



# **Modelagem de Sistema de Drenagem com Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)**

## ***Drainage System Modeling with Low Impact Development (LID)***

### ***Modelado de Sistemas de Drenaje con Desarrollo de Bajo Impacto (LID)***

JÚNIOR, James de Melo Sampaio<sup>1</sup>  
MORGADO, Rodrigo dos Santos<sup>2</sup>  
REIS, Marcelo de Miranda<sup>3</sup>  
DIOGO, Francisco José d`Almeida<sup>4</sup>  
PAZ, Igor da Silva Rocha<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.  
melo.james@ime.eb.br  
ORCID ID: 0000-0002-2115-4098

<sup>2</sup>Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.  
morgado.rodrigo@ime.eb.br  
ORCID ID: 0000-0003-3325-8481

<sup>3</sup>Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Ciência e Tecnologia, Engenharia de Fortificação e Construção, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.  
marceloreis@ime.eb.br  
ORCID ID: 0000-0003-3875-9189

<sup>4</sup>Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Ciência e Tecnologia, Engenharia de Fortificação e Construção, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.  
cel.diogo@gmail.com  
ORCID ID: 0009-0002-7354-6453

<sup>5</sup>Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Ciência e Tecnologia, Engenharia de Fortificação e Construção, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.  
igorpaz@ime.eb.br  
ORCID ID: 0000-0001-7233-3515

Recebido em 28/02/2023. Aceito em 14/06/2023



## Resumo

A modelagem hidrológica, empregando-se softwares como o Storm Water Management Model (SWMM), tornou-se uma ferramenta de destaque para prever eventos em bacias, contribuindo para reduzir perdas humanas em desastres e evitar gastos ineficazes em obras. Este artigo objetivou apresentar e discutir a aplicação do modelo SWMM a um estudo de caso de gestão de águas pluviais para um projeto de loteamento com cerca de 36 ha, no bairro de Guaratiba/RJ. Modelou-se o anteprojeto de uma rede de drenagem para a região simulando-se uma chuva intensa com tempo de retorno de 10 anos e duração de 10 minutos. Buscou-se então integrar e comparar os resultados críticos encontrados às possíveis melhorias provenientes do emprego de técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development - LID) relativas a pavimentos permeáveis na modelagem. Para um mesmo tempo de retorno, houve diminuição das vazões de pico em até 34,53%, além de diminuições de volumes totais no sistema em até 28,73% para tempos de retorno de 10, 20 e 50 anos, demonstrando que a adoção de LIDs em projetos de drenagem em geral permeia estágios de inundações mais suaves.

**Palavras-Chave:** Drenagem; Chuva; Pavimentação; Planejamento de Recursos Hídricos.

## Abstract

*Hydrological modeling, using softwares such as the Storm Water Management Model (SWMM), has become a prominent tool to predict events in basins, helping to reduce human losses in disasters and avoid ineffective spending on works. This article aimed to present and discuss the application of the SWMM model to a case study of rainwater management for an allotment project with about 36 ha, in the neighborhood of Guaratiba/RJ. The preliminary design of a drainage network for the region was modeled by simulating an intense rainfall with a return period of 10 years and duration of 10 minutes. It was sought to integrate and compare the critical results found to the possible improvements resulting from the use of Low Impact Development (LID) techniques related to permeable pavements in the modeling. For the same return time, there was a decrease in peak flows of up to 34,53%, in addition to decreases in total volumes in the system of up to 28.73% for return times of 10, 20 and 50 years, demonstrating that the adoption use of LIDs in drainage projects generally permeates stages of softer floods.*

**Keywords:** Drainage; Rain; Paving; Water Resources Planning.

## Resumen

*El modelado hidrológico, utilizando softwares como el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM), se ha convertido en una herramienta destacada para predecir eventos en cuencas, ayudando a reducir pérdidas humanas en desastres y evitar gastos ineficaces en obras. Este artículo tuvo como objetivo presentar y discutir la aplicación del modelo SWMM a un estudio de caso de gestión de aguas pluviales para un proyecto de adjudicación de cerca de 36 ha, en el barrio de Guaratiba/RJ. Se modeló el diseño preliminar de una red de drenaje para la región mediante la simulación de una lluvia intensa con período de retorno de 10 años y duración de 10 minutos. Luego, se intentó integrar y comparar los resultados críticos encontrados con las posibles mejoras resultantes del uso de técnicas de Desarrollo de Bajo Impacto (LID) relacionadas con pavimentos permeables en el modelado. Para el mismo tiempo de retorno, hubo una disminución de caudales punta de hasta un 34,53%, además de reducciones en los volúmenes totales del sistema de hasta un 28,73% para tiempos de retorno de 10, 20 y 50 años, demostrando que la adopción de LID en proyectos de drenaje en general permea etapas de crecidas más suaves.*

**Palabras clave:** Drenaje; Lluvia; Pavimentación; Planificación de Recursos Hídricos.



## 1. Introdução

De acordo com o Relatório Mundial das Cidades, da Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), a previsão é de que aproximadamente 68% da população mundial habitará áreas urbanas até 2050, refletindo velocidades elevadas de urbanização. Esse processo provoca consequências alarmantes ao meio ambiente, como a impermeabilização do solo, o aumento da poluição e a contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos (SALVADORE *et al.*, 2015; MCGRANE, 2016; MISHRA *et al.*, 2020).

A substituição de superfícies vegetadas por superfícies impermeáveis, como estradas, quintais e telhados, agrava as enchentes e inundações, com o aumento da velocidade e da quantidade do escoamento superficial. Dessa forma, tornam-se mais necessárias medidas de drenagem urbana para mitigar esses danos (SANGALLI, 2021).

Segundo o Relatório da Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2021), foram contabilizados no período de 1970 a 2019 mais de 11.000 desastres relacionados a Clima, Hidrologia ou Meteorologia nos países-membros da Organização das Nações Unidas (ONU). Dentre esses eventos, 79% foram relacionados a inundações e tempestades, e estes somaram 85% das perdas financeiras totais contabilizadas no relatório. Tal impacto indica, portanto, que o estudo de eventos hidrológicos extremos é de grande importância para que governos possam realizar previsões mais precisas e tomadas de decisões mais eficazes em seus países.

No contexto normativo brasileiro, destaca-se a Constituição Federal de 1988 (CF/1988), a qual elevou o manejo das águas pluviais em áreas rurais e urbanas a um papel fundamental na asseguuração da garantia do direito universal ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida (Art. 225). Aduz-se, portanto, que as práticas de drenagem se consubstanciam na geração de benefícios nas esferas social, econômica e ambiental. Além disso, ressalta-se a necessidade do desenvolvimento da drenagem sob tal ótica constitucional. A exemplo da instituição da defesa do meio ambiente como um princípio da ordem econômica (Art. 170, VI), a política de desenvolvimento urbano (Art. 182) deflagrou a elaboração do Plano Diretor como ferramenta primordial do planejamento e do desenvolvimento das cidades no país (BRASIL, 1988).

Aliado a isso, atenta-se para a obrigatoriedade da sustentabilidade da drenagem, consubstanciada em legislações diversas, as quais permeiam a necessidade de preservação patrimonial, ambiental e da vida humana, mediante o implemento de medidas que contemplem as bacias de drenagem como sistemas integrados. Ao contrário, padrões tradicionais restringem-se a retirar a água da chuva das vias, estando limitados ao seu lançamento em elementos receptores e sem a devida atenção para os impactos relativos à quantidade e à qualidade da água (PEREIRA *et al.*, 2019).

Nesse contexto, a modelagem hidrológica tornou-se uma ferramenta de destaque para a representação de processos ocorridos em bacias e a predição de eventos, em especial a partir de análises comparativas entre os fenômenos observados e os previstos (UNDUCHE *et al.*, 2018; WIJAYARATHNE e COULIBALY, 2020). Essa ferramenta contribui, assim, para a redução de perdas humanas em desastres e evitando gastos desnecessários com obras ineficazes (CAMPOS e PAZ, 2020; SAHU *et al.*, 2023).

No geral, projetos de sistemas de drenagem urbana são interdisciplinares, afinal, abrangem a realização tanto de estudos hidrológicos relativos a bacias de contribuição, quanto de dimensionamentos hidráulicos de sistemas (FRANCISCO *et al.*, 2022).



Destarte, dentre os modelos encontrados na literatura normalmente empregados em projetos de drenagem, destacam-se o *SWMM*, *Multi-Hydro*, *Infracworks*, *HEC-HMS*, *HEC-RAS*, dentre outros (PAZ *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2021; KUOK *et al.*, 2022; ATHIRA *et al.*, 2023).

Dada a demanda por redução de inundações, é notória a necessidade da implantação cada vez maior de práticas sustentáveis em projetos de drenagem urbana, de forma a se buscar a restauração de processos naturais em áreas cada vez mais impermeáveis (EL HATTAB *et al.*, 2020). Nesse sentido, a utilização de *LIDs* em modelos hidrológicos mostra-se importante, pois pode corroborar a eficiência desses dispositivos no controle e na prevenção de enchentes (SUI e VAN DE VEN, 2023).

O objetivo deste trabalho é comparar as soluções do projeto de drenagem de uma área de loteamento no bairro de Guaratiba, Rio de Janeiro/RJ, com uma solução alternativa com a utilização de práticas de desenvolvimento de baixo impacto (*LID*).

## 2. Revisão da Literatura

O Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development - LID*) está relacionado a sistemas e práticas que busquem se aproximar de processos naturais relativos à infiltração, evapotranspiração ou uso de águas pluviais, a fim de manter a qualidade da água (TANG *et al.*, 2021; PEREIRA SOUZA *et al.*, 2019). Essas práticas visam preservar, restaurar e criar espaços verdes usando solos, vegetações e técnicas de coleta de água da chuva, por exemplo, minimizando a impermeabilidade efetiva e criando um sistema de drenagem funcional que empregue águas pluviais como recurso (QIU *et al.*, 2021).

Aplicado em larga escala, o *LID* é capaz de impactar positivamente aspectos hidrológicos e hidráulicos em bacias hidrográficas. Como exemplos dessas práticas, têm-se bacias de infiltração, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, telhados verdes e jardins de chuva (BAK e BARJENBRUCH, 2022; TORRES *et al.*, 2022). A modelagem de sistemas de drenagem com aplicação de *LIDs* permite a verificação da adequabilidade dos locais de instalações, além da realização de predições de impactos em vazões e volumes de escoamentos (DE BARROS *et al.*, 2022).

Expõem-se adiante diversos estudos concernentes ao implemento de *LIDs* em áreas de interesse, com relação aos quais se evidencia uma ampla aplicabilidade da modelagem *SWMM* - e não apenas no que tange às simulações com a adoção de *LIDs*, mas também de Sistemas de Drenagem Sustentáveis (*Sustainable Drainage Systems - SuDS*).

Akter *et al.* (2020) teceram análises concernentes à viabilidade de instalação de sistemas de *LIDs* compostos pelo implemento de uma bacia de captação, uma cisterna e redes de condutos duplos, destinados ao abastecimento de residências e à descarga em esgotos. A análise transcorreu por uma área de 23 km<sup>2</sup>, em *Chittagong* (Bangladesh), a qual foi setorizada mediante 11 sub-bacias disjuntas, com a correspondente divisão do mapa de uso de solo local em 5 modalidades distintas: área construída, espaço aberto, vegetação, corpo d'água e areia. Ao simularem todas as sub-bacias, mediante o emprego dos dados pluviométricos de julho de 2014, mês mais chuvoso do referido ano, os autores empregaram os modelos *HEC-RAS* e *SWMM* para avaliarem a redução da área de inundação. A análise foi então repetida - tanto antes, quanto após a inserção dos elementos de *LID* adotados na modelagem - ocasião na qual verificaram que, com o emprego dos sistemas de baixo impacto supracitados, seria possível atingir uma redução de 28,66% na extensão da inundação local. Ao compararem as simulações de inundações pelo *SWMM*, relativamente tanto às profundidades de cheias simuladas pelo *HEC-HAS*, quanto também aos dados de sensoriamento remoto, concluíram haver uma correlação compatível entre



os resultados dessas análises, dados os coeficientes de correlação obtidos de 0,98 e 0,70, respectivamente.

Em *Seul* (Coréia do Sul), as análises realizadas por Bae e Lee (2020) foram direcionadas a regiões com captação de escala, situadas ao longo de duas áreas intensamente povoadas e afetadas por casos históricos de inundações. Neste âmbito, os autores projetaram o implemento de *LIDs* relativos a pavimentos permeáveis e telhados verdes, a partir da consideração de dados de pluviômetros referentes a inundações deflagradas em 2010 e 2011, empregadas como subsídios para o desenvolvimento de modelos locais no *SWMM*. Os resultados obtidos permitiram concluir que os *LIDs* propiciaram uma redução conjunta dos picos de vazão, dos volumes de inundação e dos volumes de escoamento, os quais foram acompanhados de uma leve elevação do correspondente volume de infiltração.

Os estudos de D'Ambrosio *et al.* (2022) modelaram uma bacia urbana na Itália, afetada por sua deficiência de gestão de águas pluviais. Os autores implementaram análises de *retrofitting*, concernentes à proposição de cenários de renovações da estrutura original de drenagem, com o auxílio de ferramentas de *SuDS* referentes a telhados verdes e pavimentos permeáveis. A partir do implemento de uma rede de drenagem para o local no *SWMM*, desenvolveram uma análise a respeito da influência da reurbanização sustentável local aos parâmetros de intensidade das chuvas, extensão da área e características de uso do solo. A análise da rede desenvolveu-se a partir de um critério de classificação pormenorizado de suas parcelas, por meio da qual foram adotadas as seguintes categorias de rótulos: um primeiro, referencial, a abranger a rede original de drenagem, rotulado por TRADICIONAL; um segundo, no qual se representou um projeto viável, tanto quanto ao posicionamento dos *LIDs*, quanto em termos de aspectos financeiros, intitulado VERDE; e um terceiro, denominado UNI, com relação ao qual se implementaram as mesmas percentagens de áreas de *LIDs* para cada sub-bacia, sem referenciação da localização correspondente. Dentre os três cenários, concluiu-se ter sido obtido um melhor desempenho hidrológico para o cenário potencial (UNI), haja vista a consecução de reduções médias de até 70% do volume total de contribuição do escoamento de saída da rede. Em seu emprego, foram obtidas reduções no montante de 40% superiores ao quantitativo total passível de obtenção a partir de cenários viáveis (VERDE). Por fim, os estudos permitiram concluir que seria possível haver um percentual ótimo de *retrofitting* de *SuDS*, relativo ao qual não seria passível de detecção a obtenção de outros benefícios adicionais.

A partir de dois eventos relativamente recentes de inundações extremas do rio *Patapsco*, nos arredores de *Ellicott City*, em *Maryland* (Estados Unidos da América), acompanhados do excesso de precipitação local, os estudos de Bhandari *et al.* (2018) consideraram a aplicação de dois *LIDs* no modelo *SWMM*. Tais recursos foram concernentes tanto ao emprego de telhados verdes, na modelagem de áreas de alta subdivisão, quanto de pavimentos permeáveis, nas áreas de mercado do centro da cidade, sob as respectivas áreas relativas de aplicação de 1,28% e 2,10%. Os autores modelaram a bacia hidrográfica com auxílio do emprego de Sistemas de Informação Geográfica e Ferramentas de Avaliação de Solos e Águas. Adicionalmente, coletaram informações de descarga de fluxo da estação de medição de rios do Serviço Geológico dos Estados Unidos, e registros de precipitação da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica, os quais foram aplicados a cenários distintos de picos de inundação. Das análises realizadas, concluiu-se ter ocorrido uma redução no pico de vazão a partir do emprego dos *LIDs*: o equivalente a 7,5%, através do uso de pavimentos permeáveis, e a 5,4%, através da adição de telhados verdes. Ademais, verificou-se que a consecução do pico de vazão nas sub-bacias hidrográficas passou a transcorrer após um certo tempo de defasagem, e sob um montante inferior, comparativamente aos



eventos de tempestades originais, sem o emprego de *LIDs*. Dada a modelagem desenvolvida, tais fatores associados deflagraram uma diminuição bem-sucedida das medições de inundações na bacia de estudo.

### 3. Metodologia

O *Storm Water Management Model - SWMM* é um *software* de modelagem dinâmica chuva-vazão, desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)* em 1971. Ao simular o escoamento de águas pluviais em termos quantitativos e qualitativos, sob uma aplicação orientada a áreas urbanas, o *software* é passível de emprego para a simulação tanto de um único evento chuvoso, quanto de um evento contínuo, o qual perdure por um prazo relativamente longo (LENHS/UFPA, 2012).

Por intermédio de sua modelagem hidrodinâmica, a ferramenta permite ao operador analisar fenômenos específicos, não naturalmente considerados em outros modelos mais simplificados de dimensionamento. Dentre os quais, elencam-se verificações de trechos com escoamento sob pressão, efeitos de jusante e inversões de fluxo (ROSSMAN, 2010).

O modelo conta com três componentes, relativos: ao escoamento superficial, que simula o recebimento de precipitação e gera os escoamentos em sub-bacias hidrográficas; ao transporte hidráulico, que simula o percurso da água através de sistemas compostos por tubulações, canais, bombas, entre outros; e à qualidade da água e ao transporte de poluentes. O *software* SWMM 5, em sua versão mais recente, é de livre acesso e é distribuído no Brasil pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (LENHS/UFPA), que também elaborou a versão brasileira do Manual do Usuário, em conjunto com a Eletrobrás.

Neste trabalho, empregou-se o *SWMM* para desenvolver uma modelagem de sistema de águas pluviais e verificar a capacidade da rede de drenagem ora dimensionada em suportar, ou não, as chuvas de projeto, associadas a tempos de retorno distintos. Para isso, adotaram-se as seguintes etapas:

1) Delimitação da área de interesse, a contemplar uma região de cerca de 36 ha, margeada em contorno amarelo (Figuras 1 e 2), situada nas adjacências da Estrada General Pessoa Cavalcante e da Estrada do Aterrado do Rio, às margens do rio Cabuçu, em Guaratiba/RJ. Trata-se de um terreno em formato bastante irregular e sem construções, com uma vegetação majoritariamente rasteira, tendo à disposição alguns pontos específicos com vegetação mais densa, além de uma faixa de mata ciliar ao longo da margem do rio. No caso, o trecho é abrangido por um projeto de loteamento (Figura 3) gerado pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (GONZALEZ, 2013).

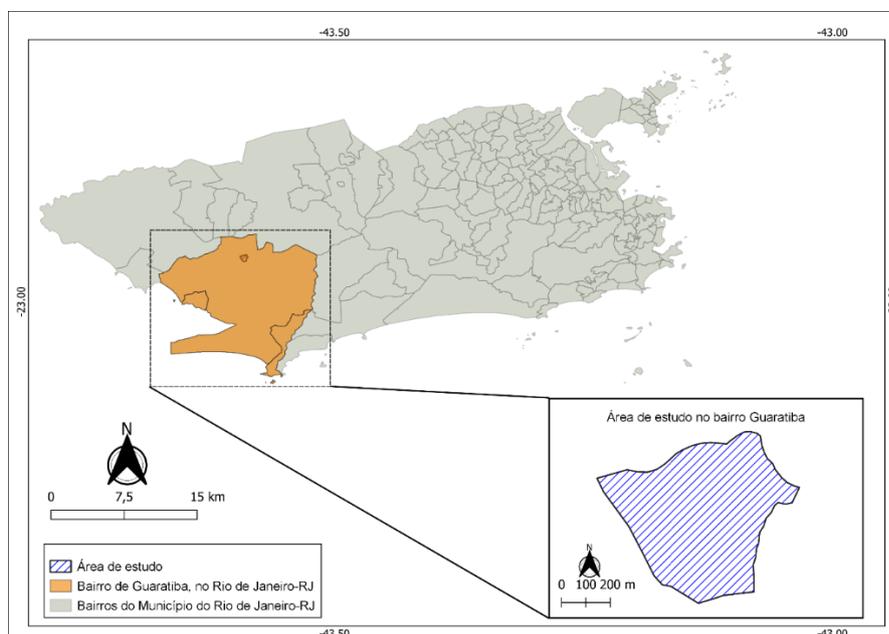
2) Divisão da bacia de interesse em 144 sub-bacias de contribuição (Figura 4), com 5 redes de drenagem disjuntas, todas com exutórios orientados ao rio Cabuçu. O critério de divisão adotado se deu em função da proximidade dos escoamentos dos lotes contribuintes a cada um dos nós implementados no modelo, representativos de poços de visitas, dado o levantamento topográfico local anteriormente realizado.

Figura 1: Delimitação do lote estudado (Guaratiba/RJ)



Fonte: Google Earth.

Figura 2: Área de estudo no município do Rio de Janeiro-RJ

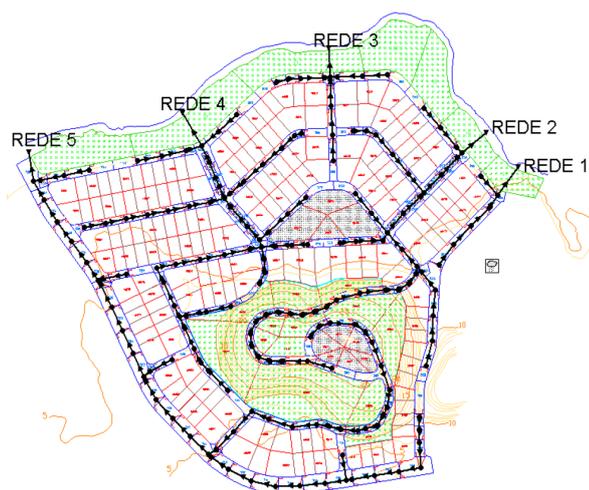


**Figura 3:** Projeto de Loteamento Local



Fonte: GONZALEZ, 2013.

**Figura 4:** Sub-bacias de Drenagem Adotadas



1) Cálculo das vazões de chuvas de projeto por sub-bacia, por meio de um tratamento de dados por desagregação temporal da chuva:

a) A intensidade de cada intervalo acumulado de chuva pela Equação de Chuva Intensa, empregada a foi calculada a partir de dados de intensidade, duração e frequência (IDF). Os parâmetros adotados foram relativos ao bairro de Campo Grande/RJ (Tabela 1), local mais próximo e representativo possível da área de interesse, para o qual havia tais parâmetros à disposição. Adotou-se o tempo de retorno de 10 anos e a duração da chuva de 10 min, conforme preconiza a orientação normativa das Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana, expedidas pela Prefeitura do Rio de Janeiro (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2010).



**Tabela 1:** Dados para a Equação de Chuva Intensa (Campo Grande/RJ)

Equação de Chuva Intensa		$i = \frac{aT_R^b}{(t+c)^d}$		
Pluviômetro	a	b	c	d
Campo Grande/RJ	891,67	0,187	14,0	0,689

a, b, c e d: parâmetros adimensionais; TR: Tempo de retorno; i = intensidade de chuva.

Fonte: Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana - Rio Águas (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2010).

b) A partir da multiplicação das intensidades (mm/h) pelas respectivas durações de chuvas acumuladas (h), a altura de chuva acumulada (mm), foi calculada para se obter as respectivas alturas incrementais de chuva, provenientes das diferenças de alturas entre cada período acumulado.

c) O período total da chuva foi dividido em subintervalos definidos de 10 min, para distribuir as alturas respectivas de incrementos de chuva em ordem decrescente (conforme DNIT, 2005) e gerar o hietograma correspondente.

4) As seções dos dispositivos a serem empregados na rede de drenagem a ser modelada (bocas-de-lobo, poços de visitas, caixas de passagem e sarjetas de pé de aterro) foram dimensionadas..

5) Para a modelagem no *SWMM*, foi definida a caracterização dos elementos adotados para o sistema, através da inclusão de seus prefixos identificadores e do informe de parâmetros específicos de inicialização da rede, relativos aos pluviômetros, sub-bacias, nós (poços de visitas), exutórios e condutos.

6) Importou-se um metarquivo com a imagem de fundo da região ao mapa da área de estudo, obtido do respectivo desenho em *CAD*. Ao se executar um zoom nessa versão de arquivo, pode-se manter as escalas e proporções, além da própria definição de imagem.

7) Com o uso de figuras geométricas ilustrativas, foram delimitados os contornos de todas as sub-bacias adotadas, a fim de verificar a ocorrência de alguma região eventualmente não contabilizada ao fim da inserção de todas as áreas de contribuições de poços de visitas.

8) Procedeu-se à inserção dos poços de visitas, dos exutórios e dos condutos da rede, além dos dados de pluviômetros associados às sub-bacias.

Na Figura 5 são apresentados os elementos constitutivos da rede de drenagem: em especial, bocas-de-lobo, poços de visitas, caixas de passagem e sarjetas de pé de aterro - estas últimas referentes às canaletas de drenagem das águas oriundas de um trecho de morro presente na região.

9) Por fim, procedeu-se à simulação no *SWMM*, utilizando o modelo de propagação de fluxo da Onda Cinemática junto ao método *Curve Number* (CN) para infiltração, na duração de análise da simulação de 6 h e 60 s para o passo de tempo.

A verificação foi repetida para os tempos de recorrência de 10, 20 e 50 anos. Esses cenários, os quais apresentam suas soluções propostas no projeto do loteamento, foram designados como TRAD-10, TRAD-20 e TRAD-50, respectivamente.

**Figura 5:** Elementos Constitutivos da Rede de Drenagem



Em seguida, foram verificadas as oportunidades de melhoria no projeto, como a diminuição de seção de alguns condutos e a aplicação de pavimentos permeáveis nos arruamentos. Apresentam-se adiante as alterações propostas neste trabalho:

- 1) Diminuição das seções transversais de 63 dos 176 condutos, os quais foram selecionados para tal redução caso as respectivas capacidades exigidas sob as chuvas dos cenários tradicionais se encontrassem na faixa de 50% a 90% das máximas capacidades úteis individuais disponíveis. As alterações das áreas e as quantidades alteradas, para cada diâmetro, encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2:** Alterações dos diâmetros dos condutos entre os cenários tradicionais e alternativos

Diâmetros Alterados (m)		
Cenário Tradicional (Diâmetro Original)	Cenário Alternativo (Diâmetro Alterado Correspondente)	Quantidade alterada (un)
0,5	0,4	14
0,6	0,4	6
0,7	0,4	9
0,8	0,4	4
0,9	0,5	2
0,9	0,6	1
1,0	0,4	5
1,0	0,5	4
1	0,6	2



1,1	0,4	1
1,1	0,5	2
1,2	0,4	2
1,2	0,5	9
1,2	0,6	2
<b>Total</b>		<b>63</b>

2) Aplicação de pavimento permeável nos arruamentos, conforme as especificações apresentadas na Tabela 3:

**Tabela 3:** Parâmetros implantados no *SWMM* para pavimento permeável nos cenários alternativos (ALT-10, ALT-20 e ALT-50)

<b>Superfície</b>	
Profundidade de armazenamento (mm)	0
Rugosidade superficial (nº de Manning)	0,011
Declividade Superficial (%)	1
<b>Pavimento</b>	
Espessura (mm)	70
Índice de Vazios (Vazios/Sólidos)	0,182
Permeabilidade (mm/h)	1393,2
<b>Armazenamento</b>	
Altura (mm)	200
Índice de Vazios (Vazios/Sólidos)	0,3
Taxa de filtração (mm/h)	36,00

Fonte: D'AMBROSIO *et al.*, 2022

a) Em atenção à superfície permeável, considerou-se uma profundidade de armazenamento nula, por não se ter arbitrado para a região modelada a ocorrência de perfis de depressões superficiais, taludes ou muros confinantes. Adotou-se, portanto, um escoamento à superfície livre sobre asfalto de coeficiente de rugosidade de superfície 0,011 (conforme o Manual de Drenagem de Rodovias – DNIT, 2005) e declividade superficial aproximada de 1%, em referência ao projeto de loteamento local.

b) Em atenção ao pavimento, constituído de uma camada porosa de asfalto (CPA), adotou-se uma espessura de 7 cm e um índice de vazios médio de 18,2%, dentro do limite admissível de 18-25% - relativo a este parâmetro para os CPAs, preconizado pela norma DNER ES-386/99. Para esses mesmos valores referenciais, os ensaios realizados por Da Silva (2005) permitiram obter uma faixa referencial de permeabilidades que inclui o valor de 1393,2 mm/h, tendo sido tal resultado adotado para a modelagem.

c) No que tange ao armazenamento, e tendo-se em vista que o solo originário da região é



majoritariamente argiloso, com baixa capacidade de suporte, arbitrou-se no projeto a recomposição de material subjacente ao pavimento, com a inclusão de uma camada de base de solo pedregulhoso de alta permeabilidade e espessura de 200 mm, relativa à qual se arbitraram valores médios de índice de vazios de 0,3 e de taxa de filtração 36 mm/h.

A seguir, para a definição da área a ser aplicado o *LID*, fez-se uma análise de cada uma das 144 sub-bacias do estudo, visto que algumas possuíam apenas regiões pavimentadas, outras possuíam regiões pavimentadas e não-pavimentadas, e outras possuíam apenas regiões não-pavimentadas. Nesse sentido, pela análise da área, as sub-bacias escolhidas para aplicação do pavimento permeável foram aquelas que possuíam no mínimo 50% de área pavimentada, sendo as áreas de aplicações as mesmas das regiões pavimentadas. Dessa forma, foram consideradas 61 sub-bacias para aplicação, sendo o *LID* supracitado aplicado completamente (100%) em 47 sub-bacias, em 80% da área de 1 sub-bacia, em 70% da área de 1 sub-bacia, em 60% da área de 3 sub-bacias e em 50% da área de 9 sub-bacias.

A análise foi então repetida para os tempos de recorrência de 10, 20 e 50 anos. Esses cenários, os quais apresentam as soluções com aplicação de *LIDs*, foram designados como ALT-10, ALT-20 e ALT-50, respectivamente.

Por fim, analisaram-se as vazões de pico nos nós e os volumes totais escoados para os seis modelos (TRAD-10, TRAD-20, TRAD-50, ALT-10, ALT-20 e ALT-50), tendo-se também verificado quais condutos modelados apresentaram demandas de escoamento acima e abaixo de 70% das capacidades máximas correspondentes.

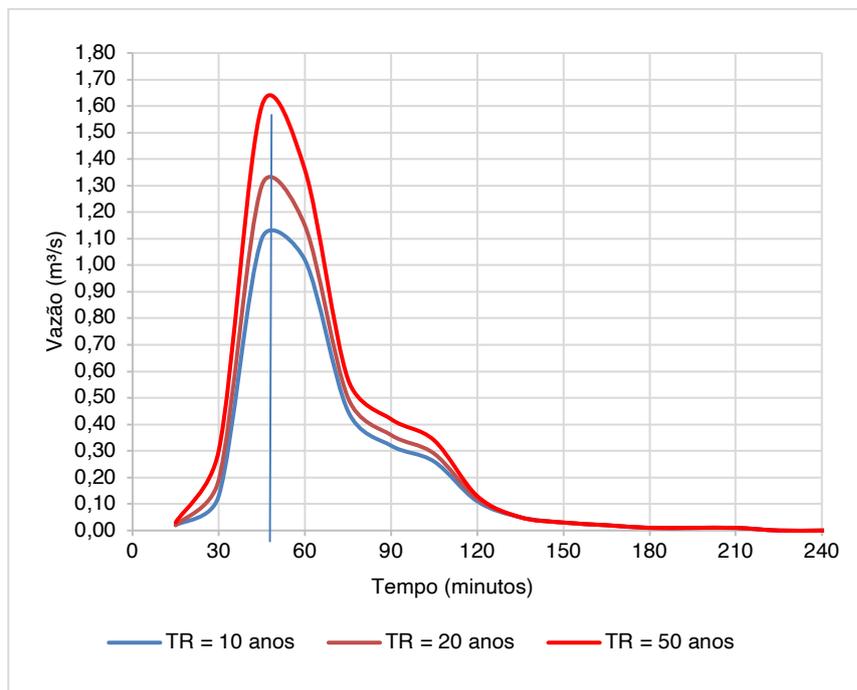
## **4. Resultados e discussão**

A aplicação do *SWMM*, orientada à modelagem e ao dimensionamento da rede de drenagem da região de estudo, permitiu analisar a variação temporal das vazões e das capacidades dos condutos das redes locais projetadas, sob o intuito de verificar a manifestação de eventuais pontos de alagamentos ou de sobrecargas em elementos constitutivos da rede desenvolvida.

### **4.1. Emprego Inicial do Software**

Para os cenários tradicionais, TRAD-10, TRAD-20 e TRAD-50, os erros de escoamento superficial foram -0,39%, -0,38% e -0,36%, enquanto os erros de propagação de fluxo foram 1,65%, 1,56% e 1,46%, respectivamente - considerados aceitáveis, visto serem todos abaixo de 5%.

Comparando-se as vazões totais correspondentes do sistema, seus valores máximos obtidos foram 1,15 m<sup>3</sup>/s, 1,33 m<sup>3</sup>/s e 1,65 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, todos ocorrendo aos 50 minutos do início do evento em apreço. O Gráfico 1 apresenta a comparação entre as vazões totais desses cenários.

**Gráfico 1.** Vazões totais dos cenários TRAD-10, TRAD-20 e TRAD-50

Observou-se ainda que, para os três cenários, todos os 176 condutos apresentaram capacidade exigida abaixo de 70% da máxima, indicando superdimensionamento no projeto do loteamento para as chuvas de projeto com tempos de retorno de 10, 20 e 50 anos.

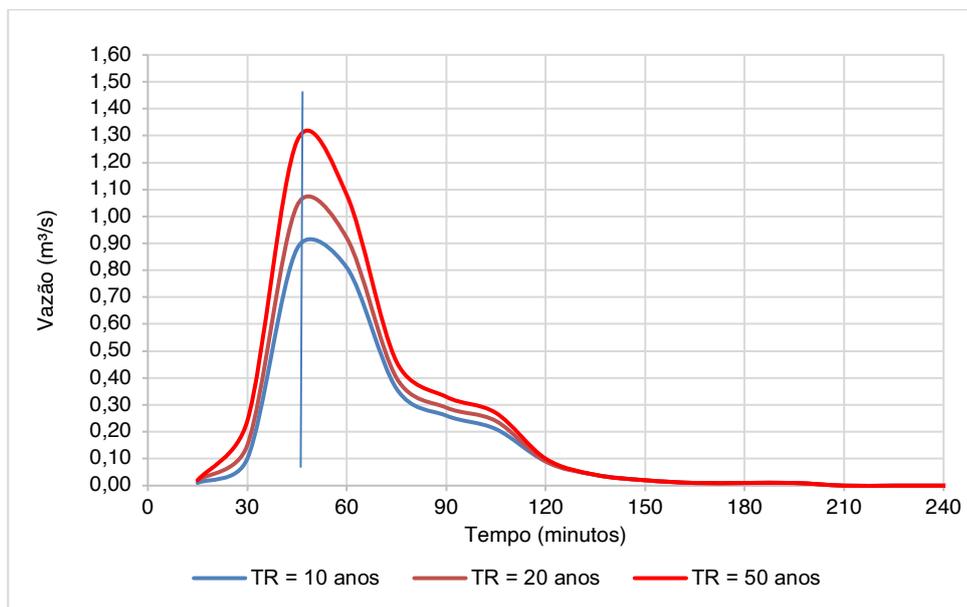
#### 4.2. Emprego do *Software* com *LIDs*

Para os cenários ALT-10, ALT-20 e ALT-50, os erros de escoamento superficial foram -0,59%, -0,57% e -0,51%, enquanto os erros de propagação de fluxo foram 0,95%, 0,35% e 0,07%, respectivamente - considerados aceitáveis, visto que são menores que 5%.

Ao se comparar as vazões totais do sistema para esses cenários, verificou-se que os seus máximos foram 0,92 m³/s, 1,08 m³/s e 1,33 m³/s, respectivamente, todos ocorrendo aos 50 minutos do início do evento. O Gráfico 2 apresenta a comparação entre as vazões totais desses cenários.

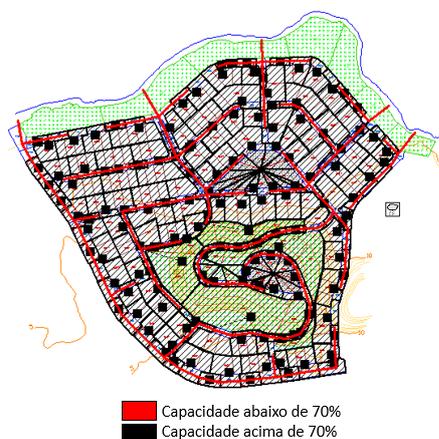
Observou-se também que, para o cenário ALT-10, 175 de 176 condutos apresentaram solicitação abaixo de 70% da capacidade máxima disponível (conforme a Figura 6). Já para o cenário ALT-20, 171 dos 176 condutos apresentaram solicitação abaixo desses 70% (conforme a Figura 7). Por fim, para o cenário ALT-50, 171 dos 176 condutos apresentaram solicitação abaixo dos 70% (conforme a Figura 8).

**Gráfico 2:** Vazões totais para os cenários ALT-10, ALT-20 e ALT-50

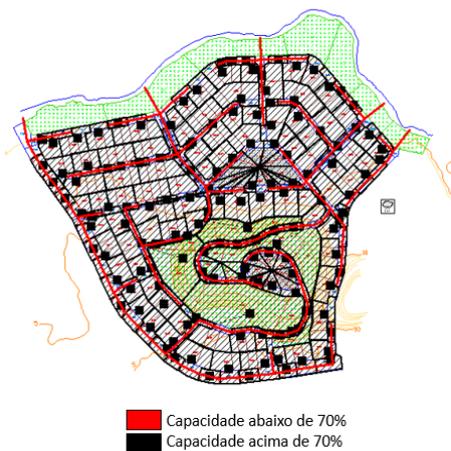


Deve-se ressaltar ainda que, nos cenários alternativos em conjunto, 132 condutos apresentaram o diâmetro mínimo (0,4 m) exigido pelas Instruções Técnicas para a Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Drenagem Urbana da Rio-Águas (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2010).

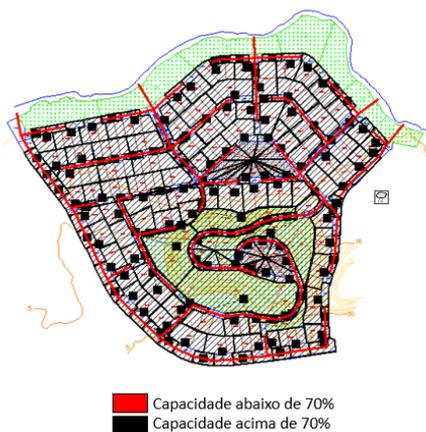
**Figura 6:** Capacidade máxima exigida dos condutos no cenário ALT-10



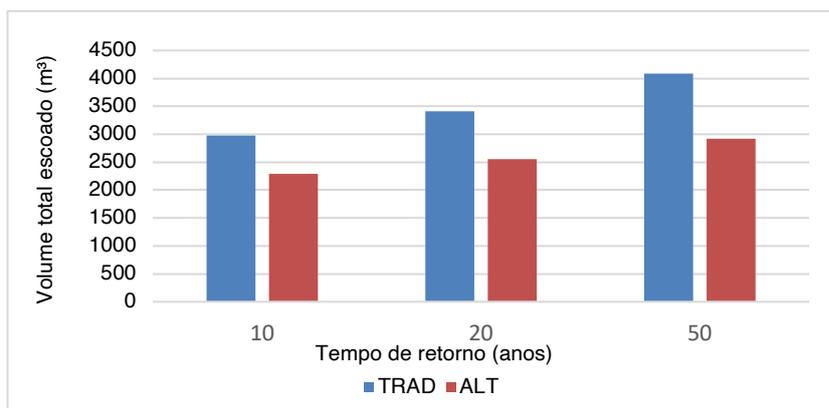
**Figura 7:** Capacidade máxima exigida dos condutos no cenário ALT-20



**Figura 8:** Capacidade máxima exigida dos condutos no cenário ALT-50



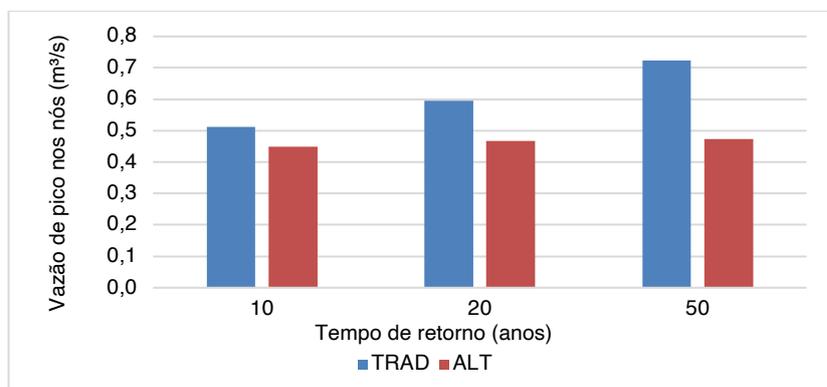
**Gráfico 3:** Comparação para volumes totais escoados nos cenários tradicionais e alternativos, para cada tempo de retorno



Além disso, após comparação entre os cenários tradicionais e alternativos, apresentam-se, nos Gráficos 3 e 4, as análises dos volumes totais escoados e das vazões de pico nos nós. Verificou-se, como

esperado, maior vazão para o cenário TRAD-50, tendo a diferença das vazões para os cenários alternativos se mostrando menor do que para os cenários tradicionais e sendo a média de acréscimo de 19,06% e 2,76%, para os cenários TRAD e ALT, respectivamente.

**Gráfico 4:** Comparação para vazões de pico nos nós nos cenários tradicionais e alternativos, para cada tempo de retorno



Observou-se também que, para o mesmo tempo de retorno, houve uma diminuição das vazões de pico entre os cenários ALT e os cenários TRAD de 12,13%, 21,34% e 34,53%, respectivamente, para 10, 20 e 50 anos. Além disso, as diminuições de volumes totais no sistema foram de 22,95%, 25,13% e 28,73% para os tempos de retorno de 10, 20 e 50 anos, respectivamente. A Tabela 4 apresenta os dados obtidos pelas simulações.

**Tabela 4.** Dados de volume total escoado e vazão de pico nos nós para os cenários tradicional e alternativo

Cenário	Volume total (m³)	Vazão de pico nos nós (m³/s)
TRAD-10	2972,00	0,511
TRAD-20	3414,00	0,595
TRAD-50	4090,00	0,724
ALT-10	2290,00	0,449
ALT-20	2556,00	0,468
ALT-50	2915,00	0,474

## 5. Conclusão

A rápida urbanização propicia um aumento nas áreas impermeabilizadas das bacias hidrográficas, o que impacta a ocorrência de eventos inundatórios, tendentes a se tornarem cada vez mais graves e frequentes. Contudo, ao se implementarem os princípios e as práticas do *LID*, a água de chuva escoada pode ser gerenciada de forma a reduzir o impacto das áreas construídas e promover o seu movimento natural dentro de um ecossistema ou bacia hidrográfica.

A aplicação do *SWMM*, referenciada ao dimensionamento do lote na região de Guaratiba/RJ, permitiu o efetivo cumprimento dos objetivos deste artigo. Afinal, essa modelagem permeou a visualização



integrada da rede projetada, no âmbito da análise de eventuais pontos críticos e da proposição de soluções alternativas com o emprego de práticas de *LID* relativas a pavimentos permeáveis.

Ainda, em aderência à metodologia apresentada, pôde-se comparar os resultados das soluções em função das vazões de pico e do volume total escoado para tempos de retorno distintos.

Em síntese, dada a modelagem realizada, concluiu-se o seguinte:

1) O *SWMM* teve uma grande utilidade na simulação da rede projetada, com relação à verificação da real capacidade da rede quanto à condução de diversas chuvas de projeto, tendo possibilitado a previsão de respostas da área de estudo à aplicação do pavimento permeável;

2) Para a consecução de uma simulação coerente, no que tange modelagens em sistemas de drenagem, orienta-se a inserção da maior quantidade possível de informações relativas ao objeto de análise, as quais devem ser fidedignas às características reais do local. Adicionalmente, faz-se necessário evitar considerações espúrias na aplicação do modelo desenvolvido, sob o intuito de não se mascarar os resultados obtidos;

3) Como já era esperado, tomando-se por base a revisão de literatura exposta, a adoção de *LID* em projetos de drenagem propicia estágios de inundações mais suaves, ao encurtar os picos de descarga. Em ratificação a tal posicionamento, destaca-se que os artefatos de *LID* concebidos para o projeto, concernentes à aplicação de pavimento permeável em modelagem via *SWMM*, desempenharam um efeito positivo, pois deflagraram uma redução dos picos de vazão e dos volumes de inundação, comparativamente aos cenários tradicionais e alternativos empregados na simulação. Afinal, em sua aplicação, e sob um mesmo tempo de retorno, houve redução das vazões de pico em até 34,53%, e dos volumes totais no sistema em até 28,73%, sob os tempos de retorno de 10, 20 e 50 anos.

Pontua-se que tais ganhos se coadunam, inclusive, com os cenários obtidos em abordagens relativamente similares, concernentes ao emprego, em loteamentos, de pavimentos permeáveis associados, em alguns casos, à instalação de telhados verdes. Conforme atestam os resultados dos estudos de Bhandari *et al.* (2018), Bae e Lee (2020) e D`Ambrosio *et al.* (2022), os quais obtiveram reduções médias consideráveis do volume total de contribuição do escoamento de saída em suas modelagens de redes de drenagem.

Por fim, a título de sugestões para pesquisas futuras, seria factível expandir as previsões futuras de *LID* na bacia analisada, para contabilizar todas as demais sub-bacias hidrográficas no entorno - dispondo-se de uma melhor determinação de áreas de aplicação, sob a ótica de uma maior abrangência de análise.

## Referências

AKTER, A.; TANIM, A. H.; ISLAM, M. K. **Possibilities of urban flood reduction through distributed-scale rainwater harvesting.** Water Science and Engineering, v. 13, n. 2, p. 95–105, 2020. ISSN 1674-2370.

ATHIRA, S.; KATPATAL, Y.B.; LONDHE, D.S. **Flood Modelling and Inundation Mapping of Meenachil River Using HEC-RAS and HEC-HMS Software.** Climate Change and Ocean Renewable Energy. Cham: Springer Nature Switzerland, p. 113-130, 2023.

BAE, C.; LEE, D. K. **Effects of low-impact development practices for flood events at the catchment**



**scale in a highly developed urban area.** International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 44, p. 101412, 2020. ISSN 2212-4209.

BAK, J.; BARJENBRUCH, M. **Benefits, Inconveniences, and Facilities of the Application of Rain Gardens in Urban Spaces from the Perspective of Climate Change - A Review.** Water, v. 14, n. 7, p. 1153, 2022.

BHANDARI, S; KALRA, A; AHMAD, S; THAKUR, B. **Flood Damage Reduction in Urban Areas with Use of Low Impact Development Designs.** World Environmental and Water Resources Congress, 2018.

CAMPOS, P.C.O.; PAZ, I. **Spatial diagnosis of Rain Gauges' distribution and flood impacts: case study in Itaperuna, Rio de Janeiro - Brazil.** Water, v. 12, n. 4, p. 1120, 2020.

DA SILVA, C. E. D. B. D. **Estudo da Permeabilidade de Misturas Asfálticas de Graduação Aberta.** Mestrado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2005.

D'AMBROSIO, R.; BALBO, A.; LONGOBARDI, A.; RIZZO, A. **Re-think urban drainage following a SUDS retrofitting approach against urban flooding: A modelling investigation for an italian case study.** Urban Forestry & Urban Greening, v. 70, p. 127518, 2022. ISSN 1618-8667.

DE BARROS, R.V.; AMORIM LOPES, E.E.; DA SILVA, G.B. **Exploring trade-offs between cost and peak flow reduction toward identifying optimal LID designs combining green roof and permeable pavement.** Urban Water Journal, v. 19, n. 10, p. 1047-1059, 2022.

DNER ES-386/99. **Pavimentação - Pré-misturado a quente com asfalto polímero - Camada porosa de atrito - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 1999.

DNIT. **Publicação IPR - 715: Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem.** Rio de Janeiro, 2005.

EL HATTAB, M.H.; THEODOROPOULOS, G.; RONG, X.; MIJIC, A. **Applying the systems approach to decompose the SuDS decision-making process for appropriate hydrologic model selection.** Water, v. 12, n. 3, p. 632, 2020.

FRANCISCO, T.H.; MENEZES, O.V.; GUEDES, A.L.; MAQUERA, G.; NETO, D.C.; LONGO, O.C.; CHINELLI, C.K.; SOARES, C.A.P. **The Main Challenges for Improving Urban Drainage Systems from the Perspective of Brazilian Professionals.** Infrastructures, v. 8, n. 1, p. 5, 2022.

SALVADORE, E.; BRONDERS, J.; BATELAAN, O. **Hydrological modelling of urbanized catchments: A review and future directions.** Journal of hydrology, v. 529, p. 62-81, 2015.

GONZALEZ, P. F. **Projeto com Dimensionamento de Sistemas de Drenagem.** 66p. Projeto de Fim de Curso de Graduação em Engenharia de Fortificação e Construção - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2013.

IPR. Publ., 724. **Manual de Drenagem de Rodovias.** 2 ed. Rio de Janeiro. 2006.

KUOK, K.K.; TAN, K.W.K; CHIU, P.C.; CHIN, M.Y.; RAHMAN, M.R.; BAKRI, M.K.B. **Application of Building Information Modelling (BIM) Technology in Drainage System Using Autodesk Infraworks**



**360 Software.** In: Proceedings of the 5th International Conference on Water Resources (ICWR) - Volume 1: Current Research in Water Resources, Coastal and Environment. Singapore: Springer Nature Singapore, p. 209-224, 2022.

MCGRANE, Scott J. **Impacts of urbanization on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review.** Hydrological Sciences Journal, v. 61, n. 13, p. 2295-2311, 2016.

MISHRA, B.K.; CHAKRABORTY, S.; KUMAR, P.; SARASWAT, C. **Urban Water Security Challenges.** Sustainable Solutions for Urban Water Security: Innovative Studies, p. 25-40, 2020.

NETO, A. T. **Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM.** 100p. Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

ONU (2022). **For a Better Urban Future World Cities Report 2022.** First published 2022 by United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) Copyright © United Nations Human Settlements Programme, 2022. HS Number: HS/004/22E. ISBN Number (Series): 978-92-1-133395-4. ISBN Number: 978-92-1-132894-3.

PAZ, I.; WILLINGER, B.; GIRES, A.; SOUZA, B.A.; MONIER, L.; CARDINAL, H.; TISSERAND, B.; TCHIGUIRINSKAIA, I.; SCHERTZER, D. **Small-scale rainfall variability impacts analyzed by fully distributed model using C-band and X-band radar data.** Water, v. 11, n. 6, p. 1273, 2019.

PEREIRA, L. C. O; VIANA, E. M.; BRAGA, C. F. C. **Estudo das Legislações Sobre Drenagem Urbana nas Capitais do Nordeste Brasileiro. Análise da obrigatoriedade de medidas de controle de escoamento na fonte.** 2019. I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade e III Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido.

PEREIRA SOUZA, F.; LEITE COSTA, M.E.; KOIDE, S. **Hydrological modelling and evaluation of detention ponds to improve urban drainage system and water quality.** Water, v. 11, n. 8, p. 1547, 2019.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Instruções Técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana.** Rio de Janeiro: Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas – Rio-Águas, 2010.

QIU, Y.; PAZ, I.; CHEN, F.; VERSINI, P.; SCHERTZER, D.; TCHIGUIRINSKAIA, I. **Space variability impact on hydrological responses of nature-based solutions and the resulting uncertainty: a case study of Guyancourt (France).** Hydrology and Earth System Sciences, v. 25, n. 6, p. 3137-3162, 2021.

ROSSMAN, Lewis A. **EPA SWMM 5.0: Modelo de Gestão de Drenagem Urbana.** Tradutor: Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – UFPB, João Pessoa, 2010.

SAHU, M.K.; SHWETHA, H. R.; DWARAKISH, G. S. **State-of-the-art hydrological models and application of the HEC-HMS model: a review.** Modeling Earth Systems and Environment, p.1-23, 2023.

SANGALLI, N. C. R. **Modelagem Hidrológica de um Módulo Experimental de Pavimento Permeável Poroso Utilizando o EPA SWMM.** 97 p. Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.



SUI, X.; VAN DE VEN, F.H.M. **The influence of Low Impact Development (LID) on basin runoff in a half-urbanized catchment: A case study in San Antonio, Texas.** *Journal of Hydrology*, v. 616, p. 128793, 2023.

TANG, S.; JIANG, J.; ZHENG, Y.; HONG, Y.; CHUNG, E.; SHAMSELDIN, A.Y.; WEI, Y.; WANG, X. **Robustness analysis of storm water quality modelling with LID infrastructures from natural event-based field monitoring.** *Science of the Total Environment*, v. 753, p. 142007, 2021.

TORRES, M.N.; RABIDEAU, A.; GHODSI, S.H.; ZHU, Z.; MATTOT, L.S. **Spatial design strategies and performance of porous pavements for reducing combined sewer overflows.** *Journal of Hydrology*, v. 607, p. 127465, 2022.

UNDUCHE, F.; TOLOSSA, H.; SENBETA, D.; ZHU, E. **Evaluation of four hydrological models for operational flood forecasting in a Canadian Prairie watershed.** *Hydrological Sciences Journal*, v. 63, n. 8, p. 1133-1149, 2018.

WIJAYARATHNE, D.B.; COULIBALY, P. **Identification of hydrological models for operational flood forecasting in St. John's, Newfoundland, Canada.** *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 27, p. 100646, 2020.

WMO. **Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970–2019).** Geneva, Switzerland, 2021.

ZHANG, X.; WANG, K.; WANG, T. **SWMM-based assessment of the improvement of hydrodynamic conditions of urban water connectivity.** *Water Resources Management*, v. 35, p. 4519-4534, 2021



### **James de Melo Sampaio Júnior**

Possui graduação em Engenharia de Fortificação e Construção no Instituto Militar de Engenharia (2018) e é estudante de mestrado em Engenharia de Transportes na mesma instituição (previsão de término em 2024), na área de pesquisa de Recursos Hídricos Aplicados à Infraestrutura de Transportes, com ênfase em Modelagem Hidrológica de Áreas Urbanas e Meteorologia Aplicada e Redução de Riscos e Prevenção de Desastres Naturais. Tem experiência na área de execução de obras rodoviárias.

**Contribuição de coautoria:** Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Validação; Visualização; Redação - rascunho original; Redação - revisão e edição.

### **Rodrigo dos Santos Morgado**

Possui graduação em Engenharia de Fortificação e Construção no Instituto Militar de Engenharia (2017) e é estudante de mestrado em Engenharia de Transportes na mesma instituição (previsão de término em 2024), na área de pesquisa de Geotecnia Aplicada à Infraestrutura de Transportes, com ênfase em Planejamento e Projeto de Obras de Terra. Tem experiência na área de execução de obras rodoviárias.

**Contribuição de coautoria:** Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Validação; Visualização; Redação - rascunho original; Redação - revisão e edição.

### **Marcelo de Miranda Reis**

Tem experiência nas áreas de Engenharia Civil, com ênfase em Transportes, Recursos Hídricos, Saneamento e Meio Ambiente; de Engenharia de Transportes, com ênfase em Meio Ambiente, Portos e Hidrovias; e de Planejamento Energético e Ambiental. Atua principalmente nos seguintes temas: planejamento e gestão ambiental aplicada aos transportes; saneamento básico; gestão, tratamento e aproveitamento energético de resíduos; hidrologia e modelos hidrológicos; e modelagem numérica. Atualmente é Professor Adjunto do Instituto Militar de Engenharia. No curso de graduação em Engenharia de Fortificação e Construção, ministra as disciplinas de Hidrologia, Hidráulica, Saneamento Básico I e Saneamento Básico II, além de orientar trabalhos. No curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, ministra as disciplinas de Impactos Ambientais dos Transportes, Obras Hidráulicas e Portuárias, e Drenagem Aplicada à Infraestrutura de Transportes. No curso de Pós-Graduação em Engenharia de Defesa, ministra as disciplinas Meio Ambiente e Atividades Militares e Métodos Numéricos.

**Contribuição de coautoria:** Redação - revisão e edição.

### **Francisco José d'Almeida Diogo**

Atualmente é professor assistente do Instituto Militar de Engenharia. Tem experiência na área de engenharia de edificações e rodovias, esta com ênfase em drenagem. No curso de graduação em Engenharia de Fortificação e Construção, ministra as disciplinas de Tecnologia da Construção, Construções Militares, Drenagem de vias, Saneamento Básico, Arquitetura e Urbanismo, além de orientar trabalhos de tema Dirigido, Iniciação à Pesquisa e Projeto de Final de Curso. No curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, ministra a disciplina de Drenagem Aplicada à Infraestrutura de Transportes.

**Contribuição de coautoria:** Redação - revisão e edição.

### **Igor da Silva Rocha Paz**

É Chefe do Laboratório de Meteorologia Aplicada e Redução de Riscos e Prevenção de Desastres



Naturais (LAMP), Professor de Graduação dos Cursos de Engenharia de Fortificação e Construção e de Engenharia Cartográfica, Professor Permanente de Pós-Graduação do Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes e dos Cursos de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Defesa e Adjunto da Pró-reitoria de Pesquisa, Extensão e Inovação do Instituto Militar de Engenharia. É Coordenador Institucional Acadêmico-Científico do Programa CAPES/BRAFITEC, Coordenador Institucional Acadêmico-Científico do Programa CAPES/BRAFITEC, Coordenador Institucional Acadêmico-Científico do Acordo de Cooperação Internacional IME-École des Ponts ParisTech e Bolsista de Pesquisa pelo Programa Jovem Cientista do Nosso Estado pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro. Atua nas áreas de Hidrometeorologia, Instrumentação e Monitoramento para Redução de Riscos de Desastres Naturais, Previsão de chuva a curto prazo, e Sustentabilidade Urbana.

**Contribuição de coautoria:** Redação - revisão e edição.

**Como citar:** JÚNIOR et al. Modelagem de Sistema de Drenagem com Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID). Revista Paranoá. N.34, jan/jun 2023. DOI 10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.19

**Editores responsáveis:** Daniel Sant'Ana (UnB), Livia Santana (IFG), Ronaldo Rodrigues Lopes Mendes (UFPA), Sílvio Roberto Magalhães Orrico (UEFS) e Thiago Alberto da Silva Pereira (UFAL).

**Assistente Editorial responsável:** Richardson Moraes