

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 costeira, 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!

**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

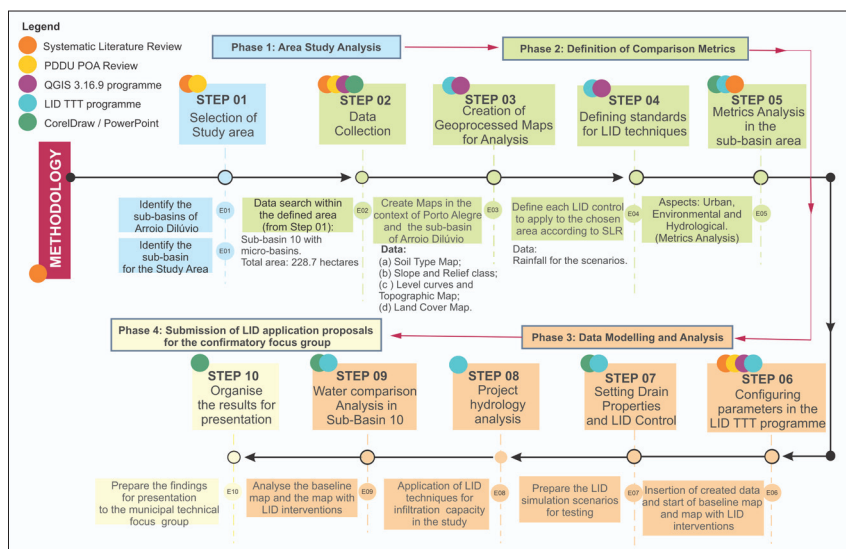


Fig. 1 - Proposed methodology for LID applications in controlling urban flooding.

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.

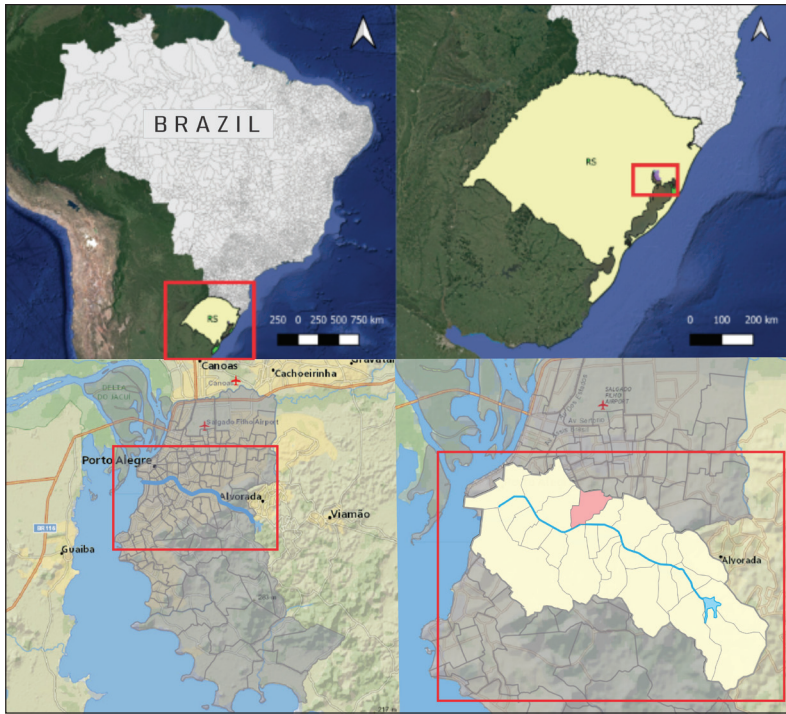


Fig. 2 - Research Study Area (Source: Created in QGIS Software in 2023).

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).

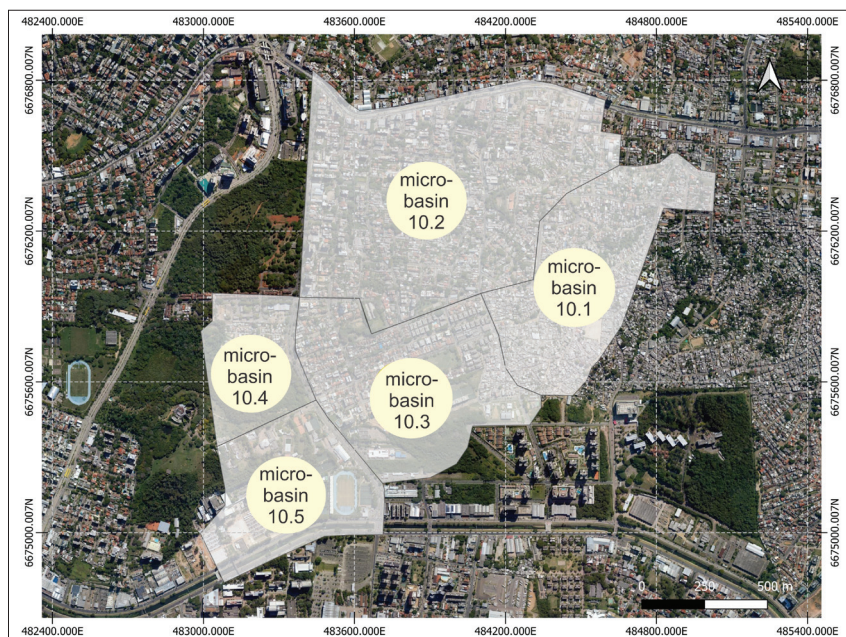


Fig. 3 - SB-10 of Arroio Dilúvio with its micro-basins
(Source: Map prepared by the Authors in QGIS, 2023).

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).

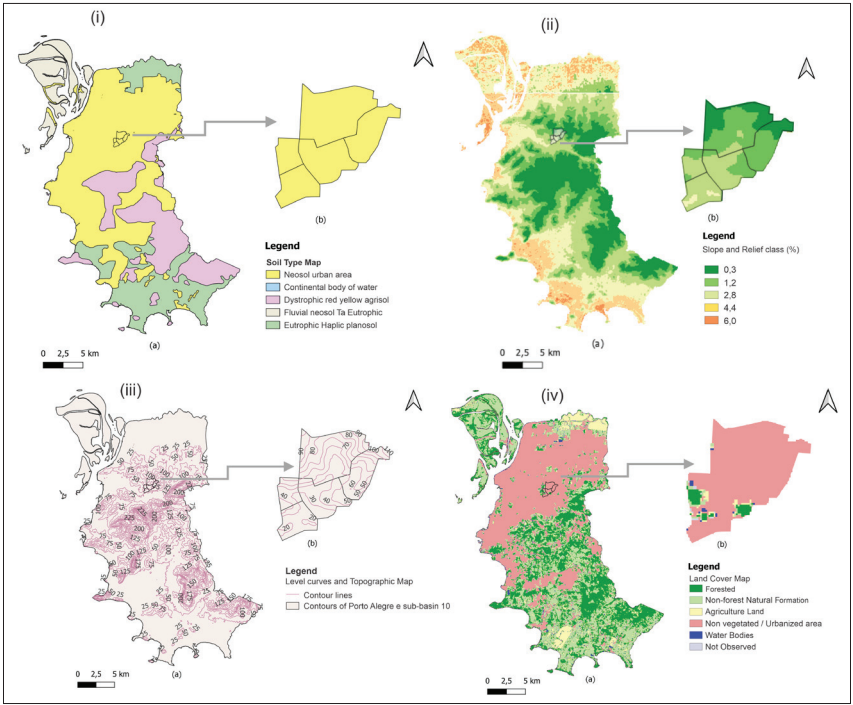


Fig. 4 - Maps with indicators of the Arroio Dilúvio sub-basin
(Source: Produced by the Authors, 2023).

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.

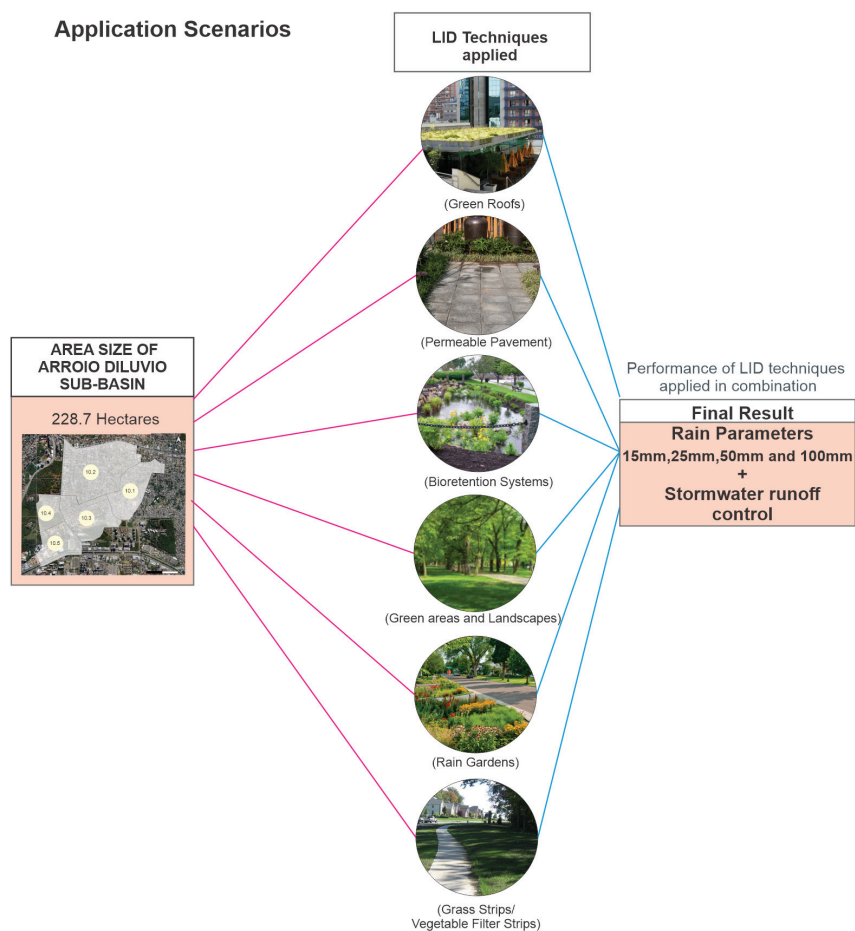


Fig. 5 - Consistency model of LID Techniques.

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.

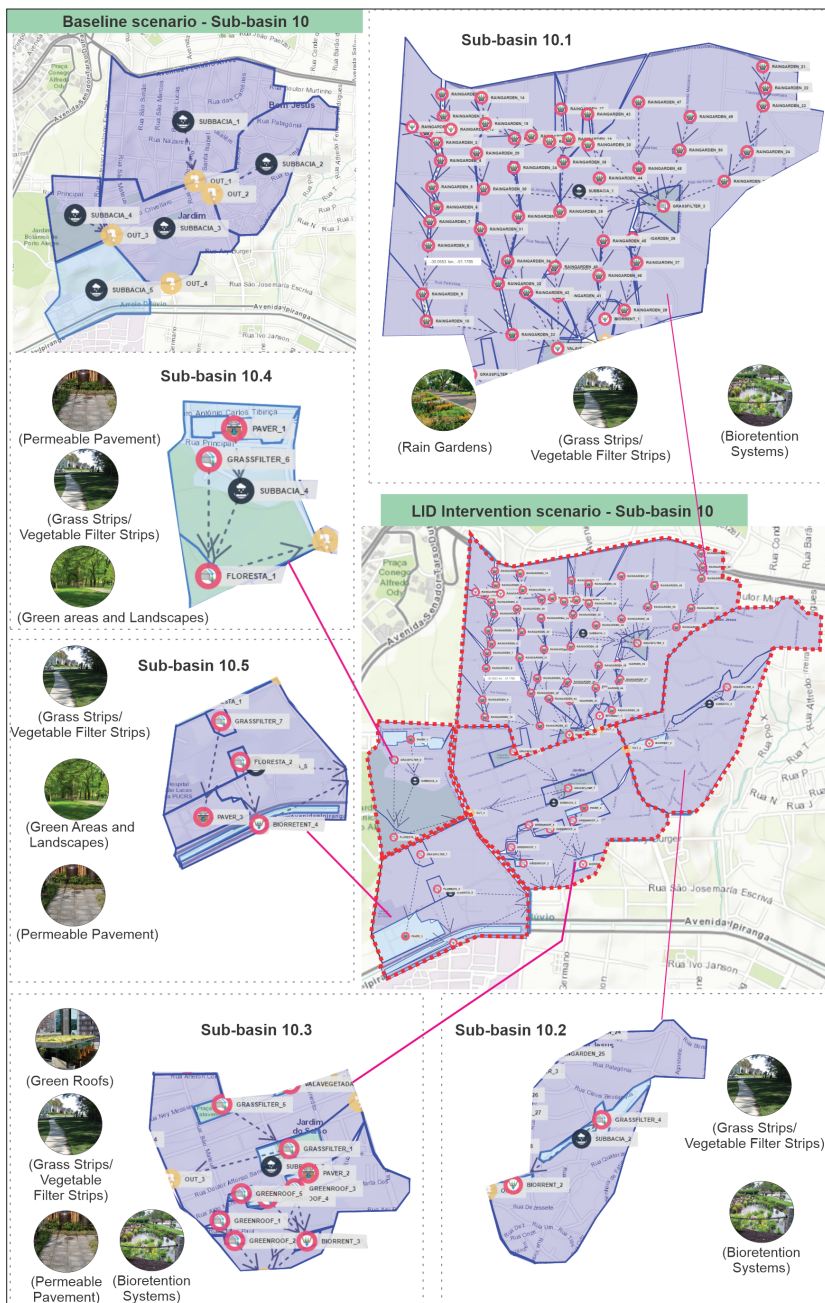


Fig. 6 - Baseline and LID intervention scenarios for Sub-basin 10.

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”.

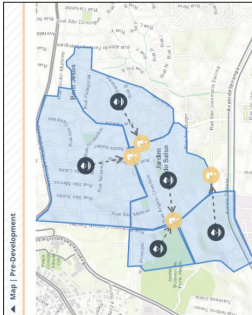
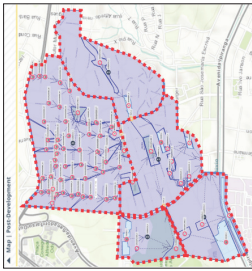
Also noteworthy is that using the LID TTT software, all flow volumes with values exceeding 60 % demonstrated a significant sustainable improvement in the scenario, meeting the flow volume criteria. Regarding the 50 mm parameters, the rains managed to meet 40.24 % of the runoff value classification, while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

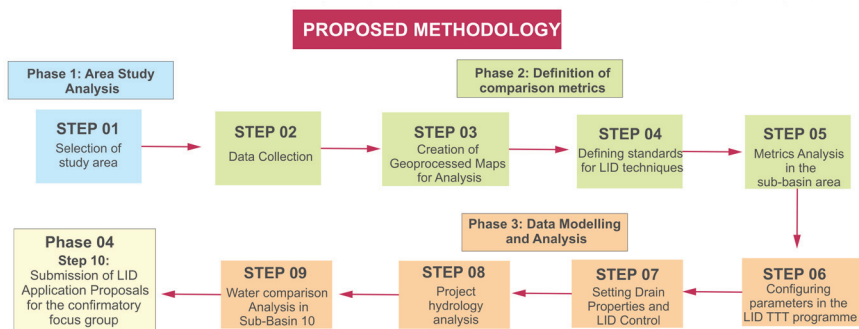


Fig. 7 - Summary of the Proposed Methodology.

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>

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