FE) Floresta Municipal (FM)	IUCN categoria VI Área protegida com o uso sustentável de recursos naturais	Uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e pesquisa científica, com ênfase em métodos para a exploração sustentável de florestas nativas.	Público, sendo admitida a permanência de populações tradicionais que a habitam quando de sua criação, em conformidade com o disposto em regulamentação e no plano de manejo da unidade.	Permitida, mas condicionada às normas estabelecidas para o manejo da unidade pelo órgão responsável por sua administração.	Permitida e incentivada, sujeitando-se à prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade e às condições e às restrições por este estabelecidas, bem como àquelas previstas em regulamento.
(e) Reserva Extrativista (RESEX)	IUCN categoria VI Área protegida com o uso sustentável de recursos naturais	Proteger os meios de vida e a cultura das populações e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade.	Público, com uso concedido às populações extrativistas tradicionais, conforme disposição e regulamentação específica.	Permitida, desde que compatível com os interesses locais e de acordo com o plano de manejo da unidade e as regulamentações específicas.	Permitida e incentivada, desde que seja voltada à conservação da natureza, à melhor relação das populações residentes com seu meio e à educação ambiental, sujeitando-se à prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade, às condições e às restrições por este estabelecidas e às normas previstas em regulamento.
(f) Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS)	IUCN categoria VI Área protegida com o uso sustentável de recursos naturais	Preservar a natureza e, ao mesmo tempo, assegurar as condições e os meios necessários para a reprodução e a melhoria dos modos, da qualidade de vida e da exploração sustentável dos recursos naturais pelas populações tradicionais, bem como valorizar, conservar e aperfeiçoar o conhecimento e as técnicas de manejo do ambiente desenvolvidas por essas populações.	Público, sendo que o uso das áreas ocupadas pelas populações tradicionais é regulado conforme disposição e regulamentação específicas.	Permitida, desde que compatível com os interesses locais e de acordo com o plano de manejo da unidade, bem como com as normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração.	Permitida e incentivada, sujeitando-se à prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade.
(g) Reserva de Fauna (REFAU)	IUCN categoria VI Área protegida com o uso sustentável de recursos naturais	Estudos técnico-científicos sobre o manejo econômico sustentável de recursos faunísticos.	Público.		

TABELA V - Características das Unidades de Conservação (UCs) afetadas.

TABLE V - Characteristics of the affected Conservation Units.

Unidades de Proteção Integral (PIs) atingidas por óleo – Total de 14 UCs do tipo PI	
(a) Estação Ecológica (ESEC)	-
(b) Reserva Biológica (REBIO)	2
(c) Parque Nacional (PN); Parque Estadual (PE); Parque Natural Municipal (PNM); Parque Distrital (PD)	8
(d) Refúgio de Vida Silvestre (REVIS)	2
(e) Monumento Natural (MONA)	2
Unidades de Uso Sustentável (USs) atingidas por óleo – Total de 49 UCs do tipo US	
(a) Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE)	4
(b) Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN)	2
(c) Área de Proteção Ambiental (APA)	35
(d) Floresta Nacional (FN) Floresta Estadual (FE) Floresta Municipal (FM)	-
(e) Reserva Extrativista (RESEX)	8
(f) Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS)	-
(g) Reserva de Fauna (REFAU)	-

na região Nordeste do Brasil, localidades oleadas nos estados do Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB) (fig. 3). Constam ainda os registros observados em Pernambuco (PE) e Alagoas (AL) (fig. 4) e dados de Sergipe (SE) e Bahia (BA) são contemplados (fig. 5). Por fim, os casos verificados no Espírito Santo (ES) e no Rio de Janeiro (RJ), estados da região Sudeste do Brasil são ilustrados na (fig. 6). No canto superior direito de cada uma das imagens elaboradas (fig. 2 a 6), há um mapa do Brasil com a identificação da localização de cada estado analisado.

Em relação aos registros totais de locais oleados (em UCs ou não), similarmente ao indicado por dados reportados por Freitas e Costa (2022 a, b, c), também, foi observado que o estado da Bahia foi o que apresentou a maior quantidade de localidades oleadas por mancha, vestígio e óleo esperso (376 localidades), seguido de Alagoas (128), Espírito Santo (123), Sergipe (105) e Rio Grande do Norte (80).

Observou-se que Pernambuco (55), Maranhão (48) e Ceará (48) registraram quantidades bastante similares de locais oleados. Já Piauí (21) e Paraíba (21) tiveram a mesma quantidade de locais litorâneos oleados.

Dentre todos os onze estados afetados, Rio de Janeiro (4) foi o que apresentou a menor quantidade de locais oleados.

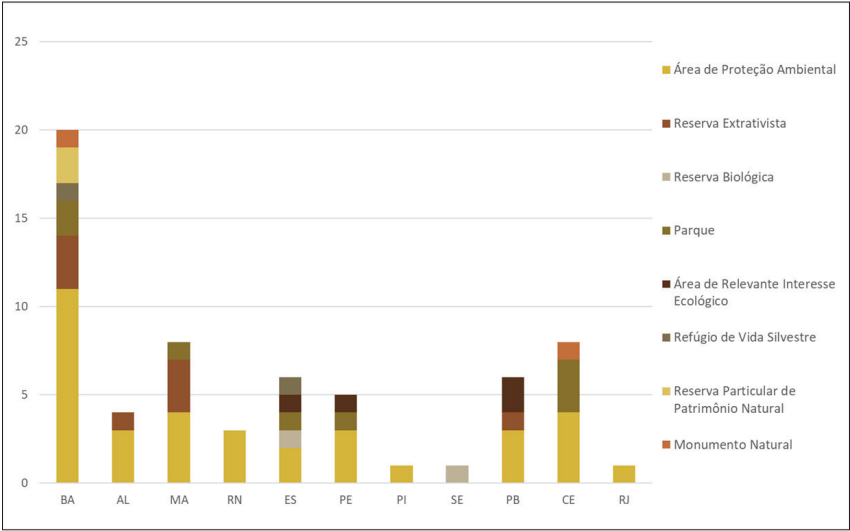


Fig. 1 - Unidades de conservação oleadas, por Estado, no Brasil.
Fig. 1 - Conservation units oiled, by State in Brazil.

TABELA VI - Características das Unidades de Conservação afetadas por Estado.
TABLE VI - Characteristics of the Conservation Units-affected by Brazilian State.

Estado	Área de Proteção Ambiental (APA)	Reserva Extrativista (RESEX)	Reserva Biológica (REBIO)	Parques: Nacional (PN); Estadual (PE); Natural Municipal (PNM); Distrital (PD)	Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE)	Refúgio de Vida Silvestre (REVIS)	Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN)	Monumento Natural (MONA)
BA	11	3		2		1	2	1
AL	3	1						
MA	4	3		1				
RN	3							
ES	2		1	1	1	1		
PE	3			1	1			
PI	1							
SE			1					
PB	3	1			2			
CE	4			3				1
RJ	1							
Total	35	8	2	8	4	2	2	2

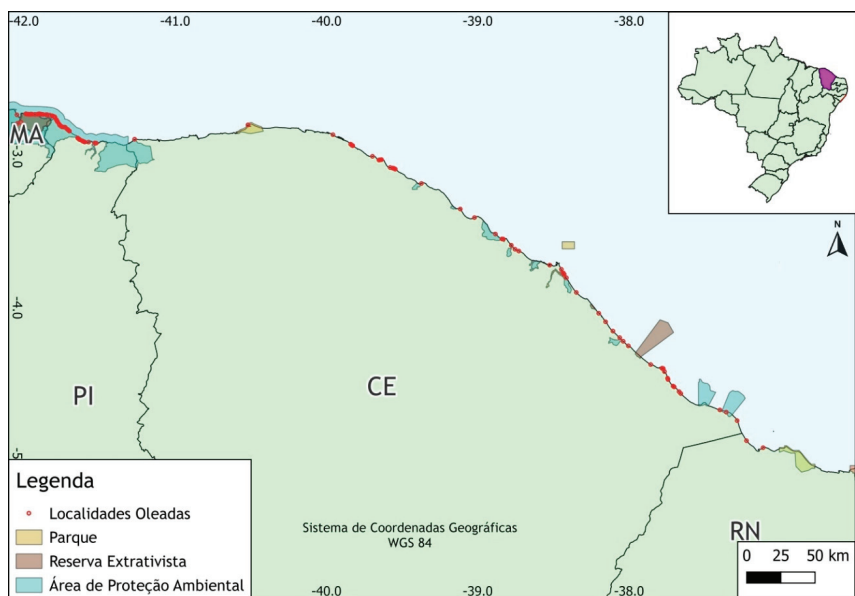
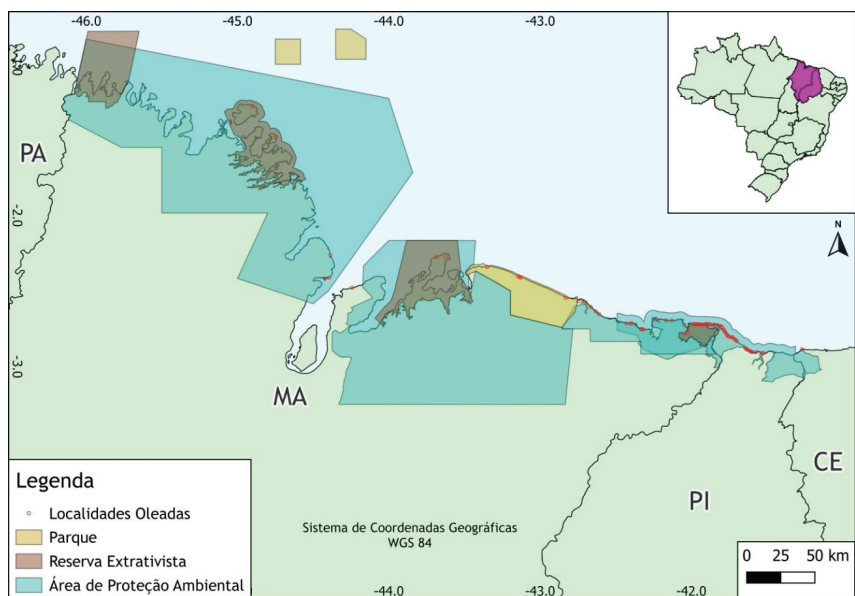


Fig. 2 – Localidades oleadas no Maranhão (MA), Piauí (PI) e Ceará (CE), Brasil.

Fig. 2 - Oiled locations in the Brazilian States of Maranhão (MA), Piauí (PI) and Ceará (CE).

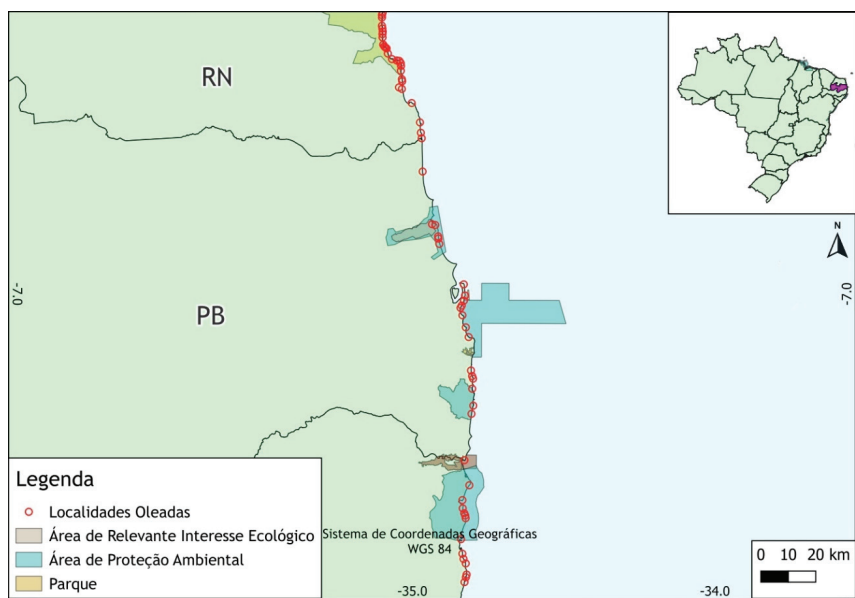
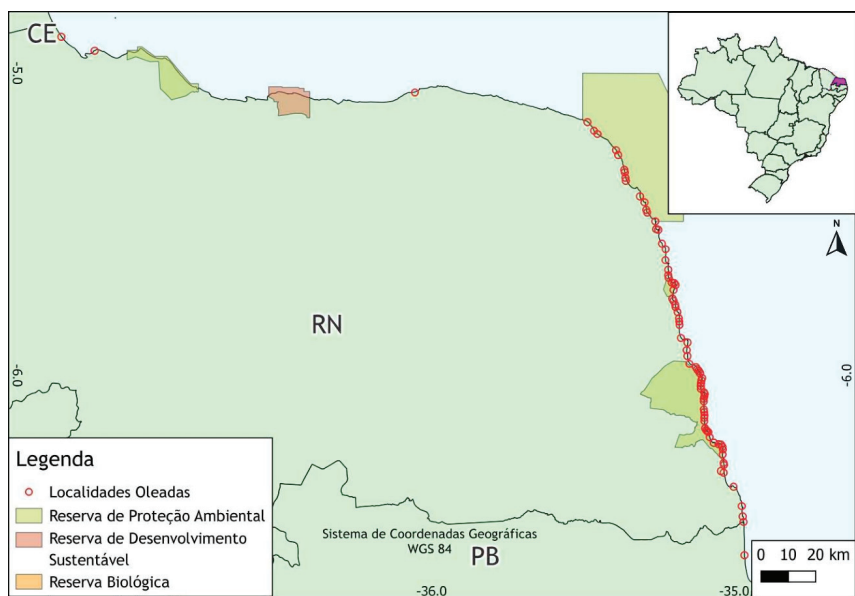


Fig. 3 – Localidades oleadas no Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB), Brasil.
Fig. 3 - Oiled locations in the Brazilian States of Rio Grande do Norte (RN) and Paraíba (PB).

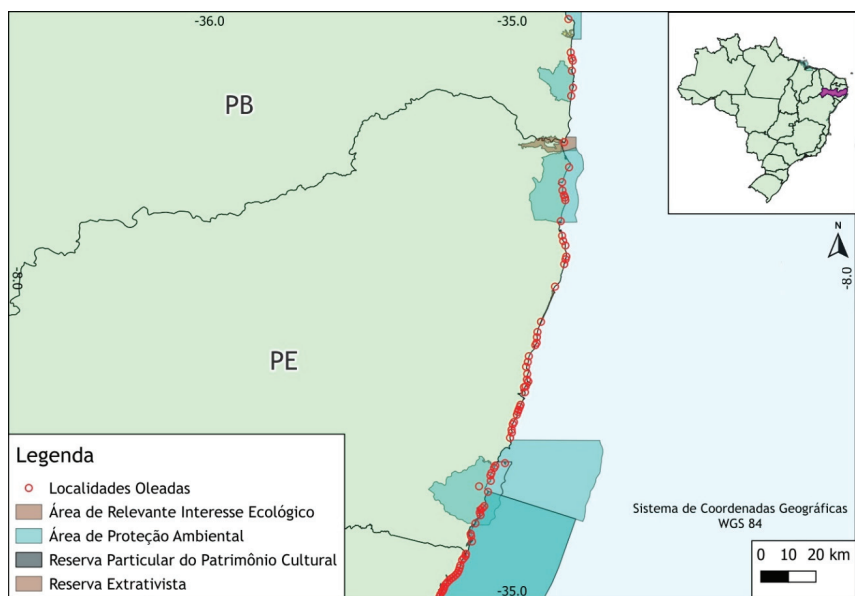


Fig. 4 – Localidades oleadas em Pernambuco (PE) e em Alagoas (AL), Brasil.
Fig. 4 - Oiled locations in the Brazilian States of Pernambuco (PE) and Alagoas (AL).

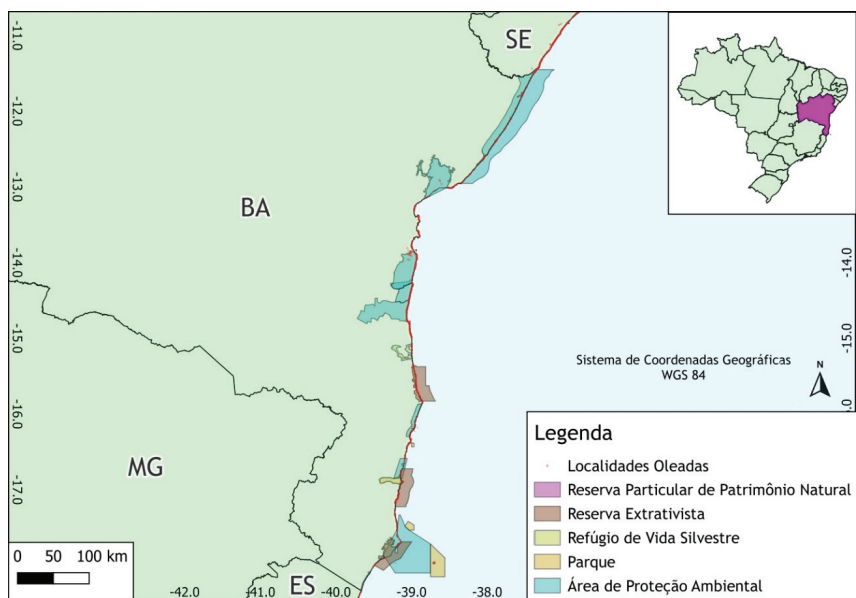


Fig. 5 – Localidades oleadas em Sergipe (SE) e na Bahia (BA), Brasil.
Fig. 5 - Oiled locations in the Brazilian States of Sergipe (SE) and Bahia (BA).

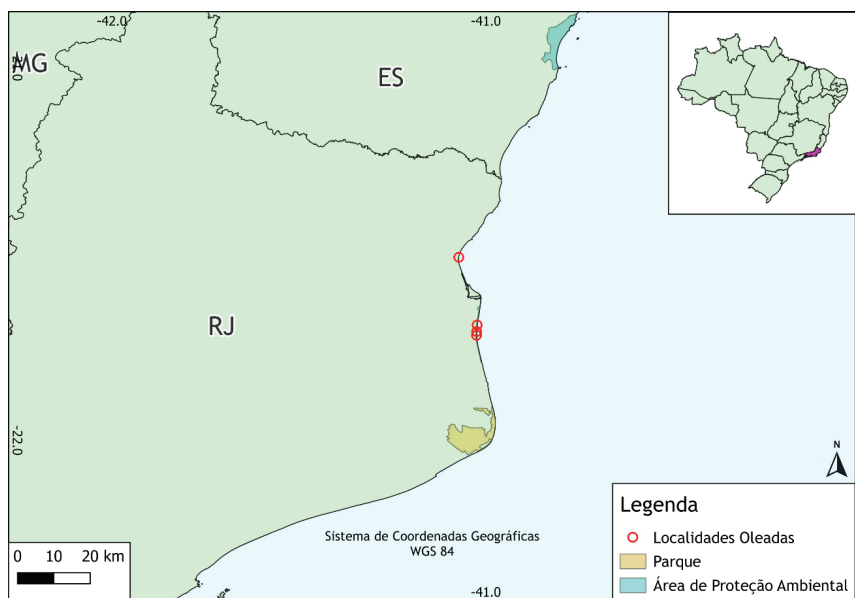


Fig. 6 – Localidades oleadas em Espírito Santo (ES) e no Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Fig. 6 - Oiled locations in the Brazilian States of Espírito Santo (ES) and Rio de Janeiro (RJ).

Um resumo dos resultados obtidos é apresentado a seguir (TABELA VII).

TABELA VII – Unidades de Conservação afetadas por Estado do Brasil.

TABLE VII – Conservation Units affected by State in Brazil.

Estado Brasileiro	Total de localidades oleadas	Total de localidades oleadas dentro de Unidades de Conservação (UCs)	Áreas protegidas oleadas em relação às áreas totais afetadas (%)	Quantidade de UCs atingidas por óleo	Extensão de costa do estado (km)	Porcentagem de costa de cada estado afetada por óleo (%)
MA	48	47	97,92	8	2.242,69	2,1
PI	21	21	100,00	1	67,32	31,2
CE	48	9	18,75	8	608,97	1,3
RN	80	47	58,75	3	409,45	11,5
PB	21	15	71,43	6	153,47	9,8
PE	55	25	45,45	5	216,16	11,6
AL	128	89	69,53	4	248,24	35,9
SE	105	21	20,00	1	154,46	13,6
BA	376	255	67,82	20	1.075,85	23,6
ES	123	37	30,08	6	453,93	8,2
RJ	4	3	75,00	1	1.094,10	0,3
TOTAL	1.009	569	-	63	6.724,64	-

Conclusões

Embora o Brasil disponha de legislação pertinente ao assunto, inclusive preconizando a obrigatoriedade de se dispor de planos específicos para situações envolvendo derramamento de óleo no mar, as consequências observadas no episódio estudado no presente trabalho foram graves: 1.009 localidades oleadas em 11 estados brasileiros, tendo sido afetados 130 municípios.

Por meio da interpretação dos dados resumidos (TABELA VII), dentre essas 1.009 localidades oleadas, 569 situam-se em Unidades de Conservação (UCs), o que representa 56,39 % do total de localidades afetadas pelo óleo.

Foram atingidas 63 Unidades de Conservação (UCs) e 8,4 % do litoral brasileiro foi comprometido por mancha, vestígio e/ou óleo esparsos decorrentes do derramamento de óleo de 2019-2020. Das 63 UCs afetadas, apenas 22 dispõem de Plano de Manejo, quatro não possuem e em 37 essa informação não está disponível, embora relevante, conforme indicado nas TABELAS III e IV.

O estado de Alagoas teve 128 localidades oleadas, com 35,9 % da extensão de seu litoral afetado, o maior percentual dentre os estados litorâneos atingidos, seguido do Piauí com 31,2 %, com 21 localidades litorâneas oleadas. O estado da Bahia teve 23,6 % da extensão de seu litoral afetado pelo derramamento de óleo, tendo apresentado, dentre os 11 estados afetados, a maior quantidade de localidades oleadas (376), das quais 255 situavam-se em UCs. Ainda na Bahia observou-se que 20 UCs foram afetadas por óleo, a maior quantidade entre os 11 estados afetados.

Os estados da Bahia e do Espírito Santo tiveram a maior diversidade de tipos de UCs atingidas por óleo: (i) Bahia: APA, RESEX, Parques, REVIS, RPPN e MONA; (ii) Espírito Santo: APA, REBIO, Parques, ARIE e REVIS. No estado do Piauí, todas as 21 localidades oleadas (100 %) situavam-se em UC. Já no Ceará, dos 48 locais oleados, nove situavam-se em UC, o que representa 18,75 % do total de registros no Estado.

Os resultados revelam a necessidade de um maior rigor e agilidade na aplicação da legislação e dos planos preventivos, de preparação, de mitigação e de resposta vigentes no Brasil, de modo que o risco seja reduzido e que desastres associados a derramamento de hidrocarbonetos ou seus derivados, no mar, sejam evitados, ou que, pelo menos, tenham os seus impactos minimizados.

Referências bibliográficas

- Andrade, J. B. D., e Coutinho, R. (2022). Oil Spill on the Brazilian Coast. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 94.
- Araújo, K. C., Barreto, M. C., Siqueira, A. S., Freitas, A. C. P., Oliveira, L. G., Bastos, M. E. P., ... & Fragoso, W. D. (2021). Oil spill in northeastern Brazil: Application of fluorescence spectroscopy and PARAFAC in the analysis of oil-related compounds. *Chemosphere*, 267, 129154.
- Baptista, G.S. (2022). *Entendimento técnico e jurídico de terminologias utilizadas na área de redução dos riscos e desastres (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil)*. Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/rep-download.php?arquivo=projpoli10036152.pdf&fcodigo=5495>. Acesso em: 10 de junho de 2022.
- Bitencourt, D. P., & Soares, V. R. S. P. R. (2022). Segurança do setor de petróleo e gás no Brasil: clima passado e cenários futuros frente as mudanças climáticas. *Territorium - Revista Internacional de Riscos*, n.º 29 (II): Riscos, Segurança e Saúde. Editores: RISCOS: Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança; IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, ISSN: 0872-8941, Coimbra 23-35. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_29-2_2

- BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto Federal n.º 83.540 de 4 de junho de 1979. Regulamenta a aplicação da Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos Causados por Poluição por Óleo, de 1969, e dá outras providências.
- BRASIL. CONGRESSO NACIONAL. Lei n.º 9.966 de 28 de abril de 2000a. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.
- BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei n.º 9.985 de 18 de julho de 2000b. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.
- BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto n.º 4.136 de 20 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às infrações às regras de prevenção, controle e fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional, prevista na Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000, e dá outras providências.
- BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto n.º 4.871 de 6 de novembro de 2003. Dispõe sobre a instituição dos Planos de Áreas para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n.º 398 de 11 de junho de 2008. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração.
- BRASIL. CONGRESSO NACIONAL. Lei n.º 12.608 de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências.
- BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto n.º 8.127 de 22 de outubro de 2013. Institui o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional, altera o Decreto nº 4.871, de 6 de novembro de 2003, e o Decreto nº 4.136, de 20 de fevereiro de 2002, e dá outras providências.
- BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto n.º 10.950, de 27 de janeiro de 2022. Dispõe sobre o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional.
- Camargos, A. C. P. (2023). Pesca artesanal no contexto da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável: o caso do Complexo Estuarino Lagunar Cananéia-Iguape (SP-Brasil).
- Carmo, E. H., & Teixeira, M. G. (2020). Desastres tecnológicos e emergências de saúde pública: o caso do derramamento de óleo no litoral do Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 36.
- Carvalho, T. (2008). Mapeamento da sensibilidade ambiental do litoral de Ubatuba-SP a vazamentos de petróleo. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente. São Paulo: UNESP.
- CNUC - CADASTRO NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (2022). Plataforma/Dados Geoespaciais. Disponível em: cnuc.mma.gov.br/map. Acesso em: 29Jun2023 às 16h20min.
- da Silva, E. M., Peso-Aguiar, M. C., De Fátima Teixeira Navarro, M., & De Barros E Azevedo Chastinet, C. (1997). Impact of petroleum pollution on aquatic coastal ecosystems in Brazil. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 16(1), 112-118.
- da Silva, L. S. C., de Lima Picanço, J., & Calil, J. G. S. (2020). O grande desastre esquecido: análise preliminar do derramamento de óleo na costa brasileira (agosto/2019–março/2020) e seus impactos no litoral da Bahia. *Revista da Universidade Federal de Minas Gerais*, 27(3), 54-79.

- de Oliveira Soares, M., Teixeira, C. E. P., Bezerra, L. E. A., Paiva, S. V., Tavares, T. C. L., Garcia, T. M., . & Cavalcante, R. M. (2020). Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. *Marine Policy*, 115, 103879.
- de Oliveira, O. M., Queiroz, A. F. D. S., Cerqueira, J. R., Soares, S. A., Garcia, K. S., Pavani Filho, A., . & Moreira, Í. T. (2020). Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: Forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111597.
- Disner, G. R., & Torres, M. (2020). The environmental impacts of 2019 oil spill on the Brazilian coast: Overview. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*.
- do Nascimento, R. C. M., de Sousa, F. V., Vicente, C. P., & Catojo, A. M. Z. (2022). Derramamento de óleo na zona costeira do Brasil: Uma análise das unidades de conservação marinhas. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*.
- Escobar, H. (2019). Mysterious oil spill threatens marine biodiversity haven in Brazil. *Science*, 366(6466), 672.
- Fernandes, G. M., Martins, D. A., Dos Santos, R. P., de Santiago, I. S., Nascimento, L. S., Oliveira, A. H., ... & Cavalcante, R. M. (2022). Levels, source appointment, and ecological risk of petroleum hydrocarbons in tropical coastal ecosystems (northeast Brazil): Baseline for future monitoring programmes of an oil spill area. *Environmental Pollution*, 296, 118709.
- FIOCRUZ (2022). Derramamento de óleo no litoral brasileiro: pesquisadores concluem que desastre configurou Emergência em Saúde Pública. Disponível em: <https://informe.ensp.fiocruz.br/noticias/48246#:~:text=At%C3%A9%20o%20dia%20de,Ambiente%20e%20Recursos%20Naturais%20Renov%C3%A1veis>. Acesso em: 28 de julho de 2022.
- Freitas, C. M. (2021). *Acidentes industriais ampliados: riscos e estratégias de prevenção*. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz.
- Freitas, C. M., de Souza Porto, M. F., & Machado, J. M. H. (Eds.). (2000). *Acidentes industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção*. SciELO-Editora FIOCRUZ.
- Freitas, A.C. e Costa, L.C. (2022a). Análise das localidades litorâneas do Brasil com incidência de mancha, vestígio e óleo esparsos decorrentes de derramamento ocorrido em 2019. *Anais da VI Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro*. 17 a 21 de outubro de 2022. São Gonçalo, RJ. GEOPARTNERS, 2022. pp 877 a 891. ISBN: 978-65-00-60634-8. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/370630951_ANALISE_DAS_LOCALIDADES_LITORANEAS_DO_BRASIL_COM_INCIDENCIA_DE_MANCHA_VESTIGIO_E_OLEO_ESPARSO_DECORRENTE_DE_DERRAMAMENTO_OCORRIDO_EM_2019. Acesso em: 02Set2023 às 16h00min.
- Freitas, A. C. e Costa, L. C. (2022b). Análise das localidades litorâneas do Brasil com incidência de mancha, vestígio e óleo em 2019. Apresentação oral no VI JGEOTEC, 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=u6DppAaiCkA&t=4s>
- Freitas A.C. e Costa L.C. (2022c). Fórum de Discussão e Oficina Prática: Redução de Riscos e Desastres associados a Derramamento de Produtos Perigosos. (GRRD-DPP). UFRJ e CEFET-RJ. Evento presencial realizado em 26 de outubro de 2022. Área temática: Meio ambiente. Carga Horária: 3horas. Coordenação: Alessandra Conde de Freitas (UFRJ) e Luiza Costa (CEFET-RJ). Parcerias: Projeto Espaço Fluir, Escola Politécnica da UFRJ e CEFET -RJ.
- Freitas, A. C. (2022). Conceitos e abordagens não estruturais para Redução dos Riscos e Desastres (RRD). Mesa 1 ocorrida em 20 out. 2022 na VI Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro (VI JGEOTEC - 2022). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=egw8JewUMdo&t=1385s>.
- Freitas, A. C. de; Aires, M., Barbosa, G. S. Conceitos e abordagem metodológica utilizada em oficina de elaboração de plano de contingência: um importante instrumento voltado à educação para redução dos riscos e desastres (ERRD). In: SOUTO, R.D. (org.). *Gestão Ambiental e Sustentabilidade em Áreas Costeiras e Marinhas: Conceitos e Práticas*. v. 2. cap. 7. Rio de Janeiro: Raquel Dezidério Souto (Edição da autora), 2022. 125–149. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6672824>.

- Freitas, A. C., Freitas, F. D. S., e Lima, L. (2022). Áreas sujeitas a inundação e alagamento na cidade de Maricá, RJ–Brasil (Areas subject to flooding in the city of Maricá, RJ–Brasil). Volume 11: Análise e Modelação de Risco no Ordenamento do Território, da Série Estudos Cindínicos, ISSN.2184-5727. Editor: Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, ISBN Digital:978-989-9053-18-2, Coimbra, 46 – 81. DOI: https://doi.org/10.34037/978-989-9053-18-2_11_2
- Guadalupe Meniconi, M. D. F., Gabardo, I. T., Carneiro, M. E. R., Barbanti, S. M., da Silva, G. C., & Massone, C. G. (2002). Brazilian Oil Spills Chemical Characterization--Case Studies. *Environmental Forensics*, 3(3-4), 303-321.
- Gonçalves, P. R. (2021). Diagnóstico, desafios e caminhos da conservação e uso sustentável das zonas costeiras e marinhas do Brasil: agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, ODS-14.
- Hoff, N. T., Takase, L. S., Siegle, E., & Dias, J. F. (2022). Mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo no arquipélago dos Alcatrazes (São Paulo, Brasil). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 22(1), 43-80.
- IBAMA, INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (2019). Cartilha informativa sobre a trajetória do acidente/Desmobilização. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo-desmobilizacao>. Acesso em: 15/02/2024 às 13h e 20 min.
- IBAMA, INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (2020a). Localidades Oleadas. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/emergencias-ambientais/arquivos/2020/manchasdeoleo/2020-03-19_LOCALIDADES_AFETADAS.xlsx. Acesso em: 30Jun2023 às 13h40min.
- IBAMA, INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (2020b). Relatório Técnico nº 6898984/2020-CGEMA/DIPRO. Número do Processo: 02001.002614/2020-01. Coordenação-Geral de Emergências Ambientais. 12p.
- IBAMA, INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS(2020c). Relatório Final: Incidente de Poluição por Óleo na Costa Brasileira. 138p. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/emergencias-ambientais/manchasdeoleo/arquivos/2023/20230118_Of_Ext_30_279_2020_CM_MMA_An_Incidente_Poluicao_Oleo_Relatorio_final.pdf. Acesso em: 15fev2024 às 20h e 00min.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022). Unidades de Federação. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2022/Brasil/BR/BR_UF_2022.zip. Acesso em: 30Jun2023 às 18h40min.
- ITOPF (2023b). Fate of Marine Oil Spills. Disponível em: https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_2_Fate_of_Marine_Oil_Spills.pdf. Acesso em 15fev2024 às 20h e 10min.
- IVIDES.ORG (2023). Mapa Colaborativo da Poluição por Petróleo na Zona Costeira do Brasil (Desastre 2019-2020), Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável, IVIDES.ORG. Disponível em: <https://ivides.org/mapa-participativo-petroleo-2019-2020>. Acesso em: 10Jun2023 às 11h20min.
- Landquist, H., Hassellöv, I. M., Rosén, L., Lindgren, J. F., & Dahllöf, I. (2013). Evaluating the needs of risk assessment methods of potentially polluting shipwrecks. *Journal of Environmental Management*, 119, 85-92.
- Lessa, G. C., Teixeira, C. E. P., Pereira, J., & Santos, F. M. (2021). The 2019 Brazilian oil spill: insights on the physics behind the drift. *Journal of Marine Systems*, 222, 103586.
- Lourenço, R. A., Combi, T., da Rosa Alexandre, M., Sasaki, S. T., Zanardi-Lamardo, E., & Yogui, G. T. (2020). Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111219.

- Lourenço, R. A., Lassalle, G., Scafutto, R. D. P. M., & de Souza Filho, C. R. (2023). Recurrent arrival of oil spill remnants along the Brazilian coast: In situ long-term weathering of the largest spill in Brazil's history. *Regional Studies in Marine Science*, 66, 103175.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103175>
- Magalhães, K. M., de Souza Barros, K. V., de Lima, M. C. S., de Almeida Rocha-Barreira, C., Rosa Filho, J. S., e de Oliveira Soares, M. (2021). Oil spill+ COVID-19: A disastrous year for Brazilian seagrass conservation. *Science of the total environment*, 764, 142872.
- Marinho, C., Nicolodi, J. L., & Neto, J. A. (2021). Environmental vulnerability to oil spills in Itapua State Park, Rio Grande do Sul, Brazil: An approach using two-dimensional numerical simulation. *Environmental Pollution*, 288, 117872.
- Michel, J. (2000). Assessment and recommendations for the oil spill cleanup of Guanabara Bay, Brazil. *Spill Science & Technology Bulletin*, 6(1), 89-96.
- Nobre, P., Lemos, A. T., Giarolla, E., Camayo, R., Namikawa, L., Kampel, M., ... e POLITO, P. S. (2022). The 2019 northeast Brazil oil spill: scenarios. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94.
- Nunes, A. (2003). Derrames de hidrocarbonetos: quando o oceano se cobre de negro. *Territorium - Revista de Geografia Física Aplicada ao Ordenamento do Território e Gestão de Riscos Naturais*, n.º10, ISSN: 0872-8941, MINERVA, COIMBRA, 101-110.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_10_7
- ONU BRASIL, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – BRASIL (2023). Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15fev2024 às 20h e 50min.
- Pena, P. G. L., Northcross, A. L., Lima, M. A. G. D., & Rêgo, R. D. C. F. (2020). Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão. *Cadernos de Saúde Pública*, 36, e00231019.
- PETROBRAS. CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO LEOPOLDO A. MIGUEZ DE MELLO (CENPES), INSTITUTO BAÍA DE GUANABARA (IBG). (2006). Manual de Campo para Avaliação de Óleo em Linha de Costa. Texto traduzido e adaptado do original: Shoreline Assessment Manual, elaborado pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 149. Disponível em: <https://saopelotas.furg.br/images/stories/documentosdereferencia/manuais%20de%20avaliacao%20petrobras.pdf>. Acesso em 24 de julho de 2023.
- PUCB (2024). Painel de Unidades de Conservação Brasileiras. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiMGNmMGY3NGMtNWZlOC00ZmRmLWExZWItNTNiNDhkZDg0MmY4IiwidCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNGMxZi1hNGJhLTZkZThmM2M1NTBlNyJ9&pageName=ReportSection0a112a2a9e0cf52a827>. Acesso em: 16fev2024 às 12h e 41 min.
- Romero, A. F., Riedel, O. S., Milanelli, J. C. C., & Lammardo, A. C. R. (2011). Mapa da vulnerabilidade ambiental ao óleo—um estudo de caso na Baía de Santos, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, 63(03), 315-332.
- Ruoppolo, V., Vanstreels, R. E. T., Silveira, L. F., Zerbini, A. N., Colman, L., Woehler, E. J., ... e Ranieri, A. (2017, May). Sensitivity mapping for oil spill response: a comprehensive framework to identify wildlife and areas at risk along the coastline of Brazil. *In International Oil Spill Conference Proceedings*, Vol. 2017, No. 1, 924-939.
- Silva, L. R. C. D. (2021). *Desastre ambiental causado por derramamento de petróleo no litoral do Ceará: um estudo sobre o ambiente, a saúde e o trabalho de pescadores e pescadoras artesanais*.
- Soares, M. O., Teixeira, C. E. P., Bezerra, L. E. A., Rabelo, E. F., Castro, I. B., & Cavalcante, R. M. (2022). The most extensive oil spill registered in tropical oceans (Brazil): the balance sheet of a disaster. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(13), 19869-19877.

- TCU, TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (2019). Relatório Final: TC 036.563/2019-6 - Derramamento de óleo no litoral brasileiro. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/emergencias-ambientais/manchasdeoleo/arquivos/2022/2022-12-16_relatorio_final_tcu_instrucao_processo_03656320196.pdf. Acesso em 15fev2024 às 20h e 09 min.
- Vieira, D. S. (2021). *Derramamento de óleo no litoral do nordeste do Brasil (Trabalho de conclusão de curso de graduação - Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia do Mar)*. Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo, Santos, 33 f.
- Zacharias, D. C., Gama, C. M., & Fornaro, A. (2021). Mysterious oil spill on Brazilian coast: Analysis and estimates. *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112125.
- Zacharias, D. C., Gama, C. M., Harari, J., da Rocha, R. P., & Fornaro, A. (2021). Mysterious oil spill on the Brazilian coast—part 2: a probabilistic approach to fill gaps of uncertainties. *Marine pollution bulletin*, 173, 113085.
- Wang, Z., An, C., Lee, K., Owens, E., Chen, Z., Boufadel, M., ... & Feng, Q. (2021). Factors influencing the fate of oil spilled on shorelines: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1611-1628.

**FORMAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTO
CIENTÍFICO PARA PROFESSORES: ESTUDO DE CASO**
**TRAINING AND CONSTRUCTION OF SCIENTIFIC
KNOWLEDGE FOR TEACHERS: CASE STUDY**

Mário Talaia

Universidade de Aveiro, CIDTFF (Portugal)
Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores
ORCID: 0000-0003-4311-6209 mart@ua.pt

Carla Vigário

Jardim-Escola João de Deus de Ponta Delgada, RA dos Açores (Portugal)
ORCID: 0000-0003-0291-209X carlasofia213@gmail.com

Inês Sousa

Jardim-Escola João de Deus de Ponta Delgada, RA dos Açores (Portugal)
ORCID: 0009-0008-6081-7553 ines.lsousa@gmail.com

Eduardo Figueiredo

Escola Secundária Domingos Rebelo, RA dos Açores (Portugal)
ORCID: 0009-0003-9108-9978 eduardo.f.figueiredo@gmail.com

Resumo: A sobrevivência dos seres vivos no planeta Terra depende da radiação solar, da termodinâmica da atmosfera e da dinâmica da física das nuvens. O desequilíbrio dos ecossistemas depende da forma como o ser humano observa a natureza. Há teorias que suscitam debate no que respeita às alterações climáticas. A ciência deve motivar os cidadãos a respeitar a qualidade do ar e a evitar danos, procurando reduzir a pegada energética. A escola, como ponte da formação de cidadãos, deve estar preparada para uma educação face ao risco. É nesta perspetiva que surge este trabalho, suportado num curso de formação específica para a formação de professores. Estando presentes vários grupos de ensino,

foi possível e enriquecedor trabalhar com a teoria disponível que fez a ponte para a interpretação física de inúmeras questões problema. A este respeito, todas essas questões foram trabalhadas com partilhas de ponto de vista, ideias e raciocínio crítico, na procura da solução, baseada numa perspectiva de uma sensibilização ambiental e cidadania, como abordagem científica e experimental. A longa experiência de cada participante enriqueceu diversos debates.

Palavras-chave: Formação específica, ensino e aprendizagem, questões problema, raciocínio crítico, educação para o risco.

Abstract: The survival of living beings on planet Earth depends on solar radiation, the thermodynamics of the atmosphere and the dynamics of cloud physics. The imbalance of ecosystems depends on the way humans observe nature. There are theories that spark debate regarding climate change. Science must motivate citizens to respect air quality and avoid damage, seeking to reduce the energy footprint. The school, as a bridge for the training of citizens, must be prepared for education in the face of risk. It is from this perspective that this work arises, supported by a specific training course for teacher training. With several teaching groups present, it was possible and enriching to work with the available theory that formed the bridge to the physical interpretation of countless problem issues. In this regard, all these issues were worked on by sharing points of view, ideas and critical reasoning, in the search for a solution, based on a perspective of environmental awareness and citizenship, as a scientific and experimental approach. The long experience of each participant enriched several talks.

Keywords: Specific training, teaching and learning, problem questions, critical reasoning, risk education.

Introdução

Com base no conhecimento científico através da observação e da experimentação, é possível fazer ligações com diferentes pontes de investigação envolvendo a radiação solar, a termodinâmica da atmosfera e a física das nuvens. Os autores defendem que a atmosfera é o melhor laboratório, onde são demonstradas e observadas todas as teorias e modelos desenvolvidos, ao longo do tempo, pela ciência. Na atmosfera, tudo ocorre de forma natural face à estabilidade e instabilidade da camada da atmosfera mais próxima da superfície terrestre, ou seja, a troposfera. O ser humano, com a chamada revolução industrial, alterou, dentro de certos limites e incertezas, a composição da atmosfera. Esta problemática potenciou alterações climáticas, com consequente aquecimento global, que têm dinamizado maior frequência de fenómenos atmosféricos extremos. A este respeito, cita-se as temíveis forças da natureza, formadas na atmosfera, condicionadas pelas atividades humanas, que levam ao desespero a forma de atuar através de meios de segurança e de prevenção.

Infelizmente, de acordo com o passar dos tempos, o ser humano pouco tem aprendido face à agressividade que tem realizado contra a natureza e esquece que esta nunca perderá o que é seu.

As forças da natureza destrutivas, através de diferentes parâmetros, mostram que o deslocamento do ponto de aplicação das forças gera, no tempo, potências incontroláveis e destrutivas, seja por via de incêndios, de inundações, de deslizamentos de terras, de ondas de calor, de ondas de frio, de poluição, etc.

É oportuno citar as palavras do rei Salomão, no seu livro Eclesiastes 1: 13 e 14 “[...] empreguei todo o meu coração a investigar e a fazer uso do saber para explorar tudo o que é realizado debaixo dos céus. Que fardo pesado Deus colocou sobre os ombros dos seres humanos para dele se atarefarem. Examinei todas as obras que se fazem debaixo do sol e cheguei à conclusão de que tudo é inútil, é como uma corrida sem fim atrás do vento!” Esta citação baseia-se no ponto de vista do ser humano e da sua vivência perante factos reais. O que é da natureza é e será sempre da natureza.

A literatura da especialidade mostra que, atualmente, há divergências entre investigadores acerca dos impactos devidos as alterações climáticas e consequente aquecimento global. Talaia (2025) escreveu que “[...] neste respeito linhas de

investigação podem ser sugeridas considerando que as alterações climáticas e consequente aquecimento global não devem ter as 'costas' assim tão largas para justificar inundações, deslizamentos e catástrofes". No entanto, os cenários indicados através do IPCC (2023) mostram um futuro com muita angústia, indicando aquecimento global, degelo, alteração de ecossistemas, subida do nível das águas do mar, alteração do albedo da superfície da Terra, nanopartículas poluidoras, etc.

Felício (2014) mostrou que há agentes poluidores que assumem uma culpabilidade que não lhes pertence e defendem o próprio espaço visando uma boa qualidade de vida.

A questão problemática mais destacada nos meios da ciência e da política tem que ver com o gás poluente dióxido de carbono (CO_2). ***Será que o dióxido de carbono aquece o planeta Terra face à radiação solar intersetada no disco da Terra?***

Aparecem nos meios da ciência algumas contradições. De acordo com Felício (2014) são indicadas algumas evidências que mostram que o dióxido de carbono da atmosfera e, principalmente, o injetado pelos seres humanos nas suas atividades, nunca controlou ou controlará o clima da Terra. Eis os factos apresentados pelo autor: há o fator de escala na composição da atmosfera da Terra e constituída em cerca de 78 % de nitrogénio, de 21 % de oxigénio, de 0,7 % de Árgon, e outros gases; o dióxido de carbono, nem qualquer outro GEE (gás de efeito de estufa), controla o clima da Terra, mesmo contabilizando os gases refrigerantes das famílias CFCs e afins; é aceite que os oceanos ocupam cerca de 72 % da superfície da Terra; não são considerados, nos estudos, fatores de escala dos processos. Por exemplo, os fluxos estimados de CO_2 resultam em cerca de 210Gton/ano; afirmação avulso de que o CO_2 é o gás responsável e poluente pela destruição da Terra; valores registados históricos mostram que foram já registadas temperaturas mais elevadas que as atuais; a ciência não é realizada no alicerce de consenso. Há normalmente consenso na política. A ciência trabalha baseada em evidências; os financiamentos (Lino, 2010) estão ligados ao AGA (Aquecimento Global Antropogénico).

Surge a questão problema: ***será que as ações do ser humano podem alterar a vida e o balanço energético do planeta Terra, por alterarem os processos inerentes à radiação solar, termodinâmica da atmosfera, física das nuvens e eletricidade da atmosfera?***

O número de cientistas críticos quanto à ação do ser humano e sua influência no clima terrestre está a aumentar face ao modo como se criou um “problema” climático (UNITED STATES SENATE, 2008).

Face à problemática das alterações climáticas, há uma corrente que se baseia na teoria da tríade (Felício, 2009; Felício e Onça, 2010) por considerar um triângulo da combustão (inclui três elementos: combustível, comburente e calor). Surge, então, o tetraedro do fogo, que é sustentado por esses três elementos. Se um for removido o fogo é extinto. Estes autores defendem que os três elementos servem para justificar a imposição de um falso “desenvolvimento sustentável”, o qual só permanece no ápice devido a serem baseados nas atividades humanas que favorecem as “alterações climáticas”, o “aquecimento global” e “caos ambiental” contribuindo para o temor do ser humano. Os autores dão alguns exemplos: “[...] *afirma-se que o problema ambiental gerado pelas atividades humanas tem causado alterações climáticas globais*”, ou “[...] *cientistas dizem que as alterações climáticas são perceptíveis, pois os registos de temperatura demonstram que o aquecimento global já é um facto consumado*”.

O clima pode causar problemas para o ser humano, mas este deve criar resiliência às adversidades, utilizando a Ciência para o benefício da humanidade com planeamento urbano, entendimento da variabilidade climática, técnicas e épocas ideais ao cultivo, etc. (Lino, 2010).

Os ambientes atmosféricos naturais são modificados pelo ser humano de maneira intencional ou inadvertidamente, mas pouco se conhece das verdadeiras implicações (Machado e Felício, 2011). Segundo estes autores, o balanço energético e o balanço hídrico local, porém, devido à complexidade da distribuição espacial e temporal dos fluxos de calor e água envolvidos, mesmo quando planeados, a linha divisória entre os efeitos esperados e aqueles não intencionais é obscura. Sugerem a importância de se investigar e detalhar os processos físicos que se desenvolvem na camada inferior da troposfera, cuja massa volúmica de ar está em contacto direto com a superfície e recebe, portanto, toda a sua influência. A esta camada rasa denomina-se camada limite, e quando situada sobre uma cidade tem o nome de camada limite urbana.

Por outro lado, o albedo das superfícies influencia a dinâmica da circulação atmosférica e a camada limite diurna ou noturna suscitam alterações nas expressões primitivas e incertezas geradas pela propagação do erro nos modelos numéricos. Um

exemplo do mundo real face ao mundo modelado, como aproximação de previsão do estado do tempo ou cenários futuros (Wilks, 2006), é mostrado na (fig.1).

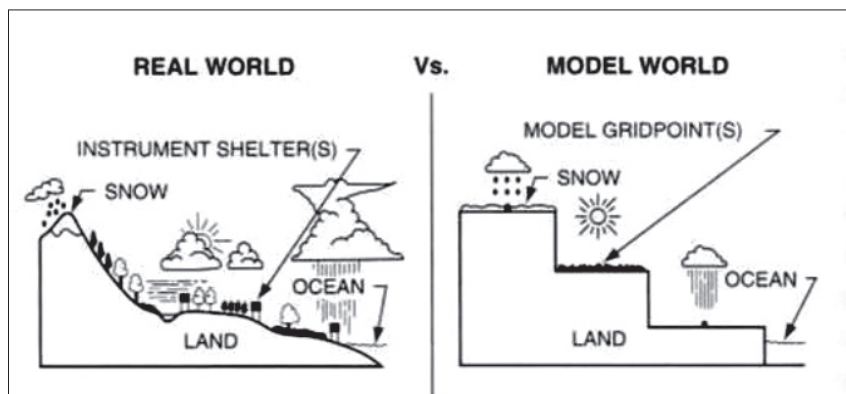


Fig. 1 - Esboço de um mundo real e de um mundo modelado (adaptado de Wilks, 2006)

Fig. 1 - Sketch of a real world and a model world (adapted from Wilks, 2006).

Com base nestes pressupostos, faz todo sentido este curso de formação de professores e profissionais de diferentes áreas, que permitirá apresentar o que é aceite cientificamente e lecionado nas instituições de ensino e interpretar as ligações que surgem com o ciclo diurno solar na atmosfera do planeta Terra.

Apresentam-se ideias durante o debate de questões problema e ventila-se opiniões de ponto de vista, que permitiram construir conhecimento e derrubar algumas concessões alternativas. Foi, de acordo com estas perspetivas indicadas, que surgiu o curso de formação específica para professores e interessados, denominado de “A Tríade da Radiação Solar, da Termodinâmica da Atmosfera e da Física das Nuvens. Uma Contribuição para a Educação para o Risco”, com a referência CCPFC/ACC-123330/24.

O curso foi fundamentado, planeado e implementado, com base na utilização de contextos reais, vivenciados na atmosfera, de modo a despertar a curiosidade, a inquietação e a formulação de questões problema, a que se procurou dar respostas cientificamente corretas para justificar de maneira simples a ocorrência de fenómenos atmosféricos, valorizando a dinâmica da ciência, da tecnologia, da sociedade e do ambiente (CTS-A). A partir das questões problema, foi possível

estabelecer “pontes”, ou seja, elos entre a teoria e a prática. Os contextos reais constituem um meio de excelência de ensino e aprendizagem, na medida em que fomentam a curiosidade natural dos formandos, motivando-os na procura de informação necessária e complementar à resolução dos problemas.

Conforme mostrou Hodson (1998), ser cientificamente culto é um conceito multidimensional por desenvolver uma educação segundo três vertentes a saber: “*Aprender Ciência*” – refere-se à dimensão conceptual do currículo, o conhecimento em si (conceitos, leis, princípios, teorias); “*Aprender Sobre a Ciência*” – tem como objeto de estudo a natureza da própria ciência, ou seja, aspetos metacientíficos e “*Aprender a fazer Ciência*” – refere-se ao desenvolvimento de competências para o desenvolvimento de percursos de pesquisa e de resolução de problemas.

De acordo com Zohar *et al.* (1994), atualmente, entende-se a aprendizagem como uma atitude de interrogação e pensamento ativo sendo abordado o conhecimento científico e tecnológico com base em questões problema emanados de contextos reais próximos dos intervenientes.

Segundo os autores, a aprendizagem baseada na resolução de problemas (ABRP) é o caminho vital para a resolução de questões problema.

A ABRP passou a ser, também, promotora de uma abordagem CTS-A. Assim, a aprendizagem torna-se fruto de atitudes investigatórias e construtivistas, envolvendo os participantes na construção ativa, sólida e estruturada de conhecimentos. Este método de ensino baseado na resolução de problemas considera que as experiências e vivências reais dos formandos e do formador deveriam ser transportadas para a sala de aula, desenvolvendo-se toda a aprendizagem em torno dessas mesmas problemáticas (Deslie, 2000).

West (1992) sugere que a resolução de problemas deve ser organizada em três fases. 1ª fase: apresentação do problema; identificação dos temas a explorar; definição dos objetivos de aprendizagem; explicitação das questões sugeridas dos temas. 2ª fase: planificação do programa de trabalho; exploração das questões por parte dos participantes. 3ª fase: apresentação e discussão dos resultados; síntese dos conhecimentos adquiridos; avaliação do processo.

Talaia (2022) mostrou como desenvolver competências para a Educação para o Risco através de questões problema. Para o mesmo autor, um ensino pode ser considerado de

preguiça ou facilitismo quando descarta o desenvolvimento de raciocínio reflexivo e crítico numa base de contextos reais e científicos. Apenas ter o foco de pensamento crítico, que está implícito na ABRP, como alternativa de ensino, sem ter antes desenvolvido uma banda larga de conhecimento científico, parece ser apenas uma arte de teoria sem valor, pois as questões não são vivenciadas cientificamente com detalhe na interpretação física. O mesmo é afirmar que alguém adquiriu conhecimento, mas esse conhecimento não produz alternativas de interpretação vivenciadas no processo físico, outra é alguém mostrar ter conhecimento exato que significa o domínio integral dos processos e o modelar de expressões ou gerar modelos capazes de prever e interpretar fenómenos que ocorrem, por exemplo, por observação visual do maior laboratório pedagógico e científico gratuito e acessível a todos, a atmosfera.

Fundamentos teóricos

Atualmente, uma grande maioria da sociedade parece atropelar o tempo, ou seja, verifica-se o uso e a disponibilidade de diferentes meios informáticos. Esta facilidade de comunicação avança abruptamente, estando a anular ou a dificultar o contacto do ser humano com a natureza. A atmosfera que suporta a vida dos seres vivos faz parte da natureza.

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas) publicou no seu relatório AR6 uma excelente contribuição em que mostrou não haver dúvidas de que estão a ser observadas alterações no clima do planeta em todas as regiões e onde a subida do nível médio das águas dos oceanos é irreversível. Os cenários indicam a presença de fenómenos extremos mais frequentes, potenciados pela emissão de gases de efeito de estufa (GEE). O relatório do IPCC sugere cinco novos cenários de emissões de GEE para o período 2015-2100 e as suas consequências (dois cenários mais otimistas, um cenário intermediário e dois cenários mais pessimistas (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>)).

Nesta perspetiva, o curso de formação específica de professores foi planeado com base numa Tríade de conhecimento científico alicerçado na ligação entre a radiação solar, a termodinâmica da atmosfera e a física das nuvens (IQBal, 1983; Iribarne

e Godson, 1981; Salby, 1995; McIntosh e Thom, 1981; Rogers, 1976). Questões problema ou ideias de ponto de vista foram trabalhadas através da interpretação física, recorrendo sempre que necessário, às expressões desenvolvidas e indicadas em livros ou artigos da especialidade. Modelos aproximados foram também usados, como por exemplo a aproximação geostrófica, para determinar a origem e a intensidade do vento numa carta meteorológica (Holton, 2004).

O grupo de professores foi de forma unânime interventivo, defendendo as razões científicas que melhor suportavam a interpretação física da explicação de cada fenómeno físico. Muitas ideias provenientes ou baseadas em conceções alternativas foram derrubadas.

Foram objetivos específicos considerar, por exemplo, a importância do ar húmido na atmosfera, do ciclo da água, da qualidade do ar, das ondas de calor, das secas, da falência de ecossistemas, das inundações, do deslizamento de terras, da ação rebelde das marés vivas, da angústia de pessoas que nada podem fazer contra as forças da natureza quando o fluir das águas regista elevada velocidade e uma tensão de corte assustadora por destruir pontes, estradas, edifícios, e outros como se tudo fosse simples “algodão” (Iribarne e Cho, 1980; Eskinazi, 1997; Ahrens, 1999; Ahrens e Henson, 2019).

O “buraco” da camada de ozono, na Estratosfera, alterou a proteção relativamente aos UV (a radiação ultravioleta UV é um tipo de radiação eletromagnética ionizante com alto poder de penetração na pele humana) que atingem a superfície terrestre.

O ozono troposférico, devido à poluição e às descargas elétricas a partir das nuvens cumulonimbo, agrava as agudizações de algumas doenças respiratórias e é um parâmetro que define o índice de qualidade do ar.

Face à problemática aceite pelo IPCC, muitos ecossistemas estão a alterar devido ao aquecimento global que tem potenciado a taxa de evaporação que, por sua vez, faz gerar mais nuvens de precipitação persistente tendo como consequências inundações em zonas que favorecem o processo da condensação do vapor de água quando a temperatura do ar é inferior à temperatura de ponto de orvalho, relativamente à massa de ar inicial.

A avaliação da sensação térmica do ser humano num ambiente térmico foi considerada e interpretada com base em modelo de previsão (Talaia, 2021; Talaia, 2020; Talaia e Augusto, 2018; Morgado *et al.*, 2015).

Métodos

O curso com uma carga horária de 12h30 decorreu durante os dias 24, 25 e 26 de outubro de 2024, no Jardim-Escola João de Deus de Ponta Delgada, Ilha de São Miguel (Açores), organizado pelo Centro de Formação de Professores da RISCOS (CFPR) e da Direção da RISCOS – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, em colaboração com o Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores da Universidade de Aveiro (CIDTFF/UA).

Durante o curso, foi usada a aprendizagem baseada na resolução de problemas (ABRP) numa dinâmica ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTS-A).

Foram interpretadas fisicamente questões problema numa base de todos por um e um por todos com o objetivo de se criarem pontes e convergências comuns de modo que cada participante tivesse a oportunidade de esclarecer o seu ponto de vista baseado na sua formação pedagógica e científica.

A partir da leitura da temperatura do ar e da temperatura do termómetro húmido, na sala de formação, foi possível avaliar a precisão e exatidão de dados recolhidos usando um termohigrométrico digital.

Avaliaram-se as propriedades físicas da massa de ar da sala de formação, trabalhando um processo isobárico com arrefecimento da temperatura do ar e um processo adiabático com a ascensão da massa de ar até ao nível de condensação NC (para avaliar a estimativa da altitude da base da nuvem da massa de ar). A partir do NC a massa de ar estando saturada ascende na linha da pseudoadiabática. A interpretação física da dinâmica da nuvem em altitude permitiu a construção de conhecimento científico detalhado (considerou-se o caso de não ocorrer precipitação ou o caso de haver precipitação, neste se a massa de ar voltar ao estado termodinâmico inicial apresentará, como é natural, uma humidade relativa inferior e uma maior temperatura do ar).

Para mostrar a altitude da tropopausa local recorreu-se a dados de radiossondagem realizados, em simultâneo, em Lisboa e em Aveiro.

O curso realizou-se por avaliação contínua, tendo em conta as seguintes modalidades: participação ativa e construtiva do formando nas múltiplas atividades da ação e realização de um relatório final individual, até 5 páginas, versando um conceito teórico (ou um conjunto de conceitos) e/ou problematizando um ou vários

estudos de caso, dentro do universo da temática estudada ao longo das sessões de trabalho. Para além do formato texto, o relatório final individual podia seguir outras estratégias de comunicação como, por exemplo, um trabalho de vídeo.

Amostra

Este curso de formação, destinado a professores e profissionais de outras áreas científicas, visou a discussão e divulgação das diferentes abordagens teórico-metodológicas sobre a Educação para o Risco usando a atmosfera.

A amostra da população de elegíveis representou a conduta da população no seu conjunto (Pardal e Lopes, 2011). Segundo Vilelas (2009), uma amostra não é mais do que uma parte do todo a que se chama população e que a representa. Assim, a população é o conjunto de todos os indivíduos que tem uma ou mais características comuns, e que se encontram num espaço. Na estatística, procura-se uma amostra em que, por observação de uma porção relativamente reduzida de unidades, se possam obter conclusões semelhantes às que se chegaria se se investigasse o total da população. Quando uma amostra cumpre esta condição, ou seja, quando reflete nas suas unidades o que ocorre na população é chamada de amostra representativa.

Neste trabalho, a amostra é não-probabilística por conveniência, também chamada acidental, por ser obtida sem nenhum plano preconcebido, resultando as unidades escolhidas do produto das circunstâncias fortuitas (os interessados de acordo com o seu livre-arbítrio fizeram a sua inscrição para participarem no curso de formação específica).

No curso de formação específica foram inscritos 13 formandos (representam 86,7 % das vagas disponibilizadas), sendo 4 do género masculino e 9 do género feminino (fig. 2).

A amostra foi, também, investigada face ao grupo de recrutamento (fig. 3). A observação dos resultados obtidos mostra uma diversificação de áreas de intervenção. A temática é de uma área de banda larga, a Tríade entre a Radiação Solar, a Termodinâmica da Atmosfera e a Física das Nuvens, por permitir uma construção de conhecimento científico numa base da sobrevivência da vida num contexto da Educação para o Risco.

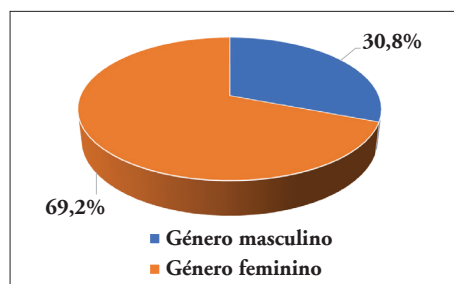


Fig. 2 - Género dos elementos da amostra

Fig. 2 - Gender of elements of the sample.

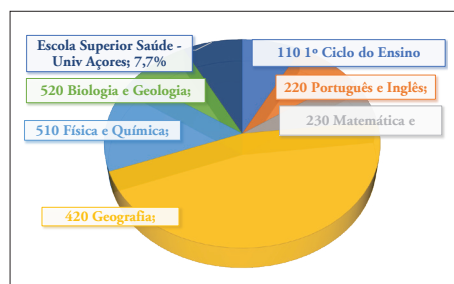


Fig. 3 - Identificação dos grupos de recrutamento

Fig. 3 - Identification of recruitment groups

O curso despertou interesse em 30,8 % dos professores inscritos, que eram residentes e a lecionar em escolas na ilha Terceira (fig. 4).

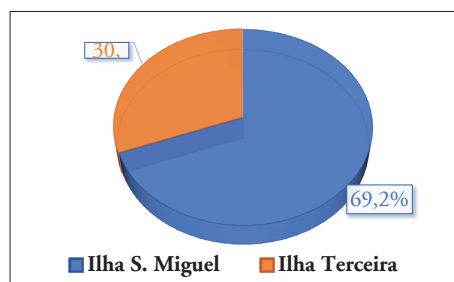


Fig. 4 - Identificação dos elementos por ilha

Fig. 4 - Identification of elements per island.

Resultados e sua discussão

Baseada na teoria desenvolvida e base para o curso foram colocadas diferentes questões problema, quer pelo formador, quer pelos formandos. É digno de nota que esta metodologia mostrou envolver todos os presentes na busca da explicação dos fenômenos atmosféricos apresentados.

Muitos exemplos poderiam ser descritos neste trabalho, mas decidiu-se, por opção, apresentar duas questões problema que podem mostrar, inequivocamente, a dinâmica gerada, durante as sessões, pelo grupo presente.

Uma das questões problema teve a ver “*Como avaliar a quantidade de água por unidade de área de uma superfície onde ocorre a condensação do excesso de vapor de água*”.

Para encontrar soluções de resposta é necessário fazer o filtro ou acrescentar palavras à questão indicada, sem alterar o objetivo da interpretação física.

As seguintes palavras-chave são indicadas na questão problema: quantidade de água; condensação do excesso de vapor de água e superfície de contacto. Devem ser acrescentadas, para a interpretação física, as propriedades físicas da massa de ar ou parcela de ar, ou seja, a temperatura do ar, a humidade relativa do ar, a temperatura do ponto de orvalho e a pressão atmosférica, para o estado termodinâmico inicial.

A teoria mostra que o melhor indicador para avaliar a quantidade de água na atmosfera (nos seus três estados físicos) é a temperatura do ponto de orvalho, e é sabido que a cada temperatura está associada um máximo de vapor de água.

Duas soluções podem ser consideradas: a temperatura do ar diminui durante um processo isobárico (este realiza-se, por exemplo, à superfície terrestre, com uma pressão considerada constante) ou a temperatura do ar diminui num processo adiabático (este realiza-se na ascensão da massa de ar) até atingir as condições para a formação da base de uma nuvem, ou seja, até atingir o seu nível de condensação. De notar que, se as condições atmosféricas suscitarem que a massa de ar continue em ascensão, seguirá um processo de saturação ou processo pseudoadiabático.

Será usado, como contribuição facilitadora de um ensino e aprendizagem, o tefigrama (é considerado verdadeiro, pois as áreas traçadas correspondem a formas de energia) que é usado pelo IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera).

Para se conhecerem as propriedades físicas do estado termodinâmico inicial, bastará, por exemplo, o conhecimento da temperatura do ar, da pressão atmosférica à superfície (cerca de 1000hPa ou 1000mbar) e da humidade relativa do ar.

Como exemplo, consideraram-se os seguintes valores registados num psicrómetro, para o estado termodinâmico inicial: temperatura do ar de 25,3°C e temperatura do termómetro húmido de 20,4°C. Por aplicação de tabelas construídas, foi possível conhecer a humidade relativa do ar de 62,0 % e temperatura do ponto de orvalho 17,6°C (fot. 1).



Fot. 1 - Instrumento de medida usado: psicrómetro
(Fotografia de Mário Talaia, tirada a 24/10/2024).

***Photo 1** - Measuring instrument used: psychrometer
(Photography by Mário Talaia, taken in 24/10/2024).*

Os valores lidos e determinados permitiram comparar com os registados num termohigrómetro digital e foram considerados válidos em termos de precisão e exatidão. Deve-se chamar a atenção de que os valores da temperatura do ar e da temperatura do termómetro húmido são precisos e exatos, dado serem a ponte para a calibração de instrumentos de medida, quer sejam analógicos, quer sejam digitais.

Os valores da temperatura do ar e da humidade relativa do ar, para a massa de ar, mostram inequivocamente que não está saturada (por ser, $U < 100\%$). Por esta razão, a massa de ar, se ascender na atmosfera, segue a linha da adiabática não saturada ou linha da temperatura potencial até atingir o nível de condensação, ou seja, até a altitude da base da formação de uma nuvem. Se a parcela do ar arrefecer num processo isobárico significa que se mantém à superfície terrestre (sensivelmente

com uma pressão constante) e ao diminuir a temperatura do ar começa a aumentar a capacidade de haver um processo de condensação do vapor de água se a superfície de contacto registar uma temperatura inferior à temperatura de ponto de orvalho.

Qualquer que seja o processo termodinâmico, o estado termodinâmico inicial da massa de ar será o mesmo para ser identificado no tefigrama e toda a sua avaliação será abordada através de linhas do movimento da massa de ar, nos sucessivos estados termodinâmicos (fig. 5).

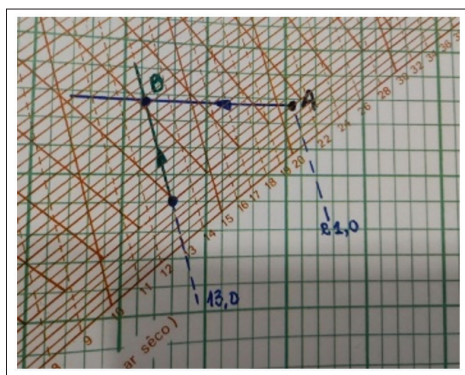


Fig. 5 - Estado termodinâmico inicial da massa de ar à superfície, A.

Fig. 5 - Initial thermodynamic state of the air mass, A.

Como se mostra, o estado termodinâmico inicial é indicado pela letra maiúscula A. Este estado é determinado pela temperatura do ar ($25,3^{\circ}\text{C}$) e da pressão atmosférica a esse nível (1000 hPa). No estado A passa uma linha oblíqua a tracejado (usou-se a cor azul) que indica a razão de mistura de saturação da massa de ar, ou seja, de valor $21,0 \text{ g}/(\text{kg de ar seco})$. Conhecido este valor e sabendo que a humidade relativa é de $62,0 \%$ chega-se ao valor de razão de mistura atual ou real de $13,0 \text{ g}/(\text{kg de ar seco})$.

A partir da linha do valor da razão de mistura atual ($13,0 \text{ g}/\text{kg de ar seco}$) e da pressão atmosférica (1000 hPa) encontra-se mais uma variável meteorológica que define o estado termodinâmico de A, ou seja, a temperatura do ponto de orvalho cujo valor lido será cerca de $18,0^{\circ}\text{C}$ (fig. 6).

Depois de se falar da temperatura do ponto de orvalho, é oportuno refletirmos sobre o uso da palavra orvalho. A expressão usada, por muitos, de que o orvalho cai, pode ser considerada uma maneira figurativa de descrever o processo de formação

do orvalho, mas que não corresponde exatamente ao que ocorre fisicamente na atmosfera. O orvalho não cai, o orvalho forma-se, como se formam as gotículas de água no interior de uma nuvem. O orvalho forma-se diretamente na superfície de objetos quando a sua temperatura é inferior à temperatura do ponto de orvalho do ar húmido. Já, nas escrituras hebraicas, no livro Salmos 133:3 se pode ler “*É como o orvalho do Hermom quando desce sobre os montes de Sião. Sim, ali o Senhor concede a sua bênção, vida para sempre*”. A formação do orvalho é uma bênção para a rega noturna da vegetação. Deus associa-se ao orvalho, como se pode interpretar das suas palavras em Oseias 14:5,6 “*Eu serei para Israel como orvalho, ele florescerá como o lírio, e espalhará as suas raízes como o Líbano. Estender-se-ão os seus ramos, e a sua glória será como a da oliveira, e cheirárá como o Líbano*”.

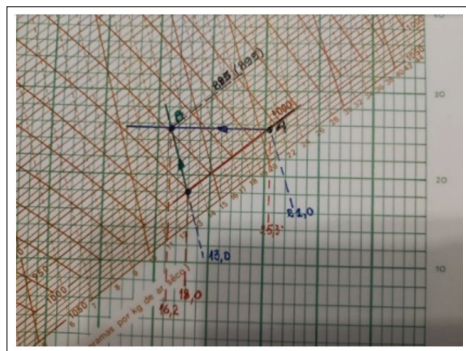


Fig. 6 - Linhas para definir o estado termodinâmico da massa de ar à superfície.

Fig. 6 - Lines to define the thermodynamic state of the air mass.

Resumindo, a massa de ar no seu estado termodinâmico A regista uma temperatura do ar de 25,3°C, de uma humidade relativa de 62,0 %, de uma razão de mistura de saturação de 21,0 g/kg de ar seco, de uma razão de mistura atual ou real de 13,0 g/kg de ar seco e de uma temperatura de ponto de orvalho de 18,0°C ao nível isobárico de 1000 hPa. É importante lembrar que o ponto de orvalho é o melhor indicador para se conhecer a quantidade de vapor de água presente na atmosfera. Falta conhecer para o estado termodinâmico inicial a temperatura do termómetro húmido que indica a saturação da massa de ar. Mostra-se a linha da adiabática saturada ou pseudoadiabática ou temperatura potencial equivalente que identifica a massa de ar (fig. 7). Esta linha passa pelo nível de condensação da massa

de ar quando ascende e define o estado termodinâmico B ao nível de 895 hPa, com uma temperatura potencial equivalente de 20,5°C e temperaturas iguais (do ar, do termómetro húmido e do ponto de orvalho) de 16,2°C e uma humidade relativa do ar de 100,0 %.

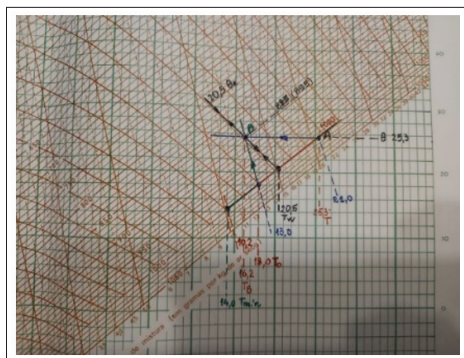


Fig. 7 - Estados termodinâmicos da massa de ar.

Fig. 7 - *Thermodynamic states of the air mass.*

A linha de saturação (temperatura potencial equivalente de 20,5°C) se for prolongada até interseitar a linha de pressão do estado A (1000 hPa), à superfície terrestre, determina a temperatura do termómetro húmido, cujo valor é de 20,5°C (valor muito próximo registado pelo psicrómetro de 20,4°C).

Por último, como exemplo, considere-se que no processo isobárico à superfície há um arrefecimento noturno que regista uma temperatura mínima de uma superfície de 14,0°C.

Surge a questão: ***será que é possível usando um tefigrama determinar a quantidade de vapor que condensa nessa superfície?***

A resposta é imediata e simples de encontrar. Como já foi identificada a razão de mistura atual ou real (13,0 g/kg de ar seco) bastará no tefigrama ver que razão de mistura máxima é atribuída à temperatura mínima de 14,0°C. O tefigrama indica um valor de 10,2 g/kg de ar seco.

Nestes termos, o excesso de vapor de água que foi obrigado a condensar pelo arrefecimento noturno será de (2,8 = 13,0 - 10,2) g/kg de ar seco.

Pode-se assumir, com elevada segurança, um valor típico para a massa volúmica ou densidade absoluta do ar seco de 1,2 kg/m³, à superfície.

Se o valor de 2,8 g/kg de ar seco for multiplicado por 1,2 kg/m³, virá 3,36 g/m³, ou seja, 3,36 gramas de vapor de água condensaram na superfície por cada m³. Conhecido o valor da superfície, facilmente se avalia a espessura da coluna de água que está a cobrir a superfície.

Um exemplo é de manhã, após o “nascer” do Sol, encontrar-se a chapa de uma viatura coberta com uma película de água. Só é possível observar-se a quantidade de vapor de água condensado se, durante a noite, a temperatura da chapa registar uma temperatura mínima inferior à temperatura do ponto de orvalho do ar húmido. Mas este processo exige que durante a noite haja transparência da atmosfera e ausência de vento.

Uma outra questão problema trabalhada teve de ver: “*Será que granizo e saraiva são duas maneiras iguais de dizer que ocorreu o mesmo processo físico?*”.

Esta questão, durante o curso mereceu muita atenção, devido às ideias de natureza firmadas por concepções alternativas. Semelhante é considerada, nos canais de comunicação, quer pelos media, quer por alguns dos chamados especialistas afirmarem que o ar seco potencia os incêndios. Uma certeza deve ser esclarecida, não há vida no planeta Terra se o ar for seco. A meteorologia ensina que o ar é húmido e deve ser assumido e constituído por dois gases, o ar seco e o vapor de água (Iribarne e Godson, 1981; McIntosh e Thom, 1981).

A pressão atmosférica é assumida como sendo a soma da pressão parcial do ar seco (tomada como constante) e da pressão parcial do vapor de água (tomada como variável).

Nestes termos, para esclarecer o enigma entre o granizo e a saraiva, e para a transmissão de conhecimentos científicos ser correta, é bom esclarecer como se procedem os dois processos termodinâmicos.

Cientificamente é assumido que são vários os processos termodinâmicos que conduzem ao crescimento de gotículas de água e cristais de gelo no interior das nuvens.

Quando as gotículas de água e cristais de gelo adquirem peso suficiente, iniciam o seu movimento de queda até saírem da nuvem. Ao saírem desta, vão começar a ter o deslocamento em zonas em que o ar não está saturado, pelo que haverá tendência para a ocorrência de evaporação, diminuindo o tamanho da gota de água. Há situações em que muitos flocos de neve ou gotas de água acabam por evaporar por completo antes de atingirem o solo. Neste caso não ocorre precipitação.

São, essencialmente, as nuvens chamadas de nimbostratos e cumulonimbos que favorecem a produção de precipitação, pois são nuvens que reúnem condições suficientes para que as gotas de água ou flocos de neve atinjam tamanho suficientemente à saída da nuvem, o que permite atingir o solo. A precipitação pode variar de fraca a forte, dependendo do tamanho das gotas de água ou dos flocos de neve ou dos cristais de gelo que atingem o solo.

Saraiva e granizo não são sinónimos da mesma forma de precipitação, pois são bastante diferentes os processos que conduzem à formação de ambos.

Granizo

O granizo é uma forma de precipitação que ocorre no estado sólido. O processo que conduz à queda de granizo é complexo.

O granizo só se forma nas nuvens cumulonimbos. Estas são nuvens que têm um grande desenvolvimento vertical e onde existem correntes de ar ascendentes bastante fortes (fig. 8). Devido ao seu elevado desenvolvimento vertical, em muitos dos casos a linha de temperatura de 0°C encontra-se no interior da nuvem, fator que irá ser importante no processo de formação do granizo (Ahrens, 1999; Ahrens e Henson, 2019).

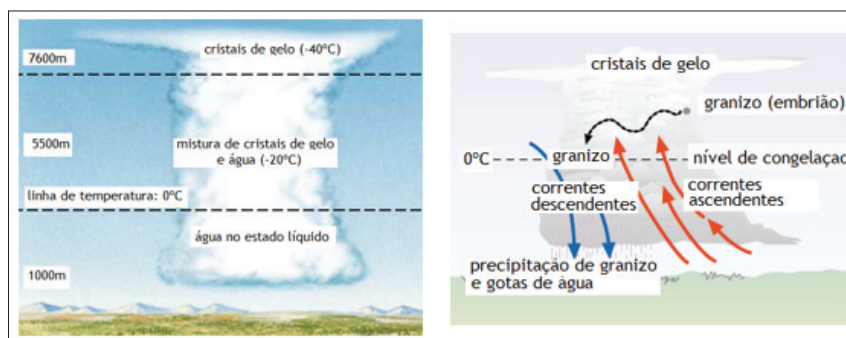


Fig. 8 - Termodinâmica numa nuvem cumulonimbus, adaptado (Fonte: Ahrens, 1999; Ahrens e Henson, 2019).

Fig. 8 - Thermodynamics in a cumulonimbus cloud, adapted (Fonte: Ahrens, 1999; Ahrens and Henson, 2019).

A nuvem cumulonimbo apresenta uma extensão vertical, tendo, no topo, um aspeto de uma bigorna. O desenvolvimento das nuvens de tempestade dá-se em áreas da atmosfera de tempo instável, mediante a aproximação de uma massa de ar frio sobre uma região onde se encontra estacionada uma massa de ar quente, formando então uma frente fria. Nessas condições, em que há energia sob a forma de calor intenso e uma grande disponibilidade de humidade relativa do ar, as massas de ar quente e húmido elevam-se na atmosfera e dão origem ao cumulonimbos. Estes são estruturas com base formada de cerca de 1 km a 2 km partindo do solo e uma altitude que chega a cerca de 16 km. Dentro dessas nuvens, circulam correntes de ar que carregam as gotículas de água e cristais de gelo em todas as direções, dando origem à formação do granizo (fig. 8).

No topo da nuvem, os movimentos ascendentes são mais fracos e as pedras de gelo ou granizo voltam a iniciar novamente o percurso de queda. O granizo só abandonará a nuvem quando adquirir peso suficiente para romper as barreiras dos fortes movimentos ascendentes de ar, pelo que o ciclo se pode repetir algumas vezes.

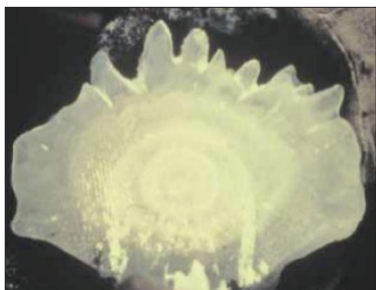
De notar que, noutras nuvens que não sejam cumulonimbos, a linha de temperatura de 0°C pode-se encontrar também no seu interior. No entanto, estas nunca terão desenvolvimento vertical suficiente para fazer com que o ciclo, de subida e de descida, que conduz à formação do granizo se realize, por isso o granizo só se forma nos cumulonimbos.

O congelamento e fusão sucessiva que o granizo sofre no interior das nuvens cumulonimbus vão determinar a sua estrutura, fazendo com que as pedras de gelo sejam constituídas por camadas de gelo que são alternadamente translúcidas e opacas (tipo camadas de cebola).

As camadas translúcidas formam-se nas zonas mais baixas da nuvem, quando a parte exterior da pedra de gelo, ao ascender para zonas mais frias, congela. Neste caso, o congelamento é considerado lento e, por isso, a camada torna-se translúcida. O tamanho e o número de camadas dependem do tempo que os cristais de gelo permanecem no interior da tempestade. Nas camadas mais altas, quando as pedras de gelo colidem com gotículas de água superarrefecida, o congelamento destas é praticamente instantâneo, o que origina uma camada opaca pelo processo de acreção (processo do crescimento de gotas de água, na nuvem).

O tamanho do granizo pode variar desde um tamanho pequeno, tipo ervilhas, até tamanhos maiores, tipo toranjas. Claro está que, quanto maior for o número de ciclos de movimentos ascendentes e descendentes no interior da nuvem, maior será o tamanho e o número de camadas (fot. 2).

Numa escala, usando uma mão, mostra-se um tamanho de “pedras” de granizo (fot. 3).



Fot. 2 - Estrutura, em corte, de granizo de um cumulonimbus

(Fonte: Ahrens e Henson, 2019).

Photo 2 - *The layered structure of the hailstone in a cumulonimbus*
(Source: Ahrens and Henson, 2019).



Fot. 3 - Granizo (<https://conceitos.com/wp-content/uploads/2015/04/Granizo.jpg>).

Photo 3 - *Hailstorms* (<https://conceitos.com/wp-content/uploads/2015/04/Granizo.jpg>).

Saraiva

A saraiva é outra forma de precipitação que ocorre no estado sólido. A sua estrutura e o seu processo de formação diferem em relação à neve e ao granizo.

A estrutura da saraiva é constituída por pequenas pedras de gelo totalmente translúcidas (fot. 4).



Fot. 4 - Saraiva

(Fonte: Ahrens e Henson, 2019).

Photo 4 - *Freezing rain, sleet*
(Source: Ahrens e Henson, 2019).

O processo de formação da saraiva é similar ao da chuva e ao da neve, ou seja, inicialmente começam por cair flocos de neve da base de uma nuvem. Esses flocos de neve vão depois fundir durante o seu movimento de queda, após passarem a linha de temperatura de 0°C (fig. 9).

Na troposfera, a temperatura do ar aumenta à medida que nos aproximamos do solo. Por vezes, podem ocorrer inversões de temperatura, isto é, locais onde a temperatura do ar diminui quando se aproxima da superfície terrestre e é esta característica que vai permitir a formação de saraiva.

Se, após a fusão do floco de neve, durante o seu movimento de queda, se atingir uma zona onde exista uma inversão de temperatura, a linha de temperatura de 0°C pode ser novamente atingida, fazendo a gota de água entrar numa zona onde as temperaturas são novamente inferiores a 0°C. Se isso acontecer, e se a linha de temperatura de 0°C estiver a uma distância suficientemente afastada do solo, de modo que a gota de água tenha tempo para congelar novamente, formar-se uma pedra de gelo ou saraiva. Como, neste caso, o arrefecimento é efetuado de forma lenta, a saraiva irá ser totalmente translúcida (Ahrens, 1999; Ahrens e Henson, 2019). Todo este processo está esquematizado na figura 9.

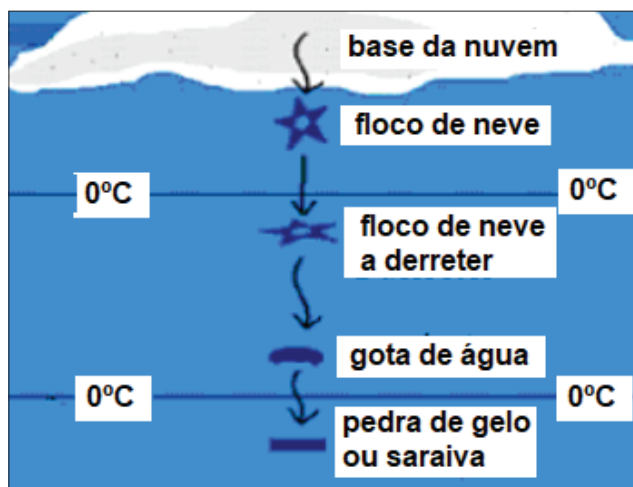


Fig. 9 - Processo que conduz à formação de saraiva
(Fonte: adaptado de Ahrens e Henson, 2019).

*Fig. 9 - Process that leads to sleet formation – freezing rain,
(Source: adapted from Ahrens and Henson, 2019).*

O tamanho da saraiva é determinado pelo tamanho dos flocos de neve a partir da saída destes da base da nuvem.

Como a saraiva é geralmente formada em nuvens (essencialmente, nimbostratos) onde as correntes ascendentes de ar são menos fortes do que nas cumulonimbos, o seu tamanho irá ser inferior ao granizo.

Reflexão dos temas abordados durante o curso

Os temas, complementares, permitiram consolidar conhecimentos e abordagens científicas diversificadas e inovadoras sobre aspetos relevantes do funcionamento da atmosfera e das implicações que aportam ao ser humano enquanto elemento que contribui direta e indiretamente para os fenómenos atmosféricos, meteorológicos e climáticos, e que também sofre as consequências dessas mesmas alterações produzidas por meio das atividades humanas como a agricultura, a indústria, a produção de energia, transportes entre outros.

Como se fosse aplicada a técnica da alavanca inter-resistente as questões consideradas de complexas, foram abordadas de formas simples, mas não simplistas. Esta estratégia permitiu que ao longo da formação se pudesse clarificar algumas ideias e conceitos que são úteis para a prática docente letiva, no trabalho a vivenciar com os alunos, numa perspetiva para a educação para o risco.

Na realidade, a questão da transposição didática de conhecimentos científicos, que na sua formulação cartesiana e matemática se revestem de lógica que pode, por vezes, ser difícil de se fazer a entender a adolescentes e jovens, foi uma questão que, não estando claramente enunciada nos conteúdos da formação, por diversas vezes, foi abordada no decorrer das sessões do curso. Cita-se a questão da utilização dos instrumentos digitais versus analógicos; a questão da propagação do erro nos dados recolhidos através de ferramentas e instrumentos digitais e os desvios que podem provocar na análise de variáveis tão sensíveis como os parâmetros meteorológicos. Destacam-se, ainda, os conceitos de massa/volume de ar e as transformações que sofre uma massa de ar ou parcela de ar em termos de volume, saturação e temperatura na atmosfera, bem como as consequências que a sua deslocação numa coluna de

ar pode acarretar em termos de variabilidade de estados de tempo (condensação, formação de nuvens e precipitação, sob as mais diversas formas). Ainda sobre este tema, foi muito interessante a discussão que se gerou a partir dos conceitos de granizo e saraiva e das formas de distinguir um do outro. Ao contrário do que os manuais de ensino básico da disciplina de Geografia divulgam, a dimensão das pedras de gelo não é o critério que deverá ser utilizado para fazer a distinção mas, antes o processo de formação nas nuvens que levará à formação de pedras de gelo cristalinos ou de pedras de gelo formadas por sucessivas camadas formadas em redor de um núcleo de condensação devido aos movimentos ascendentes e descendentes de cristais de gelo, dentro de nuvens de forte desenvolvimento vertical, do tipo cumulonimbus.

A construção da informação física desenvolvida nos tefigramas ou diagramas aerológicos a partir de leitura de valores de temperatura em instrumentos como o psicómetro, para o cálculo e obtenção de valores de temperatura do ponto de orvalho e do nível de condensação livre ou nível de formação da base das nuvens, foi uma atividade que permitiu consolidar muitos dos conteúdos abordados durante a licenciatura.

Também, a utilização de modelos de comportamento de massas de ar na atmosfera, da leitura dos valores das variáveis meteorológicas (através de instrumentação analógica e digital) representou um importante contributo para a elaboração de previsões meteorológicas, em conjunto com a utilização de imagens de satélite e a representação dessas massas de ar em cartas de superfície, assinalando os centros de pressão barométrica, as isóbaras ou linhas isobáricas e as frentes, se as houver. Foram atividades muito interessantes para desenvolver com alunos do ensino secundário, caso se apresente essa possibilidade.

Apesar de todas estas ferramentas, construir modelos matemáticos para prever algo, que na sua essência é imprevisível, por que todos os seus elementos influenciam e são influenciados uns pelos outros, tornou a missão de quem tem de prever as condições atmosféricas numa tarefa muito difícil, porém desafiante e interessante.

Importante, também, será desenvolver, nas práticas letivas com os alunos, a capacidade de “ler” o céu, de sentir (usando os sentidos), a forma como as variáveis climáticas se comportam ao longo de períodos de diferentes durações (dia/mês/ano e anos sucessivos) e aí tentar encontrar padrões. Em jeito de conclusão, recuperar o

conhecimento empírico e os métodos expeditos de análise e previsão das condições meteorológicas que as gerações anteriores à digitalização dos processos da ciência e do conhecimento, possuíam. Aí residirá uma poderosa ferramenta capaz de “ligar” novamente a nossa espécie ao planeta, retirando os olhos dos ecrãs e colocando-os nas manifestações da natureza, sintonizando-nos com ela e contribuindo dessa forma para um melhor equilíbrio na relação entre a Humanidade-Natureza e entre os elementos do ser humano, permitindo e incentivando o fluir energético entre toda a Criação.

Sejamos capazes de viver ligados com a Terra e não apenas na e da Terra.

Considerações finais

A pertinência da realização desta ação de formação num território, por muitos considerado (ultra)periférico onde, por vezes, a oferta formativa específica para alguns grupos de docência é escassa. Assim, os parabéns à RISCOS e ao formador, pela promoção da ação e pela total disponibilidade manifestada ao longo de toda a formação para esclarecer os formandos, pelo envolvimento no grupo ao longo da ação, e pela partilha generosa promovida nas sessões e após as mesmas, com a disponibilização dos materiais que usou na apresentação dos conteúdos.

Muito importante a atualização científica dos conhecimentos e o “espicaçar” da curiosidade e vontade de saber mais e ir mais além, fazendo mais e melhor, sem perder nunca a capacidade de análise e o espírito crítico.

Sem dúvida, será uma mais-valia para enfrentar cada ano letivo, suscitando questões e impelindo à ação junto dos alunos na busca por respostas para as tantas questões com que somos desafiados diariamente.

Com o laboratório gratuito e de fácil acesso, a Atmosfera, pretendeu-se que os formandos alcançassem os seguintes objetivos: possam questionar os fenómenos atmosféricos que observam no seu dia-a-dia; possam, através de processos físicos e químicos, fazer interpretações científicas do que observam na atmosfera; possam identificar que condições durante a noite favorecem a formação de orvalho e da geada; possam derrubar conceitos assumidos como conceções alternativas (exemplo: está a orvalhar; durante a noite caiu geada, não saber distinguir a formação de

granizo e da saraiva); possam usar e construir instrumentos de baixo custo para avaliarem as condições termohigrométricas do ar; possam respeitar a natureza com base na sustentabilidade de uma vida saudável e possam avaliar e prever o ambiente térmico que os rodeia em termos de frio, confortável e quente, numa perspetiva de Educação para o Risco e proteção da Saúde Pública.

Reconheceu-se que a Proteção Civil deve aconselhar às populações estratégias de segurança e emitir avisos com a devida antecedência. Apresenta-se um exemplo: perante uma tempestade de granizo, deve-se procurar um abrigo com uma cobertura segura e resistente. Não é aconselhável o abrigo debaixo de árvores (pode haver queda de galhos e também de raios gerados no cumulonimbo, em virtude de o granizo estar associado a tempestades). As viaturas não devem ser estacionadas próximas de torres de transmissão de energia elétrica. Deve ser evitada a circulação em ruas ou avenidas onde há acumulação de “pedras” de gelo no solo. Se alguém verificar que há o risco de desabamento de telhados e outras estruturas, deve-se avisar de imediato as pessoas dessa área de risco e comunicar ao Corpo de Bombeiros e a Proteção Civil.

Agradecimentos

Aos professores que estiveram presentes no curso da formação específica, por acreditarem que seria mais uma ponte para a sua caminhada de construção de conhecimento e a sua entrega pela partilha de ideias e questões problema. A uniformidade que se atingiu tendo por base tão diversificadas áreas de intervenção. À Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança e ao Centro de Formação de Professores da RISCOS, ao Jardim-Escola João de Deus de Ponta Delgada, ao Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores da Universidade de Aveiro (CIDTFF/UA), à Direção Regional da Educação e Administração Educativa dos Açores e a todo o staff da escola anfitriã que se envolveu no êxito do curso de formação específico.

Um autor agradece o trabalho financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UIDB/00194/2020 (CIDTFF).

Bibliografia

- Ahrens, C. D. (1999). *Essentials of meteorology – an invitation to the atmosphere*. 3ª Edition. Editor Thomson, 468 p.
- Ahrens, C. D. e Henson, R. (2019). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. 13 Ed. Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, USA.
- Deslie, R. (2000). *Como realizar a aprendizagem baseada em problemas*. Edições ASA, S.A.
- Eskinazi, S. (1997). *Fluid mechanics and thermodynamics of our environment*. Academic Press, New York.
- Felício, R. A. (2009). CO₂ virou poluente? Automóveis e cidades. In: Aula 12 do curso de graduação em Geografia: Mudanças Climáticas Globais e Implicações Atuais. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo: USP.
- Felicio, R. A. (2014). “Mudanças Climáticas” e “Aquecimento Global” – Nova Formação e Paradigma para o Pensamento Contemporâneo? *Ciência e Natura, Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas* – UFSM. ISSN: 0100-8307. Santa Maria, v. 36 Ed. Especial, 257–266
- Felício, R. A. e Onça, D. S. (2010). “Aquecimento Global”, “Mudanças climáticas” e “Caos Ambiental” Justificando o Falso “Desenvolvimento Sustentável”: A Teoria da Triade. *VI Fórum Ambiental da Alta Paulista*. ANAP – Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista. ISSN 1980-0827. 585-605
- Hodson, D. (1998). Science fiction: The continuing misrepresentation of science in the school curriculum. *Curriculum Studies*.
- Holton, J.R. (2004). *Introduction to Dynamic Meteorology*. 4th Edition, Elsevier, Amsterdam, 535 p.
- IPCC (2023). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 36 p.
- Iribarne, J. V. e Cho, H. R. (1980). Atmospheric physics. R. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Iribarne, J. V. e Godson, W. L. (1981). *Atmospheric thermodynamics, Geophysics and Astrophysics Monographs*. vol 6, R. Reidel Publishing Company, London.
- IQBal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press, Ontario.
- Lino, G.L. (2010). *A fraude do aquecimento global*. 2ª edição. São Paulo: Capax Dei, 146 p.
- Machado, A. J. e Felício, R. A. (2011). Ambientes atmosféricos modificados pelo homem e suas verdadeiras implicações. *V Fórum Ambiental da Alta Paulista*. ANAP – Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista. ISSN 1980-0827. Vol 07, N 08, 1213-1230.
- McIntosh, D. H. e Thom, A. S. (1981). *Essentials of meteorology*. The Wykeham Sciences Series, Taylor and Francis, Ltd, London.
- Morgado, M., Talaia, M. e Teixeira, L. (2015). A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.1>
- Pardal, L. e Lopes, E.S. (2011). *Métodos e Técnicas de Investigação Social*. Porto: Areal Editores.
- Rogers, R. R. (1976). A short course in cloud physics. *International Series in Natural Philosophy*, vol 84, Pergamon Press, Oxford.
- Salby, M. L. (1995). Fundamentals of atmospheric physics. vol 61 in the *International Geophysics Series*, Edited by Renata Dmowska and James R. Holton, Academic Press, Inc., London.

- Talaia, M. e Augusto, A. (2018). Ensino e aprendizagem a partir da análise de uma situação meteorológica de risco máximo. In *Educação para a Redução dos Riscos*, série Estudos Cindínicos, Vol. 2, ISSN 2184-5727. Editor: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra, 95-109. DOI: https://doi.org/10.34037/978-989-54295-1-6_2_5
- Talaia, M. (2020). Efeitos do ambiente térmico no conforto e desempenho: um estudo empírico numa escola secundária. In *Redução do Risco de Desastres e a Resiliência no meio Rural e Urbano*, Editora do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, Brasil, 246-257.
- Talaia, M. (2021). Como parâmetros que definem um Ambiente Térmico potenciam riscos: estudo de casos. In *Geografia, Riscos e Proteção Civil. Homenagem ao Professor Doutor Luciano Lourenço*, volume 2., ISBN: 978-989-9053-05-2, ISBN digital: 978-989-9053-06-9, Depósito Legal: 487457/21-Editor: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra, 503-516. DOI: https://doi.org/10.34037/978-989-9053-06-9_1.2_36
- Talaia, M. (2022). Desenvolvimento de competências para o risco através de questões problema. Um estudo de caso na educação escolar. *Territorium – Revista Internacional de Riscos*, 29(I): Agir hoje para proteger o amanhã, ISSN: 0872-8941. Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, IUC – Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 13-22. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_29-1_2
- Talaia, M. (2025). Contribuição na interpretação física de um leito fluidizado como risco de movimento de areias. Exemplo num estudo de caso. Livro *Risco de Movimentos em Vertentes. Aprender com o Passado*, volume da série “Estudos Cindínicos”, ISSN 2184-5727. Editor: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra, 97-118. DOI: https://doi.org/10.34037/978-989-9053-30-4_16_05
- UNITED STATES SENATE. U. S. (2008). Senate minority report: more than 650 international scientists dissent over man-made global warming claims scientists continue to debunk “consensus” in 2008. U.S. Senate Environment and Public Works Committee Minority Staff Report.
- Vilelas, J. (2009). *Investigação: O processo de construção do conhecimento*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Zohar, A. Weinberger J. e Tamir, P. (1994). The Effect of the Biology Critical Thinking Project on the Development of Critical Thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (2), 183-196.
- Wilks, D.S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2nd edition, Amsterdam: Elsevier.
- West, S. (1992). Problem-Based Learning: a viable addition for secondary school science. *School Science Review*, 73(265), 47-55.

CONCLUSÃO

Bruno Martins

Universidade de Coimbra, CEGOT e RISCOS (Portugal)
Faculdade de Letras, Departamento de Geografia e Turismo
ORCID: 0000-0001-8681-2349 bmscmartins@gmail.com

Ao encerrarmos mais um volume da coleção "Estudos Cindínicos" dedicado à água e aos riscos que lhe estão associados, importa destacar a relevância desta obra, não apenas enquanto síntese científica e recurso didático para o ensino universitário, mas também como instrumento de sensibilização da sociedade para a problemática.

Como ficou demonstrado nos diversos capítulos que compõem este volume, a ocorrência de fenómenos naturais de elevada intensidade impõe sérios constrangimentos ao normal funcionamento das atividades humanas, conduzindo, em muitos casos, à destruição de infraestruturas, a perdas económicas significativas e, tragicamente, à perda de vidas humanas. A frequência e recorrência com que estes fenómenos têm ocorrido, sobretudo nas últimas décadas, tornam-nos facilmente identificáveis e incontornáveis no contexto global atual.

Entre os muitos exemplos que poderiam ser inumerados, destacam-se as cheias na província de Punjab, no Paquistão, em agosto de 2025, que provocaram mais de 300 mortes, inundaram milhares de aldeias e afetaram milhões de pessoas, com impactos devastadores na agricultura. Em Mokwa, na Nigéria, as inundações foram ainda mais letais, com mais de 500 mortos, centenas de desaparecidos e milhares de habitações destruídas. Também na Austrália, as cheias que afetaram Queensland entre janeiro e abril de 2025 causaram pelo menos 33 vítimas mortais e prejuízos superiores a 1,2 mil milhões de dólares. Por outro lado, a seca que atualmente assola as regiões oriental e meridional de África afeta cerca de 90 milhões de pessoas, provocando insegurança alimentar aguda e gerando impactos significativos na saúde pública e na economia.

Estes e muitos outros exemplos apresentados ao longo da obra reforçam a atualidade e urgência do tema, justificando o seu estudo aprofundado e a sua

ampla divulgação. Este volume pretende, assim, ser um contributo relevante não só para a comunidade científica e académica, mas também para o público em geral, que aqui encontrará informação essencial para a sua própria proteção e para a resiliência das suas comunidades.

SÉRIE ESTUDOS CINDÍNICOS

Títulos Publicados:

- 1 *Incêndios em Estruturas. Aprender com o Passado;*
- 2 *Educação para a Redução dos Riscos;*
- 3 *Metodologia de Análise de Riscos através de Estudos de Casos;*
- 4 *Riscos Hidrometeorológicos;*
- 5 *Pluralidade na Diversidade de Riscos;*
- 6 *Risco Sísmico - Aprender com o Passado;*
- 7 *Territórios em Risco;*
- 8 *Resiliência ao Risco;*
- 9 *Madeira Região Resiliente. Aprender com o Passado;*
- 10 *Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais. Aprender com o Passado;*
- 11 *Análise e Modelação de Risco no Ordenamento do Território;*
- 12 *Perceção e Planeamento na Redução e Gestão do Risco de Catástrofes;*
- 13 *As Paisagens dos Riscos Sociais. Educar para diminuir a Vulnerabilidade;*
- 14 *Educação para o Risco: Práticas e Projetos;*
- 15 *Riscos, Proteção Civil e Cultura de Segurança: Discursos e Práticas no Portugal Democrático;*
- 16 *Risco de Movimentos em Vertentes. Aprender com o Passado,*
- 17 *Riscos e Saúde: Perspectivas Globais e Respostas Locais;*
- 18 *Riscos, Ambiente e Proteção Civil: uma Perspetiva Tecnológica;*
- 19 *Riscos, Água e Sociedade. Dinâmicas Socioambientais em Contextos de Incerteza.*

Tomos em preparação:

- 20 *Geografia dos Incêndios Florestais. 50 anos de Incêndios a queimar Portugal;*
- 21 *Efeitos dos Incêndios Florestais nos Solos de Portugal;*
- 22 *Floresta, Incêndios e Educação;*
- 23 *Redução do Risco e Educação.*



Adélia Nunes é Professora Catedrática de Geografia Física na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, onde desenvolve atividades de docência e investigação. Ingressou na carreira docente universitária em 1999, tendo concluído o Mestrado em Geografia Física em 2001 e o Doutoramento em Geografia em 2007.

As suas principais áreas de investigação centram-se na análise da dinâmica da paisagem, na avaliação de riscos naturais e mistos e na gestão de recursos naturais. É autora de várias dezenas de publicações, entre as quais se incluem capítulos de livros e artigos em revistas científicas de referência.



António Vieira é licenciado em Geografia e Mestre em Geografia Física pela Universidade de Coimbra e Doutor em Geografia, também pela Universidade de Coimbra. Professor Associado no Departamento de Geografia da Universidade do Minho, e diretor da Licenciatura de Proteção Civil e Gestão do Território.

Principais tópicos de investigação: os riscos naturais, processos erosivos na sequência de incêndios florestais e medidas de mitigação, geomorfologia e património geomorfológico, e alterações do uso do solo.



Bruno Martins é Licenciado em Geografia, com especialização em Gestão dos Riscos Naturais, pela Faculdade de Letras da Universidade do Porto, e Doutorado em Letras, especialidade Geografia (Geografia Física), pela Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. Docente convidado em várias Universidades (Porto, Coimbra e Lusófona do Porto) e Institutos. É investigador do NICIF - Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, da Universidade de Coimbra, do CEGOT - Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (Universidades de Coimbra e Porto).



João Luís Fernandes é Licenciado em Geografia, concluída em 1990, na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, onde também defendeu, em 1996, a tese de Mestrado. É Doutor em Geografia com a tese “Território, desenvolvimento e áreas protegidas – a Rede Nacional de Áreas Protegidas e o caso do Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros”, pela Universidade de Coimbra. É Professor Auxiliar do Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

Tem desenvolvido trabalho nas áreas da Geografia Cultural e da Geografia Política



Fátima Velez de Castro é licenciada em Geografia (Especialização em Ensino), Mestre em Estudos sobre a Europa, Doutora em Geografia e Pós-Doutorada em Literatura.

Trabalha como Professora Auxiliar no Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, onde é membro da Comissão Científica.

Os seus principais temas de investigação são na área do Ensino de Geografia (formação inicial docente); Geografia e Riscos Sociais; Geografia das Migrações.



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA



estudos
CINDÍNICOS