

## **SIMULAÇÃO DE DISPOSITIVOS LID PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE ÁGUA PLUVIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTE GRANDE**

Nicole Martins Machado **Pessoa**<sup>1</sup>, Valter Antonio **Becegato**<sup>2</sup>, Adriana **Berlanda**<sup>3</sup>

(1 – Universidade do Estado de Santa Catarina, <https://orcid.org/0000-0002-7432-2008>, nicole.mpeessoa@gmail.com; 2 – Universidade do Estado de Santa Catarina, <https://orcid.org/0000-0002-6850-2846>, valter.becegato@udesc.br, 3 – Universidade do Planalto Catarinense, <https://orcid.org/0000-0001-5010-7509>, aberlanda@uniplaclages.edu.br)

**Resumo:** A urbanização na bacia hidrográfica do rio Ponte Grande se estabeleceu de forma acelerada e sem observação as dinâmicas hídricas no território, provocando deficiências na implantação das infraestruturas urbanas com muitas instalações em áreas suscetíveis a desastres hidrológicos. Conjuntamente, a impermeabilização das superfícies acontece de forma intensa, provocando grandes volumes de escoamento superficial que agravam consideravelmente os eventos de inundações e alagamentos. Objetivou-se com o presente estudo elaborar um diagnóstico da porção inicial da bacia hidrográfica do rio Ponte Grande através da comparação com as normativas existentes e o auxílio de geotecnologias buscando-se possíveis soluções aplicando modelagem. Para testar a eficiência da reorganização da paisagem e do manejo sustentável de águas pluviais organizou-se 3 cenários: o Cenário I representou a situação atual; Cenário II a área com reestruturação das APPs dos corpos hídricos e nascentes e implantação de bacia de infiltração e o Cenário III também com reestruturação das APPs mas com uso de bacia de retenção. A simulação mostrou que as bacias de retenção amortizaram as vazões de pico em 28,38%.

**Palavras-chave:** Ocupação de territórios, Hidrologia urbana, GIS, SWMM

## **SIMULATION OF LID DEVICES FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT OF RAINWATER IN THE PONTE GRANDE RIVER WATERSHED - MUNICIPALITY OF LAGES-SC**

**Abstract:** Urbanization in the Ponte Grande river watershed was established in an accelerated manner and without observing the water dynamics in its territory, causing deficiencies in the implementation of urban infrastructure with many buildings in areas susceptible to hydrological disasters. Rainwater runoff can produce erosion, flooding and increase pollutant loads. Also, the impermeabilization of surfaces happens intensively, generating intense runoff, aggravating floodings. The present study aimed to elaborate a diagnosis of the initial portion of the Ponte Grande River watershed through a comparison with the existing norms and the aid of geotechnologies, looking for possible solutions utilizing modeling software. To test the efficiency of landscape reorganization and sustainable management of rainwater, 3 scenarios were organized: Scenario I represented the current situation; Scenario II represented the area with the restructuring of the Permanent Preservation Areas (APPs) of water bodies and springs, as well as the implanting of an infiltration basin, and Scenario III also with the restructuring of the APPs but with the use of a detention basin. The simulation showed the detention basins reduced peak flows by 28.38%.

**Key words:** Occupation of territories, Urban hydrology, GIS, SWMM

## **SIMULACIÓN DE DISPOSITIVOS LID PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE AGUAS PLUVIALES EN LA CUENCA DEL RÍO PONTE GRANDE**

**Resumen:** La urbanización en la cuenca del río Ponte Grande se estableció de manera acelerada y sin observar la dinámica hídrica en el territorio, provocando deficiencias en la implementación de infraestructura urbana con muchas edificaciones en áreas susceptibles a desastres hidrológicos. La escorrentía superficial puede producir erosión, inundaciones y aumentar la carga de contaminantes. El aumento de las superficies impermeables provoca grandes escurrimientos superficiales que agravan considerablemente las inundaciones. El presente estudio realizó un diagnóstico de la parte inicial de la cuenca del río Ponte Grande por medio de la comparación con las regulaciones existentes y la ayuda de geotecnologías y analizó posibles soluciones con software de modelado. Para probar la eficiencia de la reorganización del paisaje y la gestión sostenible de las aguas pluviales, se organizaron 3 escenarios, donde el Escenario I representó la situación actual, el Escenario II el área con reestructuración de las áreas de preservación permanente (APP) de cuerpos de agua y manantiales y la implementación de un cuenca de infiltración y el Escenario III también con la reestructuración de las APP pero

con el uso de una cuenca de detención. La simulación mostró que las cuencas de detención redujeron los caudales máximos en 28,38%.

**Palabras clave:** Ocupación de territorios, Hidrologia urbana, SIG, SWMM

## Introdução

A ocupação dos territórios promove alterações ambientais e pode gerar mudanças significativas nas coberturas das superfícies e na dinâmica dos ecossistemas, estas atividades antropogênicas vêm se intensificando ao longo dos anos devido ao crescimento das populações e consequentemente a necessidade do crescimento das economias (CHRISTOFIDIS et al., 2019; PAN et al., 2021). A transição dos ambientes não costuma respeitar os sistemas naturais das águas, esta alteração do ciclo hidrológico tem como principais consequências a redução da evapotranspiração, uma vez que há substituição de vegetação de grande porte por menores ou a simples ausência de vegetação, a diminuição da infiltração da água das chuvas pela impermeabilização intensa do solo e canalizações e retificações dos cursos d'água resultando em aumento do escoamento superficial e redução do tempo de concentração das bacias hidrográficas (GONÇALVES, NUCCI, 2017; GROppo et al., 2019).

Os métodos tradicionais de drenagem pluvial, historicamente utilizados nas cidades, resumem-se na criação de técnicas estruturais com o objetivo de direcionar as vazões aos corpos hídricos o mais rápido possível, seguindo uma metodologia higienista. Entretanto, esta ação provoca a redução do tempo de concentração e o aumento das vazões de pico, transferindo e acumulando este fluxo para as bacias hidrográficas a jusante e consequentemente facilitando a ocorrência de inundações (SOUZA *et al.*, 2017; RODRIGUES, SANTINI, 2021).

Christofidis et al. (2019) verificaram que a ineficiência dos sistemas tradicionais é conhecida a muito tempo, pois estes são insuficientes para superar os problemas de águas urbanas já que a visão predominante é focada na coleta e no afastamento imediato das águas pluviais. Os autores ainda citam a contribuição dos poderes públicos e seu modo reativo à forma que a urbanização é concebida e implantada sem consideração suficiente à dinâmica hídrica.

Os sistemas sustentáveis para manejo de águas pluviais, compreendidos no conceito de hidrologia urbana, e aplicados com o intuito de manter as características naturais em um ambiente antropizado, visam aprimorar a forma com que a ocupação ocorre na bacia hidrográfica, compensar as alterações realizadas e gerir adequadamente os volumes de água dentro da própria bacia, evitando enviá-los para as unidades a jusante (THANVISITTHPON,

2019; POUR et al., 2020). Globalmente, estes sistemas adquiriram diferentes nomenclaturas como o *Best Management Practices* (BMPs) iniciado em 1930 e *Low Impact Development* (LID) nos anos 2000 nos Estados Unidos, *Sustainable Drainage Systems* (SUDs) em 1992 no Reino Unido, *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) em 1992 na Austrália e *Low Impact Urban Design and Development* (LIUDD) em 2006 na Nova Zelândia (LUAN et al., 2019).

Os dispositivos podem apresentar diferentes configurações e os sistemas podem estar associados. Estes devem ser projetados de acordo com as características de cada local, assim garante-se a implantação eficaz. Para auxiliar nesse processo, a modelagem tem sido empregada, já que permite o entendimento e quantificação dos processos que ocorrem nas bacias hidrográficas, contribuindo para a compreensão de cenários atuais e previsão de impactos em cenários hipotéticos, favorecendo a gestão e fundamentação de decisões (ONGDAS et al., 2020; KUMAR et al., 2021).

Objetivou-se com este estudo testar soluções incorporando as diretrizes de hidrologia urbana para atenuação das vazões de pico, por meio de geoprocessamento e simulações, na bacia hidrográfica do rio Ponte Grande, município de Lages-SC.

## **Materiais e Métodos**

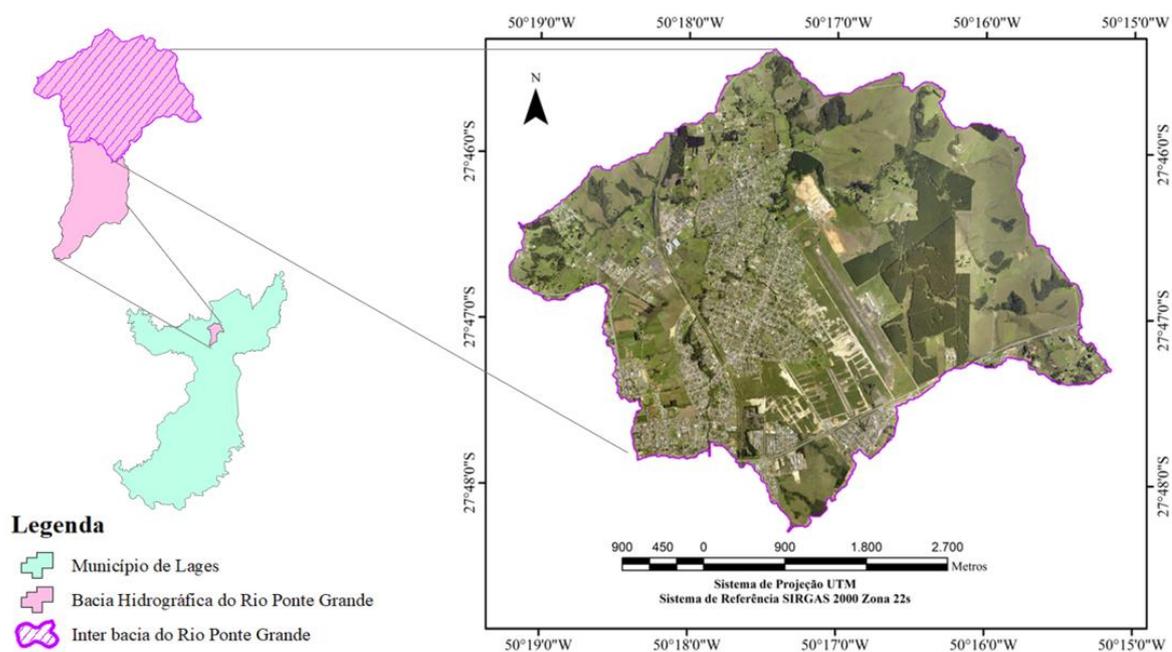
O pré-processamento da bacia hidrográfica no *software* ArcGis foi desenvolvido utilizando-se de Modelo Digital de Terreno (MDT); o mapa de uso e ocupação foi elaborado a partir de ortofotos com resoluções espaciais de 1 metro e pixel de 0,4 metros (Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina, 2012), além de visitas *in loco*. Para análise do uso da terra através dos anos, foram utilizados mosaicos oriundos de sensoriamento remoto do projeto MapBiomas (MAPBIOMAS, 2020) e para simulação de diferentes cenários empregou-se o *Storm Water Management Model* (SWMM).

### *Área de estudo*

A bacia hidrográfica do rio Ponte Grande, afluente da margem direita do rio Caveiras, com foco em sua porção inicial cuja área é de 18,88km<sup>2</sup> (Figura 1), compreendida nas coordenadas 27° 46' 31,1" S e 50° 17' 30,7" W, e representa aproximadamente 69% de toda a bacia hidrográfica. O exutório foi localizado sob a BR-282, em razão das reformas realizadas

na rodovia e implantação de vias marginais que levou à canalização do rio causando a divisão artificial do fluxo através da área da seção das aduelas utilizadas.

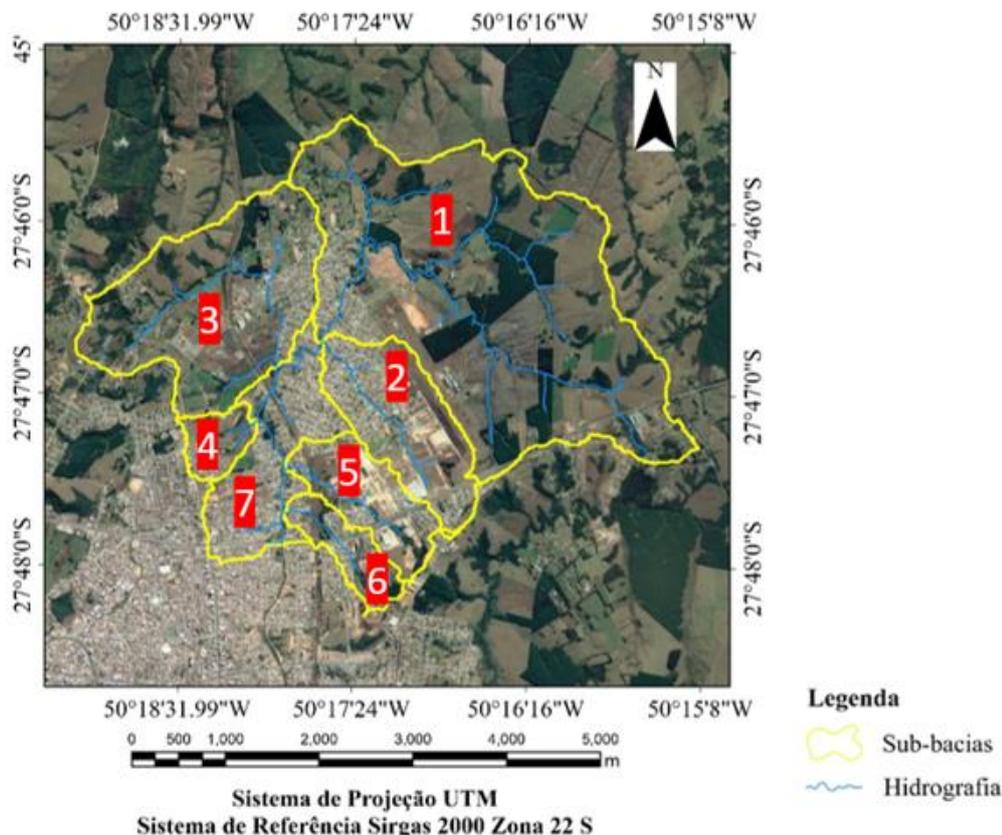
Figura 1. Mapa de localização da área em estudo.



Fonte: Autores (2023)

Com o pré-processamento realizado obteve-se a discretização da área da bacia hidrográfica que foi dividida topograficamente em 7 sub-bacias (Figura 2).

Figura 2. Divisão das sub-bacias na área em estudo.



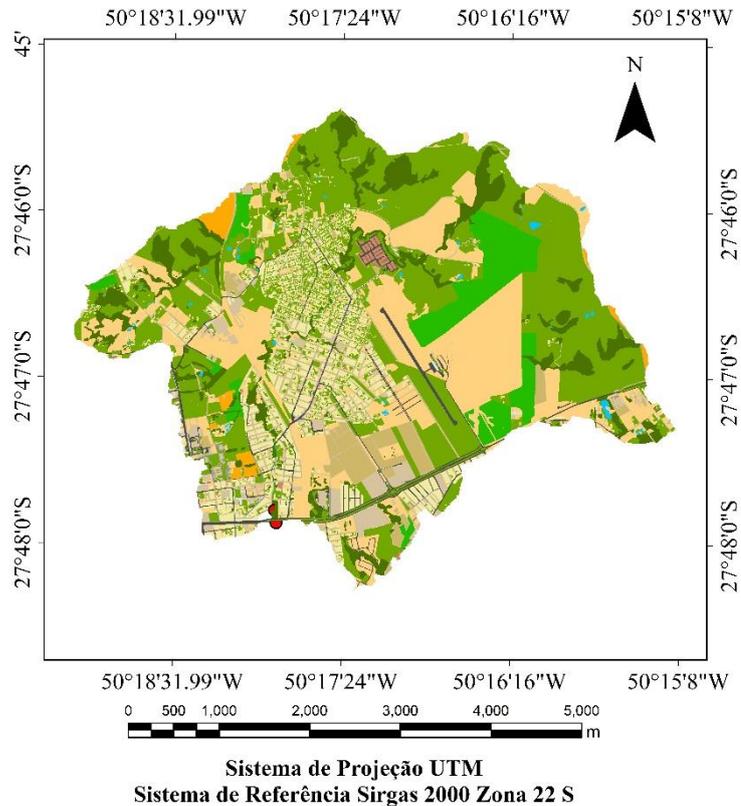
Fonte: Autores (2023)

### Cenários

A fim de determinar o efeito das ações antrópicas realizou-se o mapeamento e detalhamento das classes de uso e cobertura da terra utilizadas para as modelagens (Figura 3).

Observou-se que o processo de consolidação da área urbana aconteceu de modo a desconsiderar as marginais dos rios como áreas de risco, por conta disso onde deveriam estar matas ciliares estão edificações particulares e públicas, colocando seus ocupantes vulneráveis a eventos de inundações. Áreas de Preservação Permanente, definidas pela Lei n. 12.651/2012 como áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa (BRASIL, 2012) é medida importante para a salvaguarda das funções dos recursos hídricos e da biodiversidade. Os corpos hídricos que possuam leito de até 10 metros de largura devem apresentar margens preservadas de 30 metros, e 50 metros de raio para as nascentes, conforme as preconizações na referida Lei. As faixas marginais ao longo do rio Ponte Grande estão suprimidas em cerca de 76,36%, já as nascentes apresentam 29,81% de ocupação divergente.

Figura 3. Uso e ocupação na Bacia Hidrográfica do rio Ponte Grande - Lages/SC



### Legenda

#### Cenário I

	Bacia Hidrográfica		Campo		Concreto
	Exutório		Sem vegetação		Asfalto
	Unifamiliar		Vegetação nativa		Pavimento intertravado
	Multifamiliar		Silvicultura		Solo exposto
	Comercial		Agricultura		Água

Fonte: Autores (2023)

Para a solução de problemas com os excessos de vazões foram analisados dispositivos de amortização e a escolha das medidas compensatórias considerou as características físicas e econômicas da região, isto para que sejam eficientes e aplicáveis. As bacias de infiltração e de retenção se mostraram como alternativas mais adequadas, uma vez que se pode aproveitar, em grande parte, as depressões naturais na paisagem, naturalmente vegetadas e sem uso, e estas recolherão apenas o escoamento excedente dos corpos hídricos.

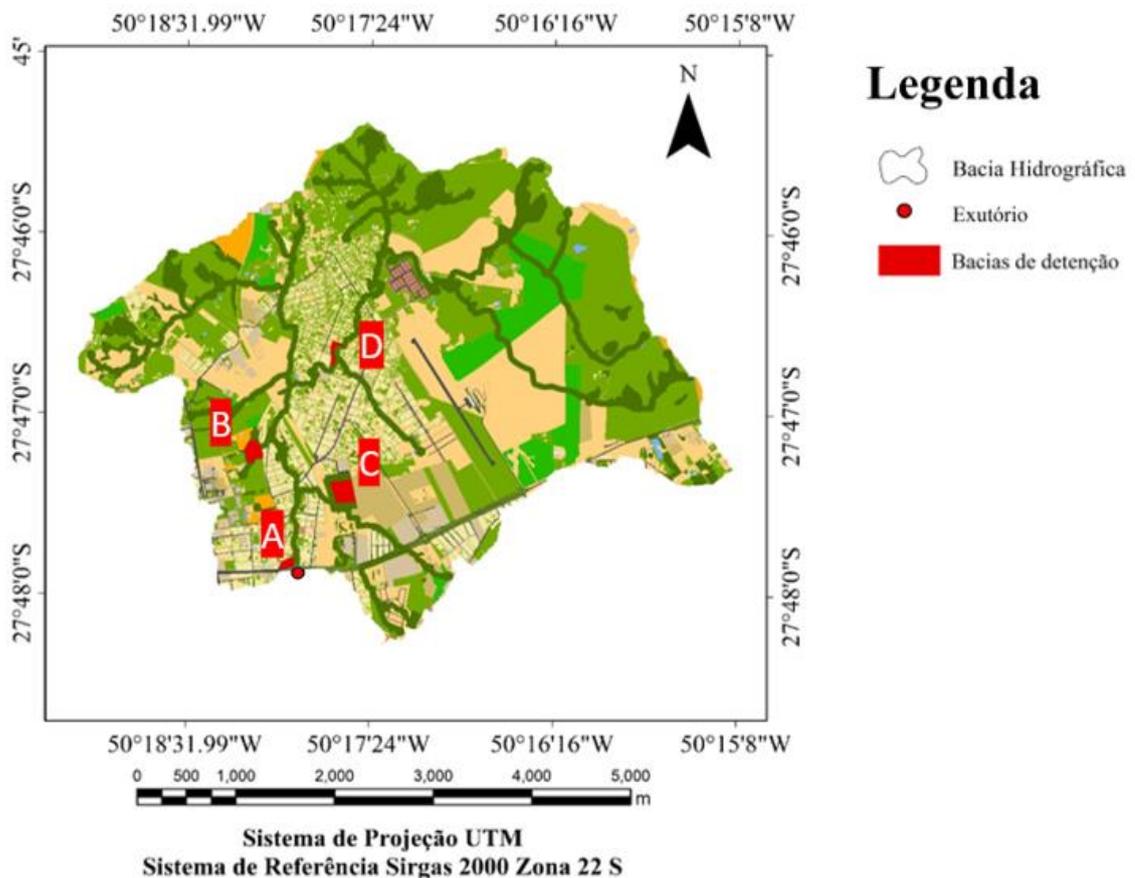
Para a simulação e obtenção de hidrogramas foram organizados três cenários:

- Cenário I: situação atual;
- Cenário II: restauração das áreas de APPs e alocação das bacias de infiltração;

- Cenário III: restauração das áreas de APPs e as bacias de detenção.

A idealização dos Cenários II e III busca restauração das APPs, por consequência as residências aí localizadas precisarão ser removidas e as famílias realocadas. Com esta ação busca-se um aumento nas áreas de vegetação nativa, que podem resultar em maior abstração vegetal da água da chuva e causar redução no escoamento superficial e atenuação das ondas de cheia (SHI et al., 2022). Para os dois cenários foi utilizado a mesma locação para os dispositivos de amortização (Figura 4). O dispositivo D fica posicionado no exutório da sub-bacia 1 e requer desapropriações na área. O dispositivo B fica localizado no exutório da sub-bacia 4 e dentro dos limites do CAV-UDESC. O dispositivo C fica dentro da sub-bacia 5, na região mais baixa do loteamento existente na região e o dispositivo A ficará no exutório da última sub-bacia (7) ocupando terreno existente que não possuía edificações até a data do presente estudo.

Figura 4. Cenário II e III - Alocação dos dispositivos de amortização e recomposição de APPs



Fonte: Autores (2023).

### *Storm Water Management Model (SWMM)*

É um modelo dinâmico de simulação de precipitações que pode ser utilizado para uma única simulação ou por um período estendido (ZENG et al., 2021). Desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA), o modelo permite a demonstração da precipitação, interceptação, infiltração, escoamento superficial nas vertentes e na rede de drenagem, evapotranspiração e armazenamento em depressões, sendo um dos programas mais utilizados para planejamento da drenagem urbana visto que permite também a inserção e quantificação de medidas de controle de vazão de pico, possibilitando o controle das inundações e o planejamento nas bacias hidrográficas urbanas (ZHANG; ZHE, 2019, PLATZ et al. 2020).

Filianoti et al. (2020) explica que o modelo consiste em vários componentes denominados como blocos, o bloco RUNOFF simula hidrogramas utilizando as características físicas da bacia e os dados meteorológicos como dados de entrada.

A infiltração nas áreas permeáveis é estimada por meio do método *Soil Conservation Service – Curve Number* no bloco RUNOFF. O parâmetro CN representa o potencial de escoamento superficial utilizando um valor numérico que varia de 0 a 100, entretanto algumas pesquisas constataam que na realidade este valor situa-se entre 40 e 98, sendo influenciado pelo uso e ocupação da terra e tipo de solo (VERMA et al., 2017). Sartori (2004) ao estudar os solos brasileiros, enquadrou os Cambissolos no Grupo Hidrológico C, sendo características marcantes deste grupo a baixa taxa de infiltração e baixa resistência a erosão.

Os valores obtidos para CN estão descritos na Tabela 1. Em virtude da heterogeneidade nos usos da terra de cada sub-bacia foi empregada média ponderada relativa ao total da área ocupada por cada classe definida.

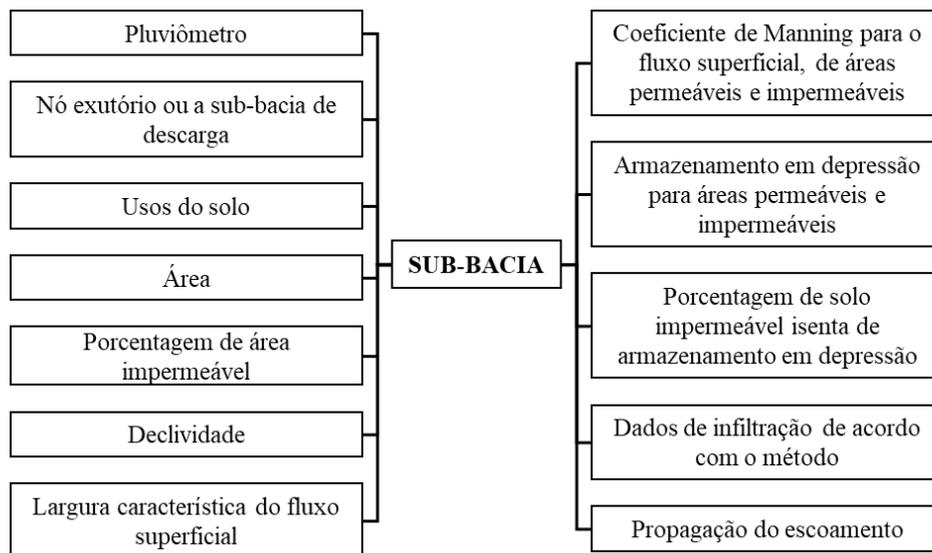
Tabela 1: Valores de CN médios obtidos para cada sub-bacia.

Sub-Bacia	CN médio	
	Cenário I	Cenário II E III
1	76	73,12
2	84,83	80,85
3	78,45	78,03
4	83,17	81,96
5	90,82	90,13
6	83,32	81,82
7	87,81	86,49

Fonte: Autores (2023).

A representação dos objetos físicos é feita com a inserção de sub-bacias, nós e condutos, que necessitam de dados de entrada para que estes sejam equivalentes ao cenário que se deseja representar. Os dados necessários para cada um encontram-se descritos na Figura 5.

Figura 5. Dados de entrada para as sub-bacias.



Fonte: Santos et al. (2020).

Os dados pluviométricos escolhidos se referem ao evento de chuva extrema ocorrida em 2017, com pluviosidade de 141mm em 24h, excedendo a média mensal histórica para o período que varia de 90 a 130mm (MEDEIROS, 2018).

As porcentagens das áreas permeáveis e impermeáveis foram determinadas a partir do mapa de uso e ocupação, e estão descritas na Tabela 2. A propagação do escoamento escolhida foi o *outlet*, visto que os corpos hídricos recebem o escoamento das áreas permeáveis e impermeáveis, sendo este método utilizado para todas as sub-bacias.

Tabela 2. Áreas impermeáveis e permeáveis.

Área	Classe	Área	Classe
Impermeável	Unifamiliar	Permeável	Silvicultura
	Multifamiliar		Agricultura
	Comercial		Sem vegetação
	Concreto		Campo
	Asfalto		Vegetação nativa
	Pavimento intertravado		
	Solo exposto		
	Água		

Fonte: Autores (2023).

Os condutos são os objetos responsáveis pelo transporte da água de um nó a outro, sendo necessárias, para a caracterização dentro do SWMM, informações de nós de entrada e saída e comprimento do conduto. Como os condutos representam os corpos hídricos dentro do sistema, os dados foram extraídos através da tabela de atributos presente no ArcGis. Além disso, o coeficiente de Manning e a geometria da seção transversal também são requeridos. Para a área foram necessárias 5 ramificações que representam os corpos hídricos detalhados na Tabela 3.

Tabela 3. Condutos definidos para representação dos corpos hídricos.

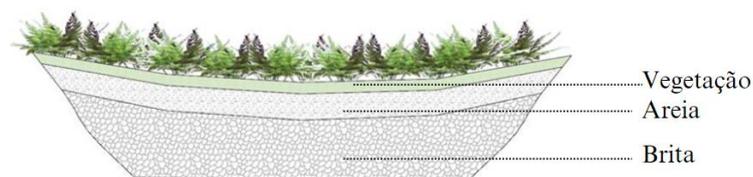
<b>Propriedades</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
Cota nó de entrada (m)	890,29	881,91	881,04	880,4	879,51
Cota nó de saída (m)	881,91	881,04	880,4	879,51	879,63
Comprimento (ha)	928,21	381,48	717,62	486,76	289,94
Coeficiente de Manning	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Seção transversal	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal

Fonte: Autores (2023).

#### *Dimensionamento dos dispositivos de amortização*

- Bacia de infiltração: os volumes são amortizados através da infiltração da camada de armazenamento que leva o fluxo até a camada de solo natural da área, não sendo empregado o dreno profundo (ROSSMAN, 2010). Na Figura 6 ilustra-se exemplo de configuração das bacias de infiltração a serem aplicadas em região próxima ao exutório de suas respectivas sub-bacias.

Figura 6. Bacia de infiltração



Fonte: Autores (2023).

A camada superficial, composta por cobertura vegetal, requer os seguintes dados de entrada: espessura, porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha, condutividade hidráulica do solo saturado, declividade da condutividade e Potencial Matricial. A capacidade de campo descreve a razão do volume de água nos poros pelo volume total do solo após ter sido drenado naturalmente. O ponto de murcha expressa a razão do volume de água nos poros de um solo relativamente seco. A declividade da condutividade hidráulica é a inclinação média

logarítmica entre a condutividade e a umidade do solo. O Potencial Matricial é o valor médio do solo na frente de umedecimento (ROSSMAN, 2010).

Conforme o manual do SWMM, a camada de solo deve manter sua espessura entre 450 e 900 mm. Adotou-se valor igual ao mínimo recomendado em função da camada impermeável se apresentar em baixas profundidades na área de estudo. Para solos com presença de argila e silte a recomendação é que se considere a declividade da condutividade hidráulica igual a 15 (ROSSMAN, 2010). Os demais dados estão descritos no Tabela 4, considerando o solo como Argilo/Arenosa (BERTOL, 2001).

Tabela 4. Camada de solo.

Camada do solo	Valor	Unidade
Porosidade	0,430	Adimensional
Capacidade de campo	0,321	Adimensional
Ponto de murcha	0,221	Adimensional
Condutividade hidráulica	0,508	mm.h <sup>-1</sup>
Potencial matricial	240,03	mm

Fonte: Autores (2023).

Para a camada de armazenamento é necessário a determinação de altura de brita ou cascalho, índice de vazios, taxa de infiltração e fator de colmatação. O manual do SWMM (ROSSMAN, 2010) recomenda que seja utilizado 150mm para a camada de brita, no entanto será feita verificação através de pré-dimensionamento a fim de garantir que este valor suprirá as necessidades de cada bacia. Para pré-dimensionamento da camada utilizou-se a metodologia disponível na Tabela 5.

Tabela 5. Pré-dimensionamento de camada de armazenamento.

Descrição	Equação
Profundidade média do volume de acumulação do dispositivo	$H = V_{m\acute{a}x} = \left( \sqrt{\frac{a}{60}} \times \sqrt{C} \times T^{\frac{b}{2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \times \sqrt{q_s} \right)^2$
Equação IDF	$i = \frac{k \times T^m}{(t + d)^n}$
Conversões da fórmula IDF usual para IDF Talbot	$a = 0,68 \times k \times esp(0,06 \times n^{-0,26} \times d^{1,13})$ $b = m$ $c = 1,32 \times n^{-2,28} \times d^{0,89}$ $i = \frac{a \times T^b}{t + c}$
Correção do parâmetro “a”	$a_{corrigido} = \frac{i_{usual}}{i_{Talbot}} \times a$
A vazão de saída constante	$q_s = \times K_{sat}$

Fonte: Silveira e Goldenfum (2007).

Na Tabela 6 apresenta-se os parâmetros utilizados para a equação IDF usual e IDF de Talbot.

Tabela 6. Parâmetros das Equações IDF.

Parâmetros da Equação IDF usual		Parâmetros da Equação IDF de Talbot	
K	2050,00	A	25009,121
M	0,20	B	0,20
D	30	C	35,53
N	0,89		

Fonte: Autores (2023).

Bertol (2001) define que o Cambissolo Húmico Alumínico contém 42,1 g.kg<sup>-1</sup> de argila, 43,7 g.kg<sup>-1</sup> de silte e 14,2 g.kg<sup>-1</sup> de areia. Os dados fornecidos expressam que o solo se aproxima da textura Argilo/Arenosa, sendo o valor da condutividade hidráulica do solo saturado igual a 0,508. Com o coeficiente redutor proposto por Silveira e Goldenfum (2007) igual a 0,5, a vazão de saída constante do dispositivo será igual a 0,254 mm.h<sup>-1</sup>.

Os coeficientes de escoamento e a profundidade mínima requerida para as bacias de retenção se encontram na Tabela 7.

Tabela 7. Pré-dimensionamento.

Bacia	i usual (mm.h <sup>-1</sup> )	i Talbot (mm.h <sup>-1</sup> )	a corrigido	qs (mm/h)	H (mm)
A	113,03	874,49	3232,59	0,254	35,01
B	113,03	874,49	3232,59	0,254	22,37
C	113,03	874,49	3232,59	0,254	12,29
D	113,03	874,49	3232,59	0,254	10,32

Fonte: Autores (2023).

A altura da camada de brita sugerida por Rossman (2010) se mostrou adequada para as quatro bacias de infiltração. Para o índice de vazios obteve-se o valor de 0,75, estando dentro dos valores recomendados. O mesmo autor recomenda que o valor mínimo no SWMM para a taxa de filtração seja de 250 mm.h<sup>-1</sup>.

Bacia de retenção: se diferencia, no SWMM, da bacia de infiltração apenas pela última camada, ou seja, o fundo da camada de armazenamento é impermeável e os volumes são direcionados ao dreno profundo, que os encaminha até o corpo hídrico. Assim, os critérios adotados para a camada de superfície e camada de solo foram os mesmos utilizados para a bacia de infiltração, no entanto, o cálculo da altura de armazenamento utiliza outra metodologia.

Por necessitar de impermeabilização e dreno profundo com diâmetro considerável, este dispositivo conta com maiores interferências para a sua implantação, o que permite que sejam

adotadas maiores profundidades. Dessa forma, para a bacia de detenção será utilizado como critério de dimensionamento a vazão obtida através do pico de precipitação presente na série temporal empregada, relacionando a mesma com a fórmula do coeficiente de drenagem, descrito na Tabela 8.

Tabela 8. Relação densidade de fluxo.

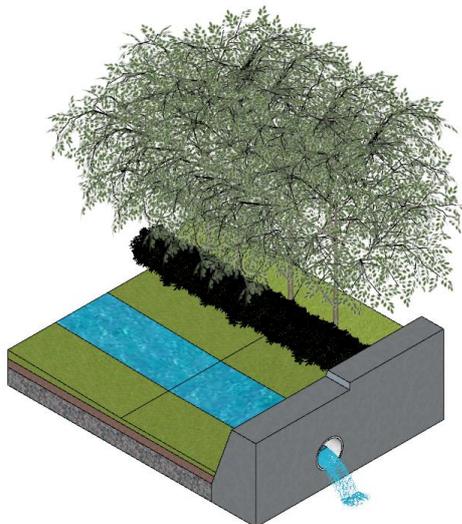
Pré-dimensionamento – bacia de detenção		Parâmetros da equação	
Coeficiente de drenagem	$C = \frac{q}{(h - Hd)^n}$	q (m/h)	1600
		h (mm)	1500
		Hd (mm)	1000
		N	0,5

Fonte: Adaptado Rossman (2010) e Autores (2023).

Os parâmetros h e Hd referem-se à altura de armazenamento e ao diâmetro do dreno profundo, respectivamente.

Assim como os autores Platz et al. (2020), detectou-se limitação na simulação da bacia de infiltração, pois o *software* não consegue simular a infiltração lateral da água nas camadas de armazenamento. Para possibilitar a simulação, utilizou-se os critérios pré-programados no SWMM, mas na aplicação do sistema em situação real os resultados podem ser melhorados quando estas são alocadas no exutório das sub-bacias em que se localizam, mas, ao longo do corpo hídrico (*inline*). Dessa forma, o dreno deve ser dimensionado de maneira a suportar o fluxo equivalente à vazão normal do rio e a vazão excedente, quando ocorrer, é armazenada e lentamente liberada, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7. Configuração da bacia de detenção.



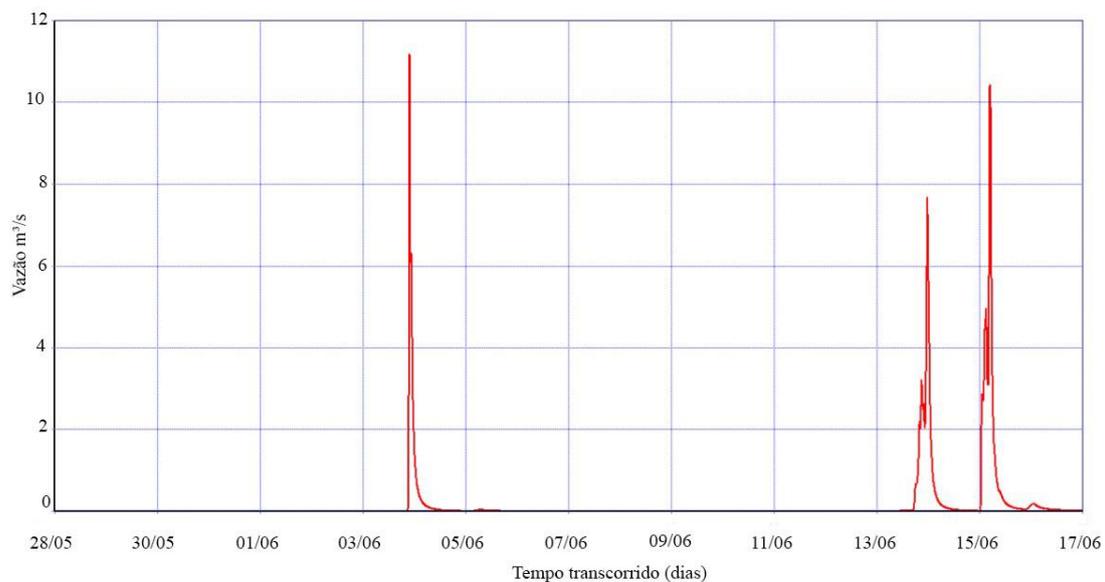
Fonte: Autores (2023).

Uma vez que a impermeabilização não é necessária, a camada de vegetação empregada é responsável pela estabilidade dos taludes e também por melhorar a qualidade das águas pluviais. Tem-se então, nesta configuração, a associação da retenção com a infiltração, a evapotranspiração e a fitorremediação (PLATZ et al., 2020; RONG *et al.* 2021).

## Resultados e discussões

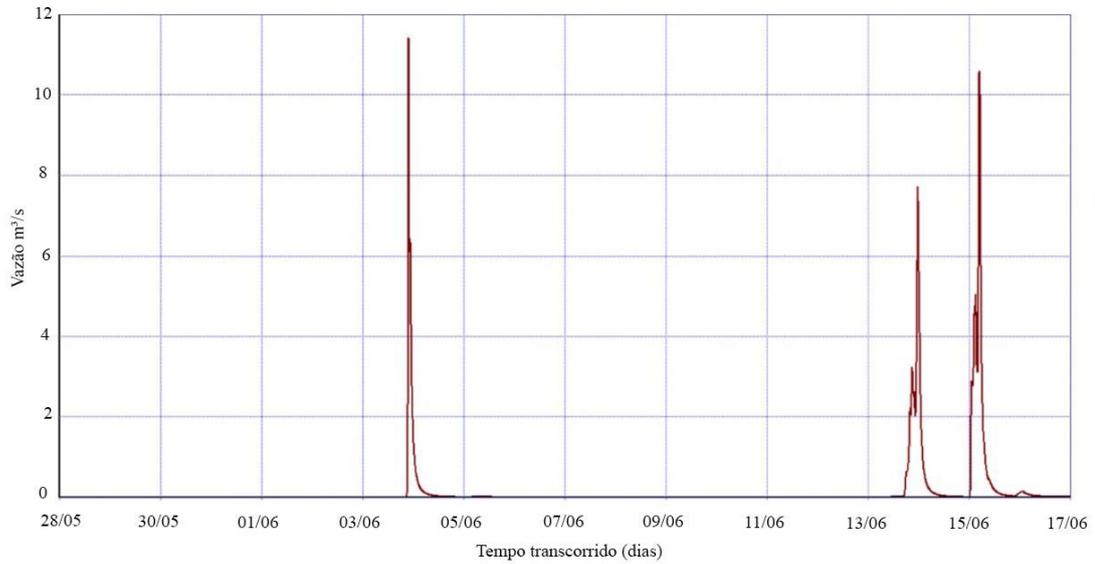
Após a modelagem dos Cenários I, II e II a simulação foi executada e os erros de continuidade foram inferiores a 10%. Os hidrogramas obtidos estão apresentados nas Figuras 8 a 10 e são representativos da vazão que chega ao ponto exutório da bacia.

Figura 8. Resultado da simulação no Cenário I.



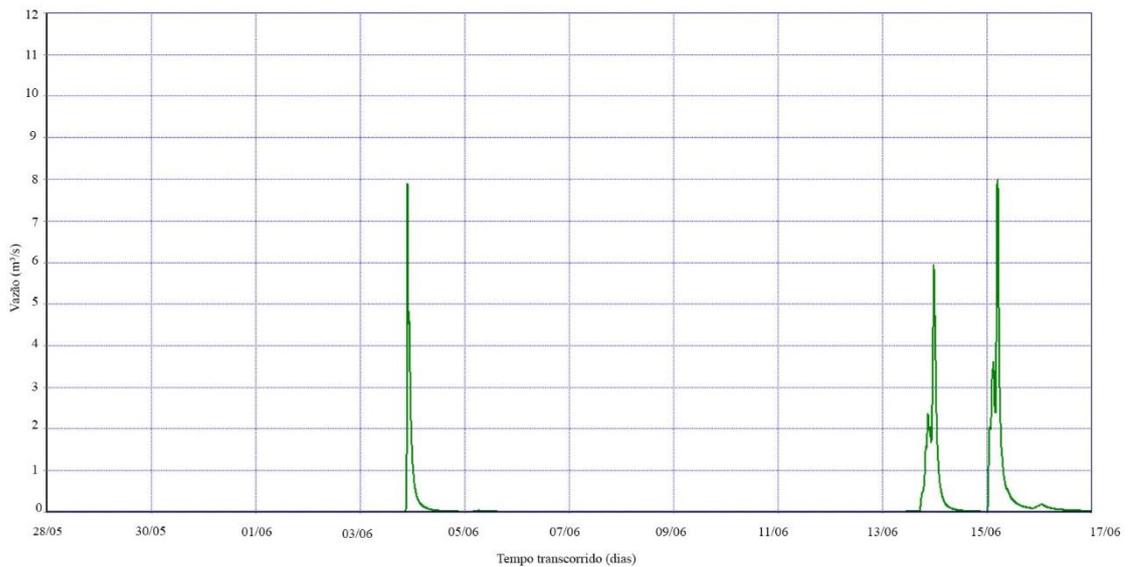
Fonte: Adaptado de relatório SWMM (2023).

Figura 9. Resultado da simulação no Cenário II.



Fonte: Adaptado de relatório SWMM (2023).

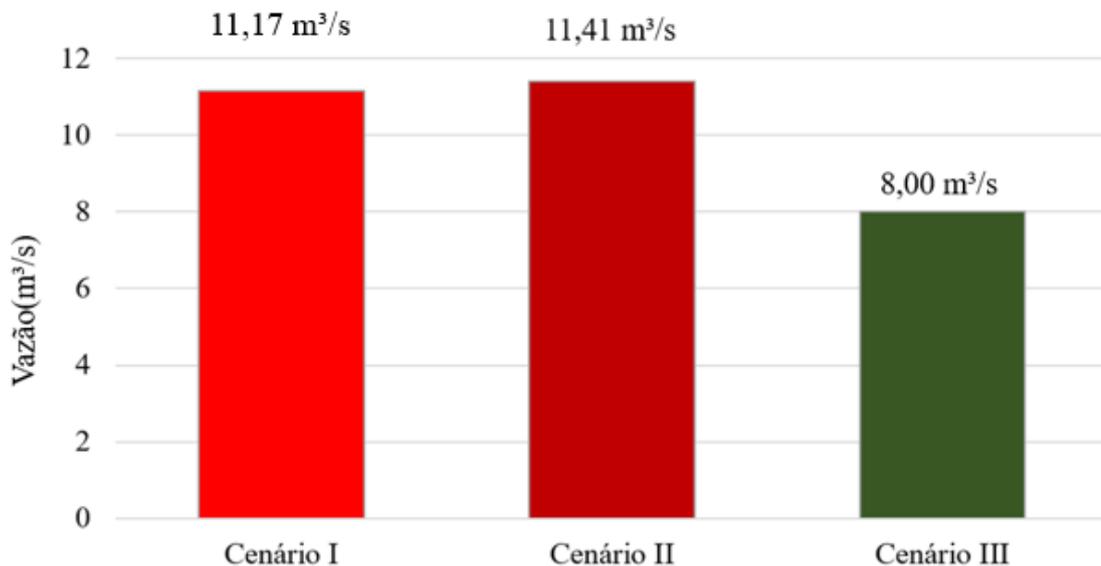
Figura 10. Resultado da simulação no Cenário III



Fonte: Adaptado de relatório SWMM (2023).

O ponto de maior vazão em ambos os cenários acontece no dia 04 de julho, dia em que ocorre a maior acumulação de volume precipitado da série temporal. Na Figura 11 encontram-se as vazões de pico dos três cenários.

Figura 11. Comparação da vazão de pico dos cenários.



Fonte: Autores (2023).

Com a análise das vazões de pico é possível perceber um aumento de 2,15% no Cenário II, onde foram aplicadas as diretrizes de ampliação da vegetação nativa e bacias de infiltração. Tal comportamento diverge das expectativas da aplicação de medida de amortização. Canholi (2014) e Martins (2017) esclarecem que sistemas de controle centralizado, como é o caso das bacias de infiltração, possuem melhor eficiência em áreas afastadas do núcleo urbano, pois os usos da terra não apresentam coberturas tão impermeabilizadas quando comparadas às áreas urbanizadas consolidadas, associado a baixa permeabilidade do solo, justifica assim o resultado insatisfatório dessa medida compensatória.

No Cenário III, no qual também foi aplicado a ampliação da vegetação nativa em APPs e instalação de bacias de retenção, conforme critérios pré-programados no *software*, houve uma amortização equivalente a 28,38% em relação ao cenário atual, considerado um resultado satisfatório. O sucesso deste dispositivo se deve ao represamento e da lenta liberação do fluxo através do dreno profundo. A modelagem não considera a infiltração e evapotranspiração uma vez que o dispositivo é não permeável e não vegetado, por tanto, uma configuração que considere tais processos obterá melhores resultados.

Vemula et al. (2020) estudaram o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Musi na cidade de Hyderabad na Índia, utilizando também bacias de retenção. Os autores obtiveram 23% de amortização das vazões de pico. Akter et al. (2020) ao analisar uma bacia

hidrográfica na cidade de Chittagong, em Bangladesh, detectaram amortização de 28,66% através da utilização de bacias de retenção.

Outra possível solução para esta região é a aplicação de técnicas de controle na fonte, com captação de água da chuva realizada a partir dos telhados das edificações e armazenados em cisternas estanques, no entanto essa medida é de aplicação individual, exigindo outra perspectiva para o estudo de sua implantação. Neste viés, o Plano Diretor de Desenvolvimento do Território do município de Lages-SC apresenta exigências para a construção de sistemas de captação de água de chuva em edificações novas acima de 500m<sup>2</sup> de projeção de cobertura de telhado. No entanto, essa condição exclui a maioria das residências da área, visto que a padronização dos terrenos da cidade é de 360m<sup>2</sup> (LAGES, 2018).

Ao observar o que está sendo aplicado em relação aos conceitos de hidrologia urbana, há os casos de Stenlose (Dinamarca), Queensland (Austrália), Ohio, Oregon, Texas e Utah (Estados Unidos da América) e Seul (Coreia do Sul) que utilizam de legislação para regulamentar coleta de água de chuva, suas perspectivas são voltadas a critérios de qualidade de água. Quanto ao Brasil, pode-se utilizar como exemplo as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Curitiba e Florianópolis, estas apresentam legislações que regulamentam a coleta de água pluvial com foco em controle de vazões (ROCHAT, 2020; MARTINS, 2017). Ambas as demandas são de importante aplicação e vão de encontro a sustentabilidade dos meios e a redução de prejuízos sociais e econômicos.

Curitiba se destaca com o Decreto nº 1733 de 10 de outubro de 2019 por determinar área permeável mínima e utilizar a implantação de sistema de coleta de chuva como mecanismo de prevenção de cheias, e exige que sejam aplicados em toda nova construção ou reforma localizada nas zonas problemáticas determinadas a partir de zoneamento. Os reservatórios podem ser desenvolvidos por unidade de contribuição ou em conjunto, e devem obedecer a critérios de dimensionamento (CURITIBA, 2019).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2020) apresenta um estudo de caso em que uma cisterna de retenção foi construída na praça Celso Luft, em Porto Alegre – RS (Figura 12). Este dispositivo foi instalado sob a área da praça, com capacidade de armazenamento de 6000m<sup>3</sup>. Sobre a laje do reservatório existe uma quadra de esportes, o que indica a versatilidade deste tipo de sistema. Segundo o projeto, as águas pluviais que atingem o pavimento, entram nas bocas de lobo e são levados ao reservatório. As águas, que poderiam provocar alagamentos,

são armazenadas e lentamente desviadas para a rede de drenagem existente, de acordo com sua capacidade.

Figura 12. Exemplo de execução de reservatório de detenção.



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2020).

Desta forma, a criação de legislação regulamentadora para a implantação de cisternas, como técnica de controle na fonte pode implicar em reduções nas vazões de pico, sendo aplicável outro estudo hidrológico na região. Conjuntamente, a implantação de sistema semelhante, com área disponível para lazer na região, agrega também para a qualidade de vida dos habitantes (CAHILL; 2000, DASHPER; KING, 2021, SANTOS et al., 2022).

A execução de medidas estruturais pode ser feita utilizando-se de recursos provenientes da aplicação de tarifas ao sistema de drenagem pluvial, a exemplo do que já é feito em países como a Alemanha, França, Polônia, Dinamarca, Inglaterra e País de Gales, Suécia, Suíça, Estados Unidos da América, Canadá e África do Sul (OLIVEIRA, 2022). Segundo a mesma autora, a Alemanha e a França aplicam taxas sobre a drenagem de águas pluviais de acordo, principalmente, com as medidas das áreas impermeáveis, havendo ainda incentivos para a adoção de práticas que provoquem a ampliação da permeabilidade dos lotes.

### Considerações Finais

- Na análise do Cenário I foi possível detectar a problemática relacionada com supressão das áreas de mata ciliares, além disso, observou-se áreas com depressões naturais.

- Para os cenários idealizados foram aplicadas medidas condizentes com a hidrologia urbana, restaurando a mata ciliar dos corpos hídricos e nascentes associando tais medidas a implantação de bacias de infiltração e de retenção para o Cenário II e Cenário III respectivamente, por serem os dispositivos que mais se mostram adequados às características topográficas da região. Quatro bacias foram alocadas nas depressões naturais dos exutórios das sub-bacias em que se encontravam.
- A simulação e comparação entre os cenários I e II não revelou êxito na implantação das bacias de infiltração, resultando em um aumento de 2,10% das vazões de pico. A explicação para tal efeito está na ocupação da área e também nas características do solo. Solos de baixa capacidade permeável associados à ocupação urbana resultam na não eficiência das bacias de infiltração. A comparação entre os cenários I e III demonstrou amortização de 28,34%, mostrando que as bacias de retenção são uma medida eficiente, já que sua forma de esgotamento conta com dreno profundo e não somente com a infiltração dos volumes no solo. Estes resultados podem ser otimizados com a implantação da bacia de retenção *inline* sem impermeabilização.
- Recomenda-se para a área novo estudo hidrológico investigando a eficiência da coleta de águas pluviais através dos telhados das residências e reservação destes volumes em cisternas estanques. Tal prática, conhecida como controle dos volumes na fonte, já é realizada e regulamentada através de legislação em várias cidades pelo país.

## Referencias

Associação Brasileira de Cimento Portland (2022). *Soluções Para Cidades. Reservatórios de Detenção*. <https://www.solucoesparacidades.com.br/saneamento/reservatorios-de-detencao/>

Akter, A., Tanim, A. H., & Islam, M. K. (2020) Possibilities of urban flood reduction through distributed-scale rainwater harvesting. *Water Science And Engineering*, 13(2), 95-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wse.2020.06.001>

Brasil. (2012). *Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e

dá outras providências. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)

Bertol, I., Beutler, J. F., Leite, D. & Batistela, O. (2001). Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agricola*, 58(3), 555-560. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000300018>

Canholi, A. P (2014). Drenagem urbana e controle de enchentes. 2. *Oficina de Textos*.

Cahill, C. (2000). Street Literacy: urban teenagers' strategies for negotiating their neighbourhood. *Journal Of Youth Studies*, [S.L.], 3(3), 251-277. <http://dx.doi.org/10.1080/713684375>

Christofidis, D., Assumpção, R. S. F. V., Kligerman, D. C. (2019). A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde em Debate*, 43 (3), 94-108. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042019s307>

Curitiba. (2019). *Decreto nº 1733, de 10 de outubro de 2019*. Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias para retenção e/ou detenção de águas pluviais. <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2021/00328242.pdf>

Dasher, K., & King, J. The outdoors as a contested leisure terrain. *Annals Of Leisure Research*, 25 (3). 435-443. <http://dx.doi.org/10.1080/11745398.2021.1899832>

Filianoti, P., Gurnari, L., Zema, D. A., Bombino, G., Sinagra, M., & Tucciarelli, T. (2020). An evaluation matrix to compare computer hydrological models for flood predictions. *Hydrology*, 7(3), 42. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology7030042>

Gonçalves, F. T., & Nucci, J. C. (2017). Sistemas de drenagem sustentável (suds): propostas para a bacia do rio Juvevê, Curitiba-PR. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 42, 192-209. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v42i0.47043>

Groppo, J. D., Salemi, L. F., Moraes, J. M., Trevisan, R., & Martinelli, L. A. (2019). Hydrological processes in watershed within the State Park of Serra do Mar, Santa Virgínia stewardship. *Ciência Florestal*, 29, 595-606. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831323>

Kumar, P., Debele, S. E., Sahani, J., Rawat, N., Marti-Cardona, B., Alfieri, S. M., ... & Zieher, T. (2021). Nature-based solutions efficiency evaluation against natural hazards: Modelling methods, advantages and limitations. *Science of the Total Environment*, 784, 147058. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147058>

Lages. (2018). *Lei Complementar nº 523, de 22 de agosto de 2018*. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Territorial de Lages - PDDT - Lages. <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-lages-sc>

Luan, B., Yin, R., Xu, P., Wang, X., Yang, X., Zhang, L., & Tang, X. (2019). Evaluating Green Stormwater Infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 223, 680-691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.028>

MAPBIOMAS. (2022) *Mosaicos Landsat*. [https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lcu/coverage/brasil\\_coverage\\_1985.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lcu/coverage/brasil_coverage_1985.tif)

Martins, L. G. B. (2016). *Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Medeiros, D. M. (2018). *Análise dos picos de vazão entre os sistemas de drenagem convencionais e não convencionais – LID, em uma parcela da bacia do rio Carahá no município de Lages - SC*. (Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Estado de Santa Catarina).

Oliveira, V. I. P. S. (2022) *A Integração das Redes Hidrográficas e Pluviais no Ciclo Urbano da Água. Problemas, Perspetivas, Implicações e Soluções*. (Doctoral dissertation, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto).

Ongdas, N., Akiyanova, F., Karakulov, Y., Muratbayeva, A., & Zinabdin, N. (2020). Application of HEC-RAS (2D) for flood hazard maps generation for Yesil (Ishim) river in Kazakhstan. *Water*, 12(10), 2672. <http://dx.doi.org/10.3390/w12102672>

Pan, L., Chen, Y., & Zhang, T. (2018). Impact of urbanization on flood of Shigu creek<?xmltex\break?> in Dongguan city. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 379, 55-60. <http://dx.doi.org/10.5194/piahs-379-55-2018>

Platz, M., Simon, M., & Tryby, M. (2020). Testing of the storm water management model low impact development modules. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 56(2), 283-296. <http://dx.doi.org/10.1111/1752-1688.12832>

Pour, S. H., Abd Wahab, A. K., Shahid, S., Asaduzzaman, M., & Dewan, A. (2020). Low impact development techniques to mitigate the impacts of climate-change-induced urban floods: Current trends, issues and challenges. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102373. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102373>

- Rochat, E. (2021). *Rainwater Harvesting Laws You Need to Know About*. Perfect Water. <https://4perfectwater.com/blog/rainwater-harvesting-laws#:~:text=Is%20it%20illegal%20to%20harvest,that%20falls%20on%20their%20property>
- Rodrigues, G. C., & Santini Junior, M. A. (2021). Evaluation of the use of compensatory techniques in the Ribeirão do Santa Rita urban sub-basin in the municipality of Fernandópolis, São Paulo. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 231-237. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220180251>
- Rong, G., Hu, L., Wang, X., Jiang, H., Gan, D., & Li, S. (2021). Simulation and evaluation of low-impact development practices in university construction: A case study of Anhui University of Science and Technology. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126232>
- Rossman, L. A. (2010). *Storm water management model user's manual, version 5.0*. Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.
- Santos, V. J.S, Chaves, M. V., Berlanda, A., & Steinsheuser, D. F. *Análise e dimensionamento para implantação de drenagem pluvial, com modelagem e aplicação de técnicas LID, através do software SWMM, para bacia hidrográfica do rio Ponte Grande, com ênfase na rua Independência, Lages/SC*. [Working Paper N° 6]. Universidade do Planalto Catarinense, projeto realizado para o Plano de Drenagem de Lages, SC.
- Sartori, A. (2004). Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos (Doctoral dissertation, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.).
- Shi, P., Li, P., Li, Z., Sun, J., Wang, D., & Min, Z. (2022). Effects of grass vegetation coverage and position on runoff and sediment yields on the slope of Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 259, 107231. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107231>
- Silveira, A. L. L. D., & Goldenfum, J. A. (2007). Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. *Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos*. Porto Alegre, RS. Vol. 12, no. 2 (abr./jun. 2007), p. 157-168.
- Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (2012). *Sistema de download: dados matriciais e vetoriais*. Dados matriciais e vetoriais. 2012. <http://sigsc.sc.gov.br/download/index.jsp>

Souza, C. V. F., Oliveira Rangel, R. H., & Cataldi, M. (2017). Avaliação Numérica da Influência da Urbanização no Regime de Convecção e nos Padrões de Precipitação da Região Metropolitana de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 495-508. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324001>

Thanvisitthpon, N. (2019). Impact of land use transformation and anti-flood infrastructure on flooding in world heritage site and peri-urban area: A case study of Thailand's Ayutthaya province. *Journal of Environmental Management*, 247, 518-524. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.094>

Vemula, S., Srinivasa Raju, K., & Sai Veena, S. (2020). Modelling impact of future climate and land use land cover on flood vulnerability for policy support–Hyderabad, India. *Water Policy*, 22(5), 733-747. <http://dx.doi.org/10.2166/wp.2020.106>

Verma, S., Verma, R. K., Mishra, S. K., Singh, A., & Jayaraj, G. K. (2017). A revisit of NRCS-CN inspired models coupled with RS and GIS for runoff estimation. *Hydrological Sciences Journal*, 62(12), 1891-1930. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2017.1334166>

Zeng, Z., Yuan, X., Liang, J., & Li, Y. (2021). Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104887. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104887>

Zhang, S., & Zhe, L. I. (2019, June). Simulation of urban rainstorm waterlogging and pipeline network drainage process based on SWMM. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1213, No. 5, p. 052061). IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1213/5/052061>