

# Análise do desempenho de valas de infiltração para controle pluvial em cenários de mudanças climáticas: estudo de caso Fortaleza (CE)

## *Analysis of the performance of infiltration swales for rain control in climate change scenarios: Fortaleza (CE) case study*

- **Data de entrada:**  
01/07/2022
- **Data de aprovação:**  
03/07/2023

Lívia de Oliveira Lima<sup>1\*</sup> | Lucas Daniel de Carvalho Santos<sup>2</sup> | Taís Maria Nunes Carvalho<sup>1</sup> | Francisco de Assis Souza Filho<sup>1</sup> | DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.040>

### ORCID ID

Lima LO  <https://orcid.org/0000-0002-0217-8406>  
Santos LDC  <https://orcid.org/0000-0002-0108-9401>

Carvalho TMN  <https://orcid.org/0000-0001-8658-9781>  
Souza Filho FA  <https://orcid.org/0000-0001-5989-1731>

### Resumo

O manejo de águas pluviais tem papel fundamental no controle dos impactos causados ao ciclo hidrológico, os quais são decorrentes do crescimento urbano desordenado. Porém, medidas de infiltração não são priorizadas, tampouco são considerados os agravantes dos eventos climáticos extremos no dimensionamento de sistemas de drenagem. O objetivo deste artigo é analisar o desempenho de valas de infiltração para reduzir os escoamentos de pico, diante dos possíveis cenários de mudanças climáticas. Com a utilização do software Storm Water Management Model (SWMM), foram realizadas simulações com a implantação de valas de infiltração, considerando duas vias de concentração representativas (RCP 4.5 e RCP 8.5) e seis modelos de circulação global (GCMs): BCC-CSM1, CanESM2, CCSM4, CESM1-CAM5, Inmcm4 e MIROC5. O local especificado para o estudo foi uma sub-bacia da região centro-oeste de Fortaleza (CE). Os resultados mostraram uma redução dos escoamentos de pico inferior a 10% em todos os cenários GCM/RCP, obtendo-se os melhores desempenhos nos modelos MIROC5 e CanESM2, com redução de 9,64% e 9,31% respectivamente. Observou-se ainda que é mais vantajoso e menos oneroso implantar valas apenas na porção da bacia à jusante da lagoa de retenção 01 (LR 01) existente. Dessa forma, a metodologia de incorporação de cenários climáticos GCM e RCP, associada à implementação de medidas compensatórias de drenagem urbana, revela-se como uma boa alternativa a ser considerada no gerenciamento de águas pluviais.

**Palavras-chave:** Drenagem urbana. Desenvolvimento de baixo impacto. Modelos de circulação global. SWMM.

### Abstract

*The management of rainwater has a key role in controlling the impacts caused to the hydrological cycle, which result from disordered urban growth. However, infiltration measures are not prioritized, nor are the aggravating factors of extreme weather events considered in the sizing of drainage systems. The objective of this study is*

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará – Fortaleza – Ceará – Brasil

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Quixadá – Ceará – Brasil

\* **Autora correspondente:** [livialima.eng@hotmail.com](mailto:livialima.eng@hotmail.com)

to analyze the performance of infiltration swales to reduce peak runoff, in the face of possible climate change scenarios. Simulations were carried out using the Storm Water Management Model (SWMM) software, with the implementation of infiltration swales, considering two representative concentration pathways (RCP 4.5 and RCP 8.5) and six global circulation models (GCMs), such as: BCC-CSM1, CanESM2, CCSM4, CESM1-CAM5, Inmcm4, and MIROC5. The study area specified was a sub-basin in the midwest region of Fortaleza (CE). The results showed a peak runoff reduction of less than 10% in all GCM/RCP scenarios, with the best performances observed in the MIROC5 and CanESM2 models, with a reduction of 9.64% and 9.31%, respectively. It was also observed that implementing infiltration swales only in the downstream portion of the existing retention pond 01 (LR 01) is more beneficial and less costly. Thus, the methodology of incorporating GCM and RCP climate scenarios, combined with the implementation of compensatory urban drainage measures, proves to be a good alternative to be considered in rainwater management

**Keywords:** Urban drainage. Low impact development. Global circulation models. SWMM.

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução do desenvolvimento urbano causou conflitos significativos entre as cidades e o ciclo hidrológico. Segundo Tucci (2002), um dos graves problemas nesse processo de desenvolvimento urbano resulta da expansão – geralmente irregular – que ocorre sobre as áreas dos mananciais de abastecimento humano e compromete a sustentabilidade hídrica das cidades.

Somam-se a isso os cenários de intensificação das chuvas, associados às mudanças climáticas, que provocam o aumento do volume de água escoada e, conseqüentemente, causam impactos associados às cheias urbanas, agravados pela impermeabilização do solo.

Os avanços nos campos da hidrologia urbana e do controle de inundações destacam a utilização de medidas compensatórias em drenagem urbana como uma necessidade para o desenvolvimento sustentável das cidades, que busca sempre uma forma de mitigar e reduzir os impactos do processo de urbanização sobre o ciclo hidrológico (Miguez; Veról; Rezende, 2016).

Nesse contexto, foram desenvolvidos métodos compensatórios de manejo de águas pluviais,

denominados *best management practices* (BMPs), que são constituídos de um planejamento em escala de bacia e da aplicação de dispositivos de armazenamento e infiltração (por exemplo, bacias de retenção, bacias de retenção, pavimentos permeáveis, microrreservatórios, valas e trincheiras de infiltração). Tal abordagem passou a ser recomendada mundialmente a partir da década de 1970, e em alguns municípios brasileiros na década de 2000 (Souza; Cruz; Tucci, 2012).

Miguez, Veról e Rezende (2016) destacam a utilização de medidas que favorecem a infiltração e são importantes no sentido de resgatar aspectos naturais do ciclo hidrológico. A título de exemplo, as próprias valas de infiltração, que têm como principal função transportar o escoamento superficial ao longo de estradas, contribuindo para a redução da sua velocidade. Além disso, elas promovem a redução da descarga de pico, o aumento da infiltração e a melhora da qualidade da água do escoamento, com um custo relativamente baixo.

Atualmente, para o dimensionamento dos sistemas de drenagem de uma cidade, ainda não são considerados os possíveis efeitos das mudanças climáticas, sendo tradicionalmente utilizadas as observações

históricas em condições estacionárias. Desse modo, verifica-se a necessidade de considerar os reflexos que as mudanças climáticas e a consequente intensificação das precipitações têm e terão sobre as infraestruturas de drenagem urbana das cidades (Ramos, 2010).

Segundo Sabóia (2016), a nova e robusta metodologia de dimensionamento do sistema de drenagem urbana, que incorpora possíveis mudanças climáticas, é uma possibilidade a ser considerada, pois integra diferentes projeções geradas por modelos de circulação global (GCMs – *global circulation models*). Tal metodologia ainda utiliza diferentes critérios de tomadas de decisão, baseados nos custos de implantação do sistema de drenagem urbana referente a cada cenário climático.

Os GCMs são algumas das ferramentas mais avançadas disponíveis para estimar a resposta do sistema climático global ao aumento dos níveis dos gases do efeito estufa (Perry *et al.*, 2007). Esses modelos incorporam as expectativas de mudanças nas precipitações com base nas mudanças climáticas, sendo capazes de modelar numericamente os processos físicos da atmosfera, dos oceanos, da criosfera e da superfície terrestre (Sabóia *et al.*, 2017).

Este trabalho tem o objetivo de analisar o desempenho de valas de infiltração para reduzir os escoamentos de pico durante chuvas extremas, em função de diferentes cenários de mudanças climáticas. Para tanto, utilizaram-se o software *Storm Water Management Model* (SWMM) e equações de intensidade, duração e frequência (IDF), para analisar duas vias de concentração representativas (RCP 4.5 e RCP 8.5) e seis GCMs em diferentes situações de implantação.

## 2 METODOLOGIA

O estudo foi baseado na metodologia utilizada por Carvalho, Souza Filho e Sabóia (2020). Enquanto o referido trabalho estuda a aplicação de cisternas, este analisa a implantação de valas de infiltração.

### 2.1 Área de estudo

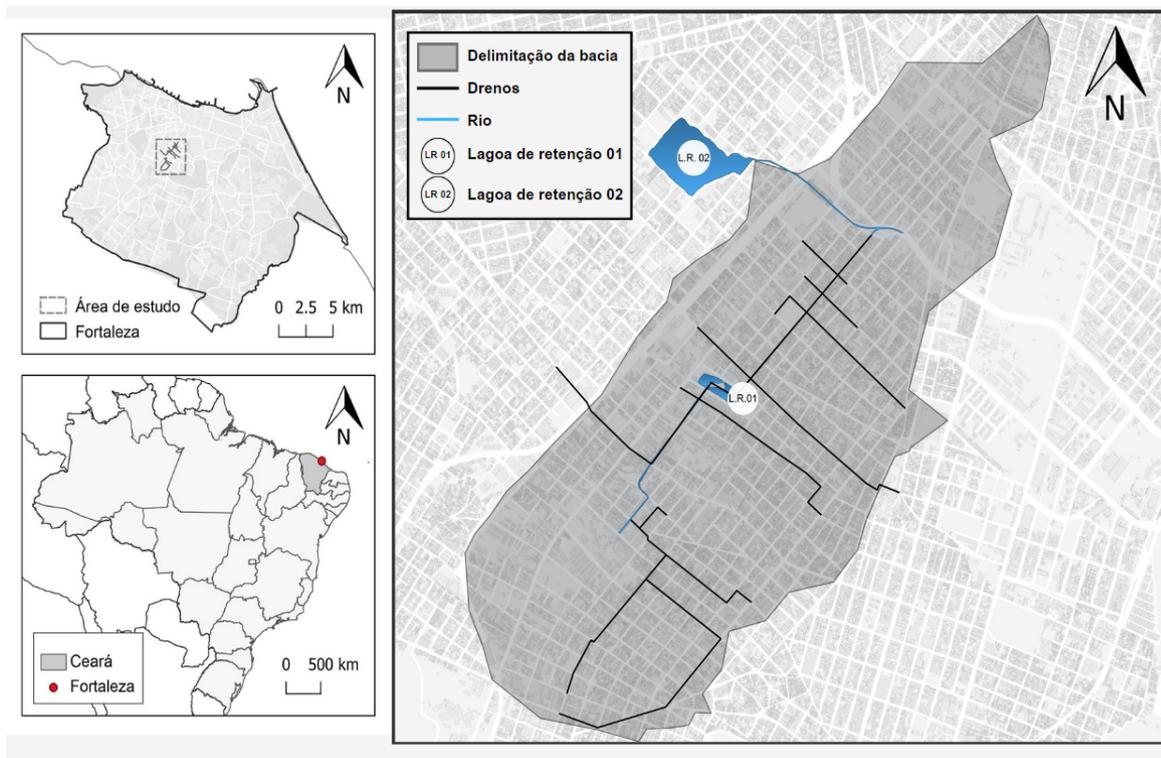
A cidade de Fortaleza, fundada em 13 de abril de 1726, desenvolveu-se às margens do Rio Pajeú. Ao longo dos anos, viu um crescimento acelerado – em grande parte de forma desordenada –, intensificando os problemas acarretados pelas águas pluviais (Souza Filho; Araújo, 2016).

Quanto aos aspectos climáticos, Fortaleza tem um clima tropical, quente e subúmido, com precipitação média anual de 1.338 mm, chuvas concentradas de janeiro a maio e temperatura média diária que varia de 26 a 28°C (Ipece, 2012). O objeto de estudo encontra-se na região centro-oeste de Fortaleza (Figura 1). O sistema de drenagem de águas pluviais possui múltiplos drenos de canal aberto e duas lagoas de retenção, com área de drenagem de 330 ha (Carvalho; Souza Filho; Sabóia, 2020).

### 2.2 Cenário de mudanças climáticas, curvas IDF e hietogramas

Considerando os cenários de mudanças climáticas, as equações IDF para Fortaleza foram obtidas com base no estudo de Sabóia *et al.* (2017 *apud* Carvalho; Souza Filho; Sabóia, 2020). O GCM é considerado uma das formas de incorporar explicitamente a não estacionariedade ou as mudanças nas condições climáticas para períodos futuros. Os GCMs simulam os padrões atmosféricos em escalas de grade maiores (geralmente superiores a 100 km), enquanto os modelos climáticos regionais (RCM – *regional climate models*) são desenvolvidos para incorporar os efeitos de escala local, contando com escalas de grade menores, geralmente de 25 a 50 km (Srivastav; Schardong; Simonovic, 2014).

Segundo Sabóia (2016), as resoluções espaciais dos GCMs são incompatíveis com o tamanho de uma bacia hidrográfica, tornando necessário obter uma conexão entre os dados desses modelos e os equivalentes em uma resolução mais precisa (mais próxima da realidade). Uma das técnicas utilizadas para realizar essa conexão é chamada de *downscaling*, que pode ser subdividida em dois tipos: dinâmica e estatística.



**Figura 1** – Localização da área de estudo.

Fonte: Adaptado de Carvalho, Souza Filho e Sabóia (2020).

A abordagem dinâmica usa modelos de área limitada ou de alta resolução para simular processos físicos em escalas finas, com condições de contorno dadas por uma escala grosseira. Já a abordagem estatística transforma as projeções climáticas de escala grosseira em uma escala mais fina, por meio de funções que conectam o

clima nas duas resoluções espaciais (Li; Sheffield; Wood, 2010).

Segundo a metodologia de Carvalho, Souza Filho e Sabóia (2020), os GCMs utilizados neste estudo foram extraídos do 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – CMIP 5 (Tabela 1).

**Tabela 1** – Modelos de circulação global utilizados neste estudo.

Modelo	Centro de Pesquisa	Resolução de grade espacial (graus)
BCC-CSM1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	2,8 × 2,8
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	2,8 × 2,8
CCSM4	National Center for Atmospheric Research	1,25 × 0,94
CESM1-CAM5	National Center for Atmospheric Research	1,25 × 0,94
inmcm4	Institute for Numerical Mathematics, Russia 2.00x	2,00 × 1,50
MIROC5	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	1,4 × 1,41

Fonte: Carvalho, Souza Filho e Sabóia (2020).

A seleção dos modelos climáticos foi baseada em um estudo anterior, de Silveira *et al.* (2013), que analisou modelos CMIP5 de representação da variabilidade das chuvas no Nordeste do Brasil (Carvalho; Souza Filho; Sabóia, 2020). Dessa forma, foram analisados dois cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5, sendo os RCPs combinados com os GCMs, num total de doze cenários de eventos climáticos analisados.

Os *representative concentration pathways* (RCPs) recebem seus nomes a partir dos níveis das forçantes radiativas, conforme relatado pelas equipes de modelagem elaboradoras de cada RCP. Sendo assim, RCP-X implica um cenário no qual a forçante radiativa de estabilização, ou de pico

ou ao final do século XXI, corresponde a  $X \text{ W.m}^{-2}$  (Silveira *et al.*, 2016).

A Equação 1 representa a formulação empírica utilizada para estimar a equação IDF:

$$(1) \quad i = \frac{BT^d}{(t+c)^b}$$

Em que  $i$  é a intensidade da chuva (mm/h);  $T$  é o tempo de retorno em anos;  $t$  é a duração da chuva (minutos);  $B$ ,  $d$ ,  $c$  e  $b$  são parâmetros da equação. Foram calculadas doze equações IDF com base nos dados diários de precipitação de seis modelos de circulação global, nas projeções RCP 4.5 e RCP 8.5 (Tabela 2).

**Tabela 2** – Parâmetros da equação intensidade-duração-frequência para 2070–2099.

Modelo	RCP 4.5				RCP 8.5			
	$B$	$d$	$c$	$b$	$B$	$d$	$c$	$b$
BCC-CSM1	734,8541	0,0873	20,6649	0,7476	788,444	0,0876	20,8779	0,7278
CanESM2	702,8991	0,1427	19,133	0,6931	691,5597	0,1962	16,7853	0,6415
CCSM4	620,9295	0,2544	17,3028	0,6489	686,3308	0,2026	14,2544	0,6055
CESM1-CAM5	736,9068	0,1624	14,4142	0,6079	876,0093	0,2255	7,6045	0,5107
inmcm4	541,0216	0,3291	12,291	0,5787	762,2614	0,1619	19,7644	0,6843
MIROC5	639,8823	0,2003	15,9149	0,6361	647,7016	0,1897	19,6886	0,7040

Fonte: Carvalho, Souza Filho e Sabóia (2020).

A Equação 2 representa a equação oficial do IDF de Fortaleza (Silva; Palácio Júnior; Campos, 2013) – que é utilizada em projetos de sistemas de drenagem urbana na cidade –, assim como representa as condições climáticas de referência (século XX).

$$(2) \quad i = \frac{2345,29T^{0.173}}{(t+28,31)^{0.904}}$$

Em que  $i$  é a intensidade da chuva (mm/h),  $T$  é o tempo de retorno em anos e  $t$  é a duração da chuva (minutos).

A precipitação de projeto foi calculada com as equações IDF para um período de retorno de 25 anos. Já a duração da chuva foi calculada de acordo com o tempo de concentração de cada trecho, estimado pela equação de Kirpich (Equação 3).

$$(3) \quad T_c = \frac{0,019 \cdot L^{0.77}}{S_0^{0.385}}$$

Em que  $T_c$  é o tempo de concentração (horas),  $L$  é o comprimento do fluxo (m) e  $S_0$  é a declividade média do fluxo (m/m).

Conforme a metodologia de Carvalho, Souza Filho e Sabóia (2020), a duração do evento de chuva simulado foi definida como o dobro do maior tempo de concentração dos trechos da bacia. A profundidade total de chuva foi distribuída temporalmente usando o método de blocos alternados, no qual a duração total da chuva ( $t = 2 \text{ h}$ ) é dividida por um intervalo de tempo  $\Delta t$  (neste estudo,  $\Delta t = 5$  minutos).

Não existe uma regra geral para escolher a duração do incremento de tempo, mas geralmente, para tempestades de duas horas ou menos, intervalos de 5 a 10 minutos são suficientes; enquanto para eventos de tempestade mais longos, o  $\Delta t$  pode variar de 10 a 20 minutos. As intensidades de chuva são estimadas a partir da curva IDF para  $n = t/\Delta t$ .

Os hietogramas foram calculados para doze cenários de mudanças climáticas e o cenário climático de linha de base (Autarquia da Região Metropolitana de Fortaleza – AUMEF). Com base em cada evento de tempestade (65 no total), uma modelagem de chuva-vazão foi realizada para transformar os hietogramas em hidrogramas (Carvalho; Souza Filho; Sabóia, 2020).

### 2.3 Simulação SWMM e parâmetros de entrada de dimensionamento da vala de infiltração

O *storm water management model* (SWMM) foi desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA), sendo um dos mais completos e robustos modelos para tratar de problemas de cheias urbanas. De acordo com Rossman (2015), ele pode ser aplicado ao projeto e dimensionamento de componentes do sistema de drenagem, à avaliação da efetividade de dispositivos de controle do escoamento, ao estudo de cargas de poluição, entre outras aplicações.

O SWMM permite auxiliar no estudo de *low impact development* (LIDs), técnicas compensatórias de baixo impacto tais como as valas de infiltração.

O modelo determina a vazão de infiltração através de três equações (Horton, Green e Ampt) e do método do Soil Conservation Service, que foi utilizado na modelagem da infiltração deste trabalho.

Para solos hidrológicos urbanos com percentual de impermeabilidade não especificado pelo *Technical Release 55*, estima-se o valor da curva de escoamento (CN) conforme a Equação 4 (USDA Soil Conservation Service, 1986).

$$(4) \quad CN = (\% \text{ área impermeável}) * 98 + (\% \text{ área permeável}) * CN_{\text{espaço aberto}}$$

O valor de CN para o espaço aberto foi definido de acordo com o grupo hidrológico de solos da área. Conforme relatado pelo Serviço Geológico do Brasil, a área de estudo tem solo moderadamente profundo e granular, com porosidade acima de 30% – classificado como do grupo de solos tipo B – e menos de 50% de cobertura de gramíneas. Essas características correspondem a um CN de 79 (Carvalho; Souza Filho; Sabóia, 2020).

As simulações foram realizadas de acordo com quatro situações de implantação de valas de infiltração (LID), conforme a Tabela 3, adotando os seguintes cenários: 0% da bacia (S1); 50% da bacia a montante da lagoa de retenção 01 (S2); 50% da bacia à jusante da lagoa de retenção 01 (S3); e 100% da bacia (S4). Cada sub-bacia teve uma área de 5% ocupada pelo LID, sendo que nas situações 2, 3 e 4 não foram levados em consideração os locais de implantação.

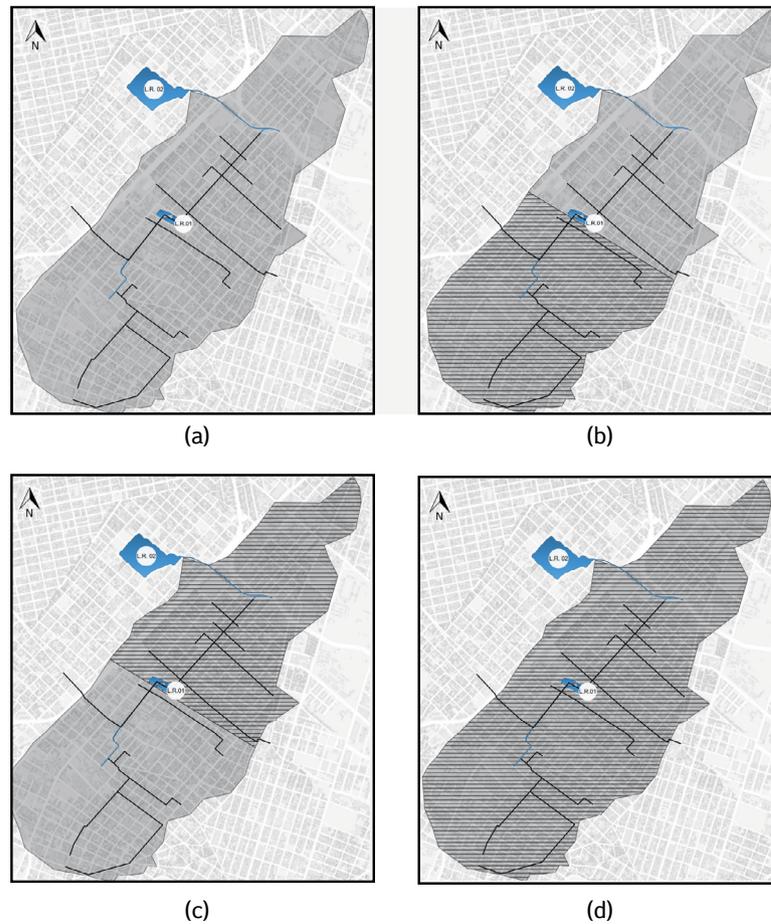
**Tabela 3** – Cenários de implantação das valas de infiltração (LID).

	Ocupação de LID em cada sub-bacia (%)	Ocupação da bacia com LID (%)
Situação 1 (S1)	-	0
Situação 2 (S2)	5	50 (a montante da LR 01)
Situação 3 (S3)	5	50 (à jusante da LR 01)
Situação 4 (S4)	5	100

A Figura 2 ilustra os quatro cenários de simulação, nos quais a porção hachurada nas situações 2, 3 e 4 representa a área da bacia em que foi inserido o LID, tomando como referência em S2 e S3 a lagoa de retenção 01 (LR 01) existente.

Os parâmetros necessários para a simulação de valas de infiltração no SWMM são: profundidade de armazenamento (mm), cobertura vegetal (fração),

rugosidade superficial ( $n^{\circ}$  de Manning), declividade superficial (%) e declividade das paredes laterais (coeficiente angular). Considerando que foi determinado 5% de ocupação da sub-bacia pelo LID, definiu-se também a largura superior do escoamento superficial conforme solicitado pelo software no momento de inserção. Dessa forma, o comprimento da vala ficou implícito.



**Figura 2** – Representação dos cenários de implantação de valas de infiltração.

A área hachurada representa a porção da bacia em que foi inserido o LID. (a) Situação 1 (S1); (b) Situação 2 (S2); (c) Situação 3 (S3); (d) Situação 4 (S4).

O tipo de solo pode impor restrições à inclinação dos taludes da vala, devendo ser mantida em geral uma largura de 4 a 10 vezes a sua profundidade, pois quanto mais aberta a seção, maior a área de infiltração (Baptista *et al.*, 2005 *apud* Lucas, 2011). Como não foram levados em consideração os locais de implantação das valas, adotou-se neste

trabalho uma profundidade de 0,5 metros, o que condiciona a necessidade de, no mínimo, 2 metros de espaço disponível para a largura da vala.

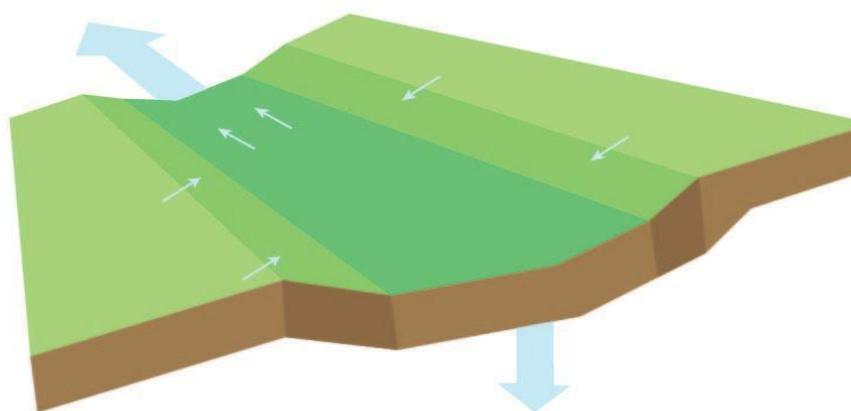
A cobertura vegetal foi desconsiderada, uma vez que foi admitido apenas revestimento de grama sobre as valas, o que não representa um volume

considerável de vegetação (Figura 3). O coeficiente de rugosidade adotado foi o equivalente a uma superfície de grama rasteira, sendo igual a 0,15 (Engman, 1986 *apud* Rossman; Huber, 2016b).

Áreas com declividade baixa ou média permitem um escoamento mais lento e uma maior capacidade de infiltração, sendo mais apropriadas para a implantação de valas de infiltração (Miguez; Veról; Rezende, 2016). De acordo com Coffman, Cheng e

Clar (1998), é recomendado que os canais sejam trapezoidais ou parabólicos, e que sua declividade fique entre 1 e 6%. Portanto, adotou-se uma declividade média de 1% em todos os trechos da bacia, tendo sido admitidos canais trapezoidais cujo talude foi definido segundo a proporção de 3:1 (relação horizontal:vertical).

A Tabela 4 representa os parâmetros de entrada da vala de infiltração adotados nas simulações.



**Figura 3** – Representação de uma vala de infiltração.

Fonte: Adaptado de Rossman e Huber (2016b).

**Tabela 4** – Parâmetros de entrada adotados para as valas de infiltração.

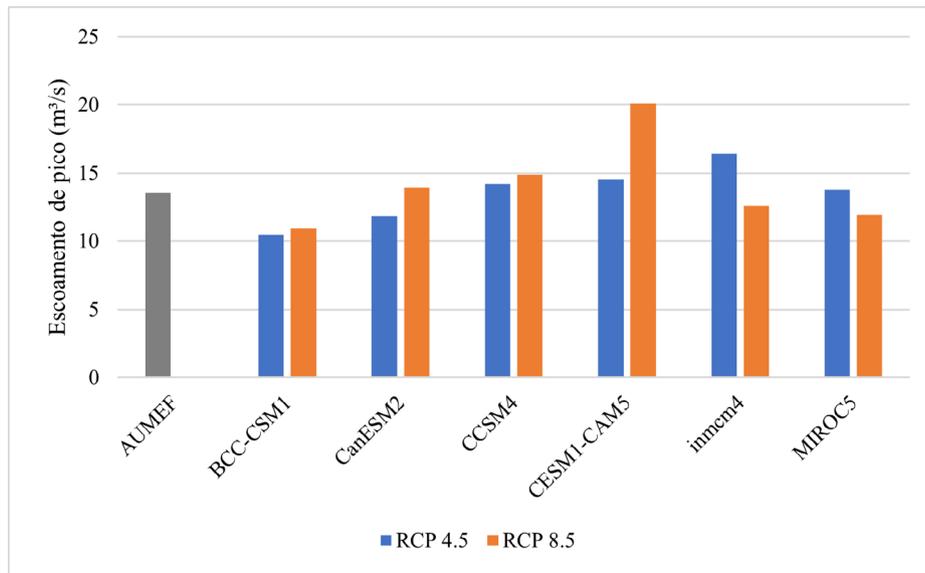
Profundidade (mm)	Cobertura vegetal	Nº Manning	Declividade superficial (%)	Coefficiente angular
500	0	0,15	1	3

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação da Situação 1, desconsiderando a implantação de valas, apresentou variados resultados de escoamento para as doze combinações de RCP e GCM. Essa situação corrobora os resultados de Carvalho, Souza Filho e Sabóia (2020), uma vez que seguiu a mesma estratégia e metodologia para o período de retorno de 25 anos.

Para o cenário RCP 4.5, observou-se que a precipitação projetada pelos modelos BCC-CSM1 e

CanESM2, em comparação ao cenário de linha de base, resultou em uma diminuição no escoamento de pico. Quanto ao cenário RCP 8.5, os modelos BCC-CSM1, inmcm4 e MIROC5 também apresentaram minimização no escoamento de pico em relação ao cenário de linha de base (Figura 4). As chuvas projetadas para os demais modelos resultaram em um aumento do escoamento de pico, especialmente os modelos inmcm4/RCP 4.5 e CESM1-CAM5/RCP 8.5, que apresentaram aumento superior a 15%, conforme o gráfico da Figura 4.



**Figura 4** – Escoamento de pico para o período de retorno de 25 anos, sem aplicação de valas.

AUMEF refere-se ao cenário climático de linha de base (condições climáticas no século XX).

Na simulação da Situação 2 não houve redução do escoamento, cujos valores foram exatamente iguais aos da Situação 1, na qual não foi inserido o LID. Tal fato é explicado pela LR 01 existente, que recebe boa parte da contribuição do escoamento a montante, anulando o efeito da implantação de valas nessa parcela da bacia.

Houve redução do escoamento nas situações 3 e 4, conforme mostra a Figura 5. A comparação dos cenários revelou uma diferença ínfima na diminuição do escoamento de pico entre ambas. A redução do escoamento foi inferior a 10% em todos os modelos GCM/RCP, com destaque para os modelos MIROC5 e CanESM2, que tiveram os melhores desempenhos, com redução de 9,64% e 9,31% respectivamente. A aplicação de valas no cenário de linha de base (AUMEF) apresentou minimização de 10,10% na Situação 4.

As simulações mostraram que os piores desempenhos na implantação do LID foram nos modelos Inmcm4/RCP 4.5 e CESM1-CAM5/RCP 8.5, tanto na Situação 3 quanto na Situação 4, com redução do escoamento de pico inferior a 2,5%. Os demais

modelos apresentaram diminuição entre 3,88% e 9,64%. Tais resultados refletem a incerteza das mudanças climáticas e como os diversos modelos podem ter diferentes efeitos no escoamento das chuvas.

Nota-se que a implantação do LID na Situação 4 se mostra desvantajosa, já que a redução de escoamento de pico é praticamente a mesma que a da Situação 3, tornando-se mais viável economicamente implantar valas apenas nos trechos à jusante da LR 01. Além de ser menos onerosa, a Situação 3 representa a vantagem da exequibilidade do serviço de implantação de valas, pois, em comparação à Situação 4, minimiza a necessidade de área permeável disponível, levando-se em conta que vias já consolidadas não costumam ser projetadas com áreas disponíveis para esse tipo de sistema.

Considerando a Situação 3 mais vantajosa, obtém-se uma diminuição no escoamento de pico entre 1,82% e 9,80% se houver implantação de valas na porção da bacia à jusante da LR 01. Comparado ao desempenho de cisternas analisado por Carvalho, Souza Filho e Sabóia (2020),

a redução apresentada foi entre 2,90% e 6,30% no caso de 40% dos edifícios da bacia instalarem uma cisterna de 5 m<sup>3</sup>. A simulação com valas de infiltração, portanto, apresentou maior possibilidade de atenuação do escoamento, a depender do cenário climático considerado.

Desse modo, nota-se que a combinação de LIDs tende a tornar ainda mais significativa a mini-

mização dos escoamentos de pico na bacia. Em estudos futuros, sugere-se avaliar o desempenho conjunto de cisternas e valas de infiltração, as quais podem funcionar como boas soluções para complementar a drenagem tradicional, além de terem outras funcionalidades como o reúso da água captada, com a utilização de cisternas e a revitalização do ambiente urbano no caso das valas.

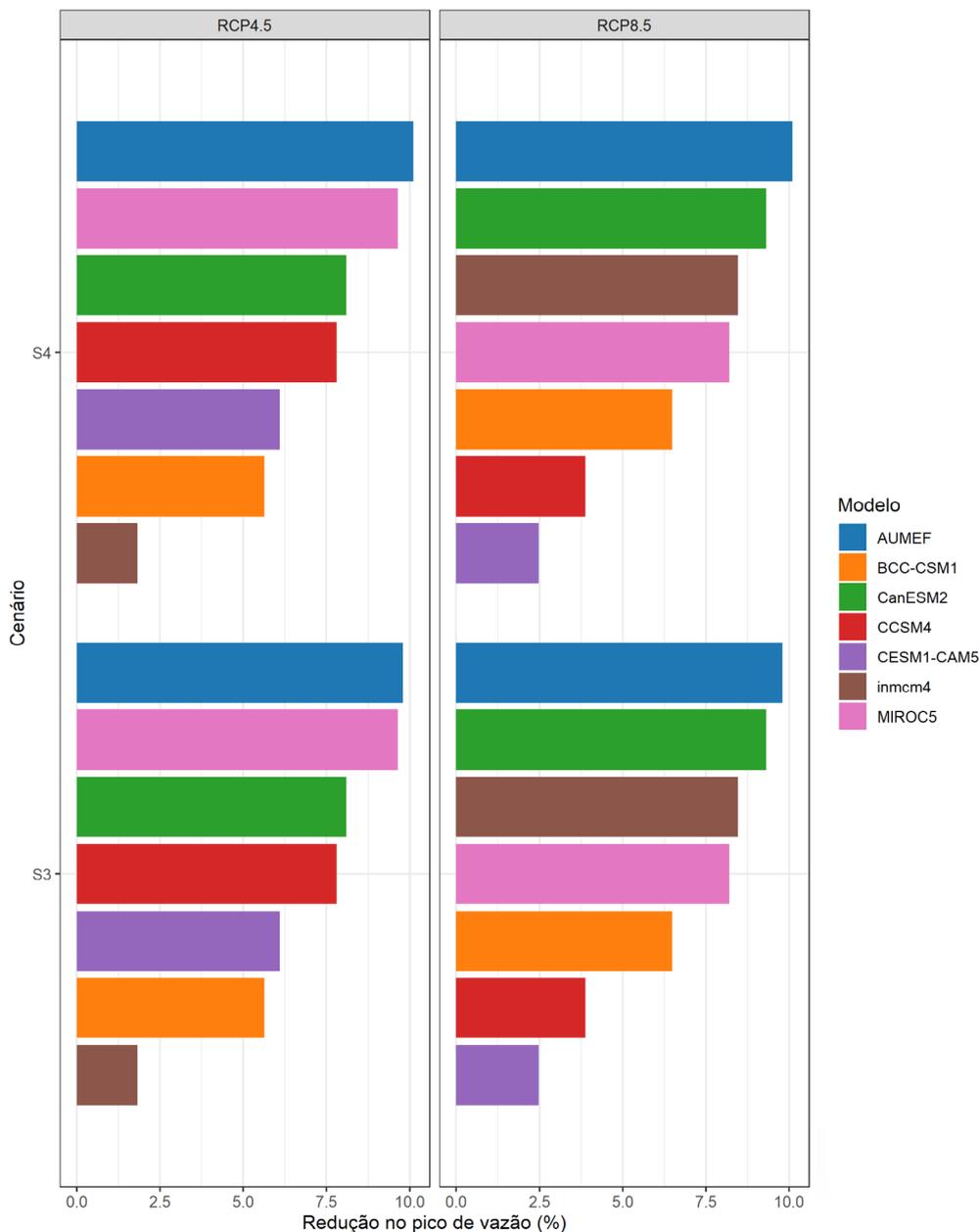


Figura 5 – Redução do escoamento de pico referente às situações 3 e 4 das simulações.

## 4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, analisou-se o desempenho da implantação de valas de infiltração a partir de cenários de mudanças climáticas. Os modelos apresentaram resultados diversos de escoamento de pico, e tal variabilidade se deve aos diferentes dados de precipitação encontrados para cada modelo, uma vez que refletem o grau de incerteza das mudanças climáticas.

A análise de incorporação dos modelos RCP 4.5 e RCP 8.5 associados aos GCMs mostrou-se satisfatória na simulação da Situação 3, que apresentou uma redução no escoamento de pico entre 1,82% e 9,80% com a inserção do LID na porção da bacia à jusante da LR 01. Tal cenário se mostrou mais vantajoso em relação aos demais, pois, além de atenuar o escoamento, também representa maior viabilidade econômica de execução.

A minimização do escoamento de pico com a implantação de valas demonstrou a eficiência da aplicação de LIDs em sistemas de controle pluvial. Com a utilização da previsão dos modelos de mudanças climáticas, foi possível analisar o grau de eficiência de medidas que contribuem com a infiltração de águas pluviais diante dos diferentes cenários de chuvas.

Assim, a metodologia de incorporação de cenários climáticos integrou diferentes projeções geradas pelos modelos GCM e RCP, e se apresentou como uma boa alternativa a ser considerada no gerenciamento de águas pluviais. Essa abordagem requer uma integração efetiva às políticas públicas e o envolvimento ativo da comunidade.

## 5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**Conceitualização:** Lima LO; **Metodologia:** Lima LO, Santos LDC e Carvalho TMN; **Investigação:** Lima LO e Santos LDC; **Redação – Primeira Versão:** Lima LO; **Redação – Revisão & Edição:**

Lima, LO e Santos LDC; **Supervisão:** Carvalho TMN e Souza Filho FA.

## 6 REFERÊNCIAS

- CARVALHO, T. M. N.; SOUZA FILHO, F. de A. de, SABÓIA, M. A. M. de. Performance of rainwater tanks for runoff reduction under climate change scenarios: a case study in Brazil. **Urban Water Journal**, Londres, v. 17, n. 10, p. 912-922, 2020. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1846063>
- COFFMAN, L. S.; CHENG, M.; CLAR, M. **Low-impact development hydrologic analysis and design**. Nova York: American Society of Civil Engineering, 1998.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil básico municipal 2012**: Fortaleza. Fortaleza: Ipece, 2012. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Fortaleza\\_2012.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Fortaleza_2012.pdf). Acesso em: 15 dez. 2021.
- LI, H.; SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F. Bias correction of monthly precipitation and temperature fields from inter-governmental panel on climate change AR4 models using equidistant quantile matching. **Journal of Geophysical Research**, Richmond, v. 115, n. D10, D10101, 2010. <https://doi.org/10.1029/2009JD012882>
- LUCAS, A. H. **Monitoramento e modelagem de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração em escala real**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. São Paulo: Dois Pontos, 2016.
- PERRY, M. L. *et al.* (ed.). **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- RAMOS, A. M. **Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
- ROSSMAN, L. A. **Storm water management model: user's manual version 5.1**. Washington, DC: EPA, 2015.
- ROSSMAN, L. A.; HUBER, W. C. **Storm water management model reference manual volume III: water quality**. Washington, DC: EPA, 2016b.
- SABÓIA, M. A. M. de. **Estratégia robusta para a gestão de drenagem urbana em cenário de mudança do clima**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SABÓIA, M. A. M. de. *et al.* Avaliação do impacto das mudanças climáticas no sistema de drenagem urbana em localidades situadas em baixas latitudes: um estudo de caso em Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 22, e21, 2017. <http://doi.org/10.1590/2318-0331.011716074>

SILVA, F. O. E. da; PALÁCIO JÚNIOR, F. F. R.; CAMPOS, J. N. B. Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista DAE**, São Paulo, v. 61, n. 192, p. 48-59, 2013. <https://doi.org/10.4322/dae.2014.106>

SILVEIRA, C. da S. *et al.* Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: uma análise para precipitação e temperatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 416-428, 2016. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p416-428>

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes

para a sustentabilidade das águas urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.

SOUZA FILHO, F. de A. de; ARAÚJO, C. B. C. D. A. **Projeto:** Análise da drenagem urbana de Fortaleza – relatório final. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2016.

SRIVASTAV, R. K.; SCHARDONG, A.; SIMONOVIC, S. P. Equidistance quantile matching method for updating IDF curves under climate change. **Water Resources Management**, Nova York, v. 28, p. 2539-2562, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0626-y>

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, 2002.

USDA SOIL CONSERVATION SERVICE. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. 2nd ed. Washington, DC: US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, 1986.