

Simulação do uso de pavimento permeável e trincheira de infiltração em espaços públicos de mobilidade

Simulation of the use of porous pavement and infiltration trench in public spaces supporting mobility

Talita Montagna^a

Rafaela Vieira^b

Vander Kaufmann^c

Adilson Pinheiro^d

Gean Paulo Michel^e

^a Mestre em Engenharia Ambiental, Doutoranda, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, Brasil
End. Eletrônico: talitamontagna@hotmail.com

^b Doutora em Geografia, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, Brasil
End. Eletrônico: arquitetura.rafaela@gmail.com

^c Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, Brasil.
End. Eletrônico: vanderkaufmann@gmail.com

^d Doutor em Física e Química Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, Brasil
End. Eletrônico: pinheiro@furb.br

^e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
End. Eletrônico: gean.michel@ufrgs.br

doi:10.18472/SustDeb.v12n1.2021.30006

Received: 16/03/2020
Accepted: 10/02/2021

ARTICLE – VARIA

RESUMO

O uso de técnicas sustentáveis na infraestrutura básica de uma cidade é um modo de reconquistar os espaços públicos. O objetivo deste estudo é avaliar os impactos nos processos hidrológicos dos espaços públicos que apoiam a mobilidade se constituídos por pavimento permeável e integrados a trincheiras de infiltração. A simulação hidrológica foi realizada com o modelo Swat. A bacia hidrográfica possui 54,05 km² e a área com controle dos escoamentos excedentes é de 0,66 km². O amortecimento da

vazão de pico foi de 1,84% e do escoamento superficial em 2,82% da altura da lâmina-d'água ao longo do período simulado. Para um evento isolado, observou-se uma redução máxima de 7,9% da altura da lâmina de água. Observaram-se resultados positivos no amortecimento da vazão de pico no exutório da bacia e a redução da lâmina de água do escoamento superficial.

Palavras-chaves: Manejo de águas urbanas. Controle de escoamento na fonte. Eventos hidrológicos extremos. Modelagem hidrológica.

ABSTRACT

The use of sustainable techniques to the basic infrastructure of a city is a way of win back public spaces. This study evaluates the impacts of public spaces supporting mobility. We give focus to areas constructed with porous pavement and integrated with infiltration trenches and hydrological processes. The hydrological simulation was performed with a SWAT model. The hydrographic basin has 54.05 km² and the area of excess flows' control is 0.66 km². The peak flow damping was 1.84%, and the surface runoff represented 2.82% of the water depth over the simulated period. We observed a maximum reduction of 7.9% in the height of the water layer for isolated events. We found positive results in the dampening of the peak flow in the basin exhaust and water flow reduction at the superficial runoff.

Keywords: Urban water management. Flow control at the source. Extreme hydrological events. Hydrological modeling.

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização implica na expansão de superfícies impermeáveis, ampliando-se os problemas vinculados à drenagem das águas pluviais. Os efeitos desse processo são evidenciados principalmente sobre os recursos hídricos. Conforme Katsifarakis e Papafiotiu (2015), muitos dos impactos da urbanização são de caráter negativo, como a redução da recarga de aquíferos e o aumento do escoamento superficial, ocasionando o crescimento da ameaça de enchentes e inundações. De acordo com Righetto (2009), as medidas de controle para o escoamento pluvial urbano devem possuir dois objetivos básicos: controle do aumento da vazão máxima e melhoria das condições ambientais. Esses objetivos devem ser promovidos a partir de medidas não estruturais de planejamento urbano, que se constituem nas leis e planos para o planejamento da cidade e que servem como base para a determinação de medidas estruturais, ou seja, Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (Suds) de controle na fonte para o escoamento pluvial (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011). Essas medidas podem ser inseridas no contexto urbano, por exemplo, em áreas de calçadas e demais espaços públicos.

Essa visão conservacionista é, portanto, necessária para mitigar o impacto negativo da urbanização no escoamento superficial e poluente por meio de uma perspectiva ambiental. Visando à aplicação de medidas sustentáveis de controle na fonte, como a aplicação de pavimento permeável e trincheira de infiltração em áreas públicas, pode-se atuar na integração do planejamento do uso da terra, proteção ambiental e sistemas de transporte, que são vistos por Correa, Cunha e Boareto (2010) como problemas enfrentados diariamente pelas pessoas que se locomovem nas cidades. A preocupação com a infraestrutura para a mobilidade dos pedestres deve auxiliar o sistema urbano de drenagem e, a partir destes, pode-se compor uma prática eficiente para mitigação dos danos provocados por eventos hidrológicos extremos. As áreas para mobilidade urbana não motorizada, por exemplo, podem ser adaptadas às medidas de controle na fonte, como é o caso do pavimento permeável e trincheiras de infiltração (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

A área de estudo desta pesquisa é o município de Blumenau, localizado na bacia hidrográfica do Rio Itajaí, em Santa Catarina. Nas últimas décadas, com elevada frequência, diversas ruas do município são inundadas quando da ocorrência de chuvas intensas, aquela que concentra um grande volume de água precipitado em um intervalo de tempo (PORTO et al., 2012). Em janeiro de 2018, no intervalo de 2 horas, choveu um acumulado médio de 85 mm, uma altura considerada elevada (PARAIZO, 2018). Nesse evento, foram registrados pela Defesa Civil de Blumenau 417 ocorrências, entre elas estão situações de deslizamento, alagamento e solicitação de análise do risco. Inúmeras ocorrências de alagamento foram identificadas na bacia do Ribeirão da Velha, localizadas no seu trecho inferior, evidenciando a prioridade desta pesquisa sobre mitigação de danos por alagamento nesta área de estudo. Algumas técnicas de Suds adaptam-se melhor em áreas urbanas devido à adequação ao espaço disponível. O pavimento permeável e a trincheira de infiltração são técnicas de controle na fonte que podem ser facilmente adaptadas em meios urbanos para ampliar a redução do escoamento superficial, e é objeto de estudo nesta pesquisa.

A análise dos impactos da utilização dessas técnicas pode ser verificada por meio da simulação com modelagem hidrológica. A modelagem hidrológica permite a representação do comportamento do fluxo hídrico na bacia hidrográfica (PORTO, 1995), sendo uma ferramenta adequada para a avaliação do desempenho da técnica de Suds como as técnicas de controle na fonte (TOMINAGA, 2013). Um dos modelos largamente utilizados para simulação do comportamento hídrico, existindo recentes pesquisas (SEO et al., 2017; WANG, 2015) que exploraram sua utilização para simular técnicas de controle na fonte em uma bacia hidrográfica, é o *Soil and Water Assessment Tool* (Swat). O Swat foi adotado nesta pesquisa principalmente por sua interface gráfica associada ao SIG que permite localizar as estruturas de controle na fonte para sua simulação, bem como pela possibilidade de analisar a influência dessas estruturas no exutório de uma bacia hidrográfica. Diante desse contexto, este estudo visa avaliar o impacto no escoamento superficial dos espaços públicos que apoiam a mobilidade não motorizada presentes no trecho inferior da bacia do Ribeirão da Velha em Blumenau-SC se fossem constituídos por pavimento permeável, bem como avaliar um segundo cenário com a distribuição de pavimento permeável em faixas de rolamento e com trincheira de infiltração em substituição às sarjetas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende uma bacia hidrográfica do município de Blumenau/SC, frequentemente atingida por inundações e alagamentos. A bacia hidrográfica do Ribeirão da Velha está situada a nordeste do estado de Santa Catarina com coordenadas de latitude 26° 55' 20" S e longitude 49° 03' 12" W sentido norte e latitude 26° 54' 00,68" S e longitude 49° 05' 47,00" W sentido sul (Figura 1).

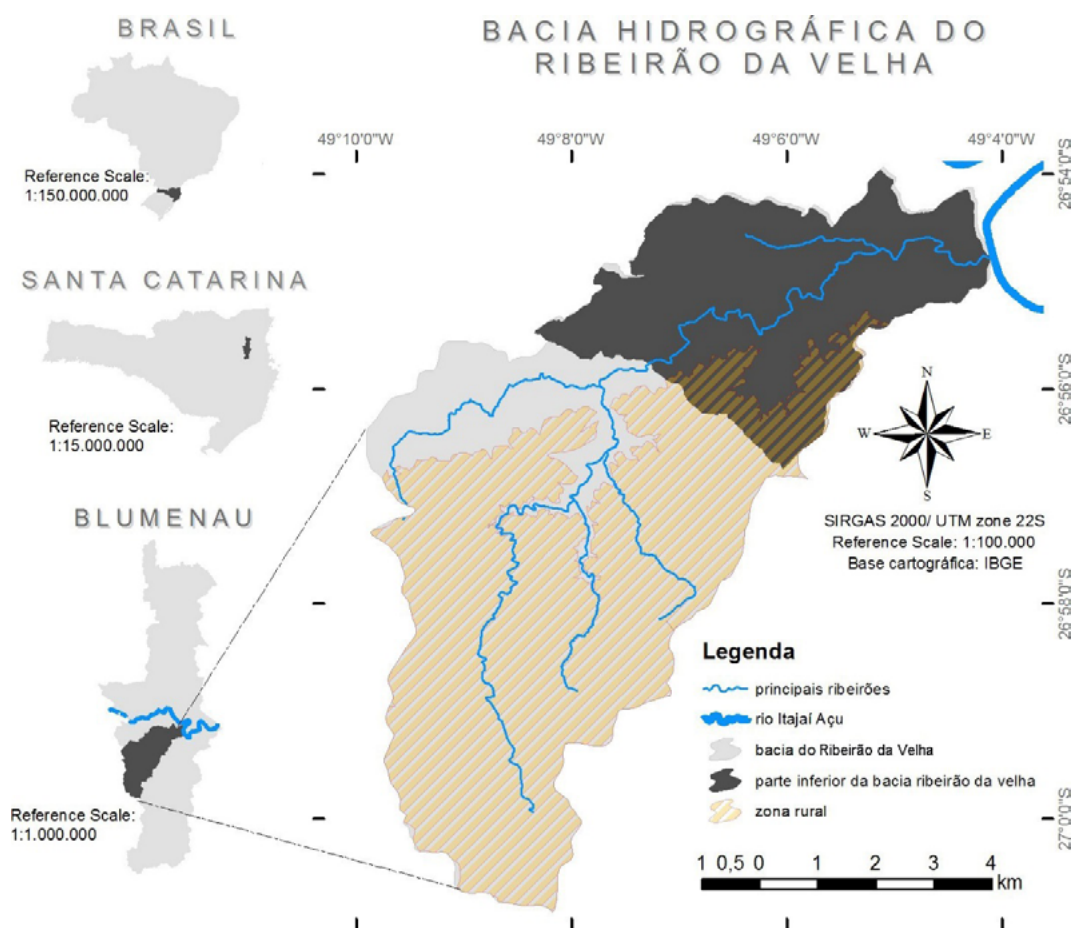


Figura 1 | Mapa de localização da bacia hidrográfica do Ribeirão da Velha: trecho inferior da bacia, zona rural e curso de água.

Fonte: Montagna e Vieira (2019).

Essa bacia hidrográfica possui área de 54,05 km². A maior parte da bacia hidrográfica é área rural, equivalente a 60,8%, coberta em sua maioria por vegetação remanescente. A área urbana compreende 39,2% da área total, apresentando áreas residenciais, comerciais, de lazer, indústrias, entre outros usos.

A simulação com o modelo Swat envolve toda a extensão da bacia do Ribeirão da Velha. No entanto, para realizar as análises dos impactos da implantação do pavimento permeável e da trincheira de infiltração, optou-se pela quantificação das áreas para aplicação do Suds, conforme Montagna e Vieira (2019), apenas no trecho inferior da bacia hidrográfica do Ribeirão da Velha (Figura 1), pois consiste na área mais urbanizada da bacia hidrográfica.

Com área de 17,14 km², contempla cerca de 83,5% de área urbana, dispendo de vias arteriais e coletoras que servem de acesso para os demais bairros importantes da cidade e que vivenciam com frequência ameaças de alagamento, causando transtornos de mobilidade, entre outras perdas.

Uma parcela das edificações da parte inferior da bacia hidrográfica do Ribeirão da Velha situa-se abaixo do nível da cota de inundação de 10 m (valor de referência da estação fluviométrica de Blumenau, instalada no Rio Itajaí-Açu, do qual o Ribeirão da Velha é afluente). A alteração da LC 751/2010, que dispõe sobre o Código de Zoneamento, Uso e Ocupação da terra em Blumenau, pela LC 1.039/2016

(BLUMENAU, 2016), restringe o uso residencial abaixo da cota de inundação de 12 m e os demais usos abaixo da cota de inundação de 10 m em razão da frequência das enchentes na bacia do Rio Itajaí. No entanto, poderão ser permitidas nesses locais algumas edificações sobre pilotis, área de recreação que não interfira no fluxo de passagem de águas, subsolo para estacionamento e implantação de infraestrutura do sistema viário público. Segundo Schult e Pinheiro (2003), para Blumenau a cota de inundação de 10 m apresenta tempo de retorno de 4 anos.

2.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento dos dados compreende a etapa de quantificação de área para aplicação de pavimento permeável e trincheiras de infiltração no trecho inferior da bacia do Ribeirão da Velha, Blumenau-SC. Determinou-se a utilização de pavimento permeável em duas situações distintas. O primeiro cenário conta com a aplicação do pavimento permeável apenas nas áreas públicas de mobilidade não motorizada (calçadas, ciclovias e áreas pavimentadas de parque). Conforme Montagna e Vieira (2019), foram efetuados os procedimentos de coleta para tabulação dos dados das características de extensão e composição do revestimento das áreas públicas que apoiam a mobilidade não motorizada existentes partindo de observações em campo nas vias arteriais e coletoras.

O segundo cenário, além das áreas públicas de mobilidade não motorizada já quantificadas, inclui as faixas de rolamentos para pavimento permeável e as sarjetas para implantação de trincheira de infiltração (Figura 2). A utilização de trincheira de infiltração foi indicada em substituição às sarjetas ao longo das faixas de rolamento das vias arteriais, coletoras e algumas locais.

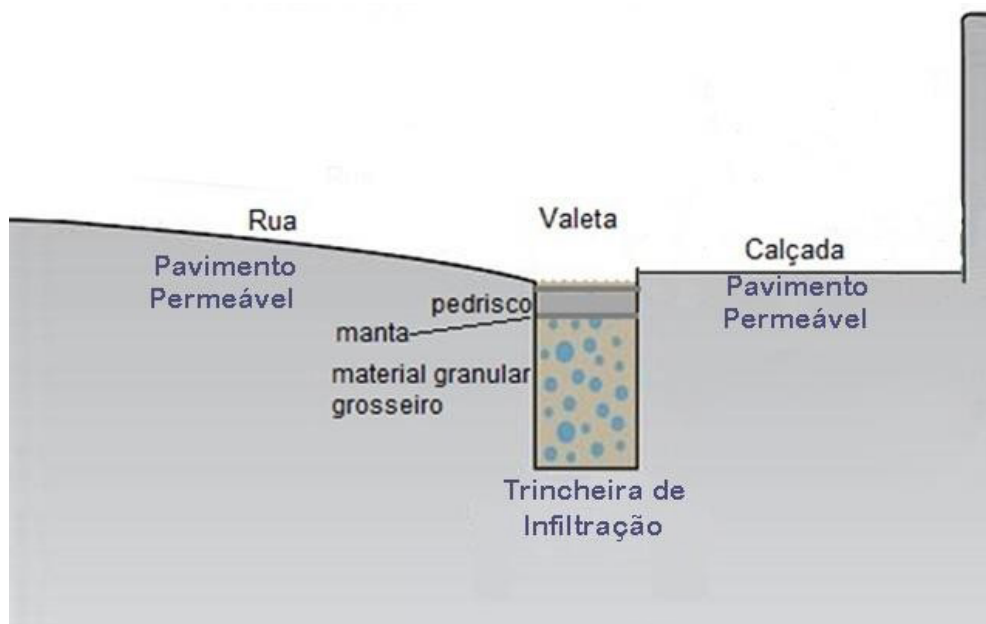


Figura 2 | Representação em perfil da proposta de adaptação de sarjetas, calçadas e faixas de rolamento drenantes

Fonte: Adaptado de Santos (2009)

Essas áreas foram quantificadas a partir do mapa de vias existentes e projetadas do município de Blumenau, disponibilizadas em formato dwg. pelo departamento de gerência de Cartografia e Cadastro Multifuncional da Prefeitura de Blumenau, selecionando essas áreas nas vias arteriais, coletoras e algumas locais. Realizou-se o delineamento criando polígonos que representem essas áreas para implantação dos Suds.

Ressaltando que a NBR 16.416 (ABNT, 2015) de pavimento permeável de concreto limita o uso do pavimento permeável em vias de tráfego leve, optou-se por considerar essas faixas de rolamento das vias para efeito de se obter uma maior área de simulação. As trincheiras de infiltração foram determinadas com uma largura-padrão de 30 cm, tendo-se em vista a largura observada ao longo das vias em grande parte dos trechos, e a extensão correspondente ao início e fim das quadras.

Os dados de entrada para a criação do banco de dados do Swat incluem dados tabulares e de representação espacial. Os dados tabulares compreendem os dados de precipitação, bem como dados climáticos. Os dados espaciais incluem o Modelo Digital do Terreno (MDT), arquivo de imagem .tif com a bacia a ser limitada, um mapa contendo a hidrografia, o mapa de uso da terra e o mapa de solos da bacia hidrográfica em estudo.

Os dados de precipitação utilizados foram obtidos do hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018) da estação instalada na ponte Adolfo Konder, em Blumenau/SC, código 2649122, compreendendo o período de 01/01/2012 a 31/12/2017. A série temporal de precipitação foi inserida com intervalo de 30 minutos para realizar a simulação subdiária, por meio do método de infiltração Green & Ampt. Por esse método, conforme a água infiltra no solo, durante o processo da infiltração, presume-se que a região acima da frente de umedecimento encontra-se saturada. O modelo calcula a infiltração assumindo o excedente de água na superfície em todo o evento de precipitação (GREEN; AMPT, 1911).

Os dados climáticos (temperatura, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar) foram consistidos e cedidos por Knaesel (2019). Os dados foram extraídos do site do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), das estações localizadas nos municípios de Indaial e Ituporanga/SC, no período correspondente a 01/2012 a 12/2017, que compreende o mesmo período dos dados de precipitação. Optou-se por selecionar estações meteorológicas vizinhas à bacia que apresentasse características topográficas e climáticas semelhantes, por apresentarem melhor qualidade dos dados monitorados. Os dados climatológicos, requeridos pelo modelo Swat, são em base diária, mesmo para simulações subdiárias.

Para a representação espacial, o Modelo Digital de Terreno (MDT) da área é do ano de 2010, obtido pelo site do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (Sigsc), na escala 1:10.000 com resolução de pixel de 1 m, inserido já com o recorte da área de estudo. Associou-se a este projeto as ortofotos RGB em formato .tif obtidas no site do Sigsc, com resolução de 0,39 m. Outro dado espacial é a hidrografia da bacia, também obtida pelo site do Sigsc em escala de 1:10.000.

No que se refere aos dados de solo, o mapa utilizado foi obtido no banco de dados do IBGE, elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) no ano de 2001. Esse mapa está na escala 1:250.000. Devido à necessidade de se alterar o uso da terra e o tipo de solo para as simulações com a inserção de Suds, criaram-se dois usos da terra e dois tipos de solo no banco de dados do Swat. O uso da terra e o tipo de solo que representa o pavimento permeável foram denominados pela sigla Pper. Para o uso da terra e tipo de solo que representa as trincheiras de infiltração foi denominado Tcha.

A estrutura do pavimento permeável e a trincheira de infiltração contêm uma camada base de reservatório, composta por brita, com determinadas profundidades. Desse modo, o tipo de solo receberá alterações em suas características para que possa representar essas estruturas de brita em substituição ao solo local.

Dessa forma, o tipo de solo criado recebeu inicialmente os mesmos valores para os parâmetros que representam as características do solo atual em que se encontram, nesse caso, solo Argiloso

Vermelho-Amarelo. Para as novas classes de uso da terra, os valores para os parâmetros (Quadro 1) que compõem as características desse uso foram extraídos do artigo de Liu et al. (2017) que representa estradas pavimentadas. Nessa pesquisa, esses valores para os parâmetros de uso representam as características de usos atuais e que serão alteradas para pavimento permeável e trincheira de infiltração com a simulação dos cenários.

Quadro 1 | Parâmetros adotados para classe de uso da terra Pper e Tcha

Variável	Descrição	Dados
URBNAME	Nome com 4 caracteres	PPER/TCHA
URBFLNM	Nome do uso da terra da área urbana	Pav. Permeável/ Trincheira de Infiltração
FIMP	Fração total de área impermeável urbana (Adm)	0.6
FCIMP	Fração diretamente conectada à área impermeável urbana (Adm)	0.44
CURBDEN	Densidade no uso da terra urbana (km/ha)	0.05
URBCOEF	Coefficiente de remoção de constituintes de área impermeável (mm ⁻¹)	0.18
DIRTMX	Máximo de sólidos permitidos para acumular na área impermeável (kg.km ⁻³)	170
THALF	Número de dias para acumular metade dos sólidos máximos permitidos (dias)	3.9
TNCONC	Concentração de nitrogênio total em carga sólida suspensa de área impermeável (mg.N/kg sedimento)	480
TPCONC	Concentração de fósforo total em carga sólida suspensa de área impermeável (mg P/kg sedimento)	212
TN03CONC	Concentração de nitrato em carga sólida suspensa de área impermeável (mg NO3-N/kg sediment)	63
OV_N	Valor "n" de Manning para o fluxo terrestre	0.1
CN2A	Curva número para a condição de umidade II do grupo hidro A (Adm)	31
CN2B	Curva número para a condição de umidade II do grupo hidro B (Adm)	59
CN2C	Curva número para a condição de umidade II do grupo hidro C (Adm)	72
CN2D	Curva número para a condição de umidade II do grupo hidro D (Adm)	79
URBCN2	Valor da curva número (CN) (Adm)	89

Fonte: Adaptado de Liu et al. (2017)

Para realizar a substituição dos parâmetros atuais dos pavimentos pelas características do pavimento permeável nessas áreas, dois mapas sofreram alterações. As áreas públicas de mobilidade não motorizada, identificadas por Montagna e Vieira (2019), foram representadas sobre os mapas de solo e de uso da terra. Desse modo, os polígonos criados no Autocad (Figura 3), que representam essas áreas, substituíram o layer original.

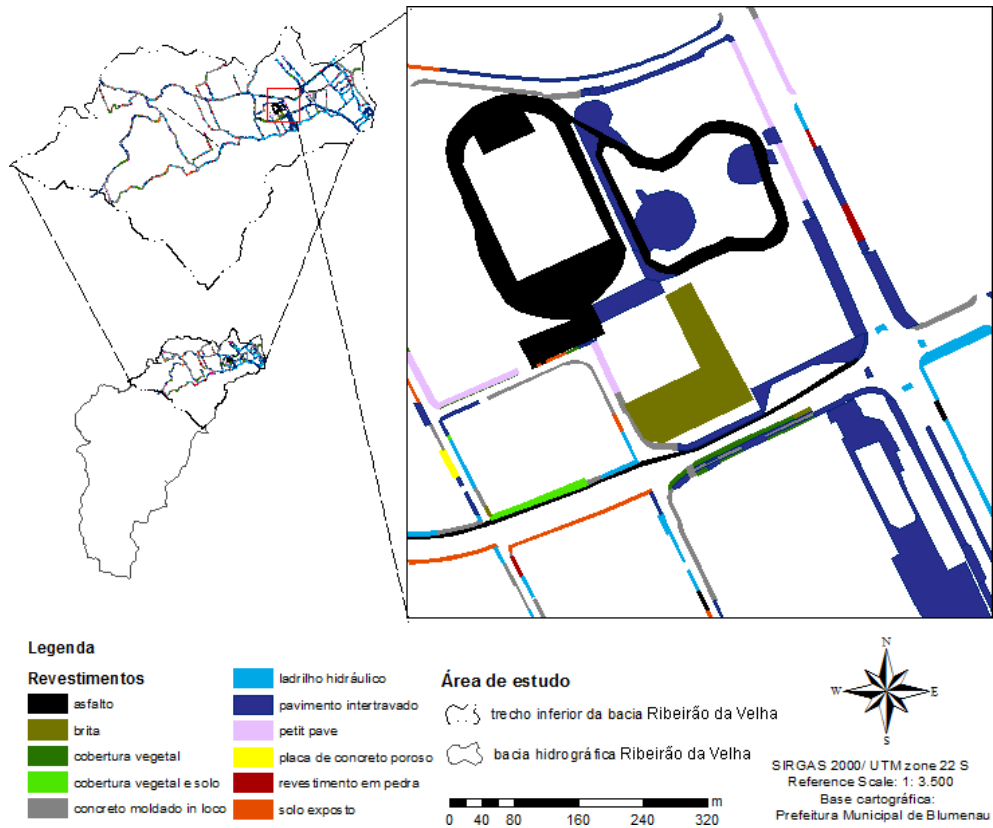


Figura 3 | Mapa das áreas públicas de mobilidade não motorizada quantificadas no trecho inferior da bacia do Ribeirão da Velha e os tipos de revestimentos identificados.

Fonte: Montagna e Vieira (2019).

As áreas de sarjeta e faixas de rolamento quantificadas também foram representadas sobre os mapas de solo e de uso da terra (Figura 4).



Figura 4 | Representação das áreas com proposta de incorporação de SUDS (pavimento permeável e trincheira de infiltração) nas áreas públicas de mobilidade não motorizada e faixas de rolamento das vias de mobilidade motorizada

Fonte: Montagna (2019).

Devido à ausência de dados de monitoramento do Ribeirão da Velha, não foi possível gerar a curva-chave da seção fluviométrica de simulação. Os valores dos parâmetros utilizados para calibração neste estudo foram os determinados por Venzon (2018), que em seu estudo avaliou inclusive uma bacia hidrográfica de proporção e características similares.

Os resultados obtidos com a simulação da bacia calibrada com os parâmetros calibrados por Venzon (2018) foram comparados com os dados de cota observados no Ribeirão da Velha. A bacia do Ribeirão possui registros de dados de cotas válidos de 01/01/2012 até 31/12/2013. Optou-se por um período de dois anos antecedendo o início do período avaliado, janeiro de 2010 a dezembro de 2011, visando o aquecimento do modelo, ou seja, a estabilidade do modelo durante seus processos iterativos para a obtenção dos resultados. As incertezas nas condições iniciais podem ser minimizadas utilizando um período de aquecimento do modelo que permite reduzir os eventuais erros existentes nas condições iniciais (WAGENER; WHEATER; GUPTA, 2004).

A validação dos dados gerados após esses ajustes nos parâmetros do modelo corresponde à última etapa de verificação de um modelo hidrológico. Resumidamente, a validação consiste em executar o modelo com os ajustes dos parâmetros determinados na calibração para um período de dados reais diferente do utilizado na calibração (ARNOLD et al., 2012). A simulação foi realizada no período de janeiro a dezembro de 2012 para calibração e de janeiro a dezembro de 2013 para a validação. Os resultados são comparados visualmente e utilizando o coeficiente de determinação (R^2) para avaliar o desempenho do modelo. O R^2 representa a associação linear entre os dados medidos e simulados, e varia de 0 a 1.

2.3 REPRESENTAÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL E DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

O dimensionamento da altura da camada de reservatório do pavimento permeável para a área de estudo foi realizado por Camargo de Souza (2018), obtendo alturas de 2,76 a 216,8 m. Fisicamente, um reservatório de 216,8 m não apresenta coerência, pois não existe solo com uma camada com essa profundidade. Assim, optou-se por simular quatro alturas diferentes, sendo elas de 0,5, 1, 1,5 e 3 m. Este último foi determinado por ser a profundidade máxima que o solo local atinge a rocha.

Para representar o pavimento permeável e a trincheira de infiltração no modelo, é necessário compreender toda a estrutura que os compõe. Desse modo, o pavimento permeável e a trincheira de infiltração foram incorporados conforme as Figuras 5 e 6 respectivamente, em que a superfície é definida pelos parâmetros de uso da terra (*Urban*), e em seguida são incorporadas as camadas da estrutura do Suds nas camadas de solo (*User soil*) existentes.

superfície	uso do solo
revestimento	camada 1 (concreto permeável)
reservatório	camada 2 (brita)
solo	camada 3 (solo)

Figura 5 | Composição das camadas da estrutura do pavimento permeável representada no Swat para simulação.

Fonte: Montagna (2019).



Figura 6 | Composição das camadas da estrutura de trincheira de infiltração representada no Swat para simulação.

Fonte: Montagna (2019).

Parâmetros de uso da terra (Urban)

Para representar o uso de pavimento permeável e da trincheira de infiltração, foi necessário identificar e alterar os parâmetros que caracterizam essa técnica. Segundo Wang (2015), os parâmetros do Swat que representam o uso de revestimento de concreto permeável são o coeficiente de escoamento (Fimp), a curva número (CN2) e a rugosidade superficial dos coeficientes (OV_N), que caracterizam a superfície em uso. Desse modo, modificam-se os mesmos parâmetros para os usos PPER e Tcha no *Urban* (Quadro 2) do modelo Swat.

Quadro 2 | Parâmetros do uso da terra

Parâmetros	Descrição
FIMP	corresponde ao coeficiente de escoamento superficial, representando o coeficiente de escoamento superficial do concreto permeável e o da brita na trincheira.
CN2	representa a curva número para uma condição de umidade II. Será utilizado o valor do parâmetro CN2 correspondente ao de florestas, pois é a condição mais próxima do natural, uma vez que é função das técnicas Suds retornar à condição inicial do solo antes do processo de urbanização.
OV_N	representa a rugosidade dos materiais, sendo apresentado pelo manual do Swat como o valor "n" Manning para o escoamento superficial.

Fonte: Adaptado de Arnold et al. (2012)

A metodologia de Wang (2015) que utilizou o modelo Swat para a simulação de Suds considerou apenas a alteração das propriedades do uso da terra. Desse modo, para representar a estrutura completa do pavimento permeável e da trincheira de infiltração, foram consideradas as camadas de base (função de reservatório) dos Suds nos parâmetros dos solos (*User soils*).

Parâmetros do solo (User soils)

A estrutura do pavimento permeável e da trincheira de infiltração fica instalada a uma determinada profundidade, requerendo a remoção de terra. Desse modo, os parâmetros de solo precisam ser alterados de forma que representem essa nova estrutura no modelo hidrológico.

As características do solo atual apresentam três camadas de solo (Nlayers), ou seja, um mesmo solo com variações entre as camadas. Para comportar as camadas de revestimento, reservatório e solo foi necessário aumentar o número de camadas para 4 (quatro). O grupo hidrológico do solo (HYDGRP) também foi alterado, bem como as alturas das camadas do solo (SOL_Z), a densidade do volume úmido (SOL_BD), a capacidade de água disponível (SOL_AWC), a condutividade hidrológica na saturação (SOL_K), o teor de silte (Silt), o teor de areia (Sand) e o teor de rocha (Rock). Desse modo, modificam-se os parâmetros *User soil* do modelo Swat que foram identificados e determinam-se os valores de acordo com as propriedades dos materiais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO

Os dados de vazão do Ribeirão da Velha foram obtidos a partir da calibração de Venzon (2018). A relação entre a vazão gerada e as cotas observadas na bacia está representada na Figura 7. Nota-se a relação das cotas observadas para o período de 2012 a 2013 com o hidrograma gerado. Observa-se que a série de vazões simuladas, quando comparada à série de cotas medidas, apresentou um alinhamento adequado nas variações temporais, tendo maior dispersão nos eventos de maiores vazões.

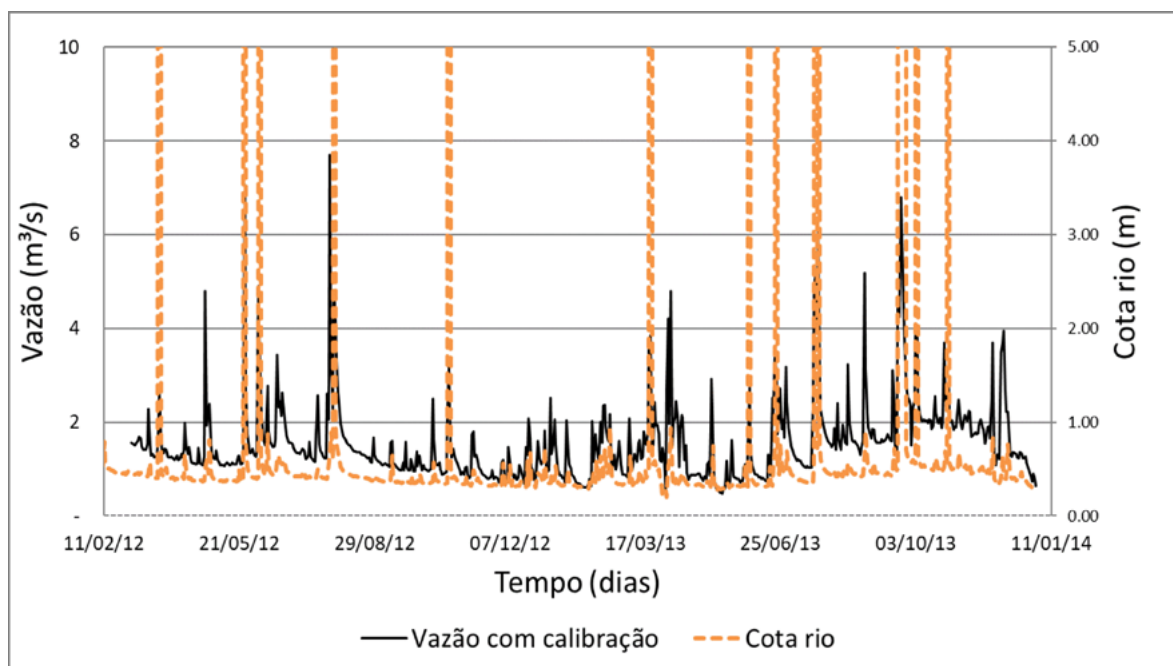


Figura 7 | Relação da vazão gerada pelo modelo calibrado com as cotas medidas no Ribeirão da Velha

Fonte: Montagna (2019).

A verificação do desempenho do modelo pelo coeficiente de determinação R^2 apresentou uma correlação aceitável ($R^2 = 0,51$) entre a vazão simulada com as cotas observadas pelo monitoramento (Figura 8). Desse modo, ajustando a bacia em estudo com os dados de uma bacia de características similares, considerou-se aplicável o uso desse modelo para as simulações na área de estudos.

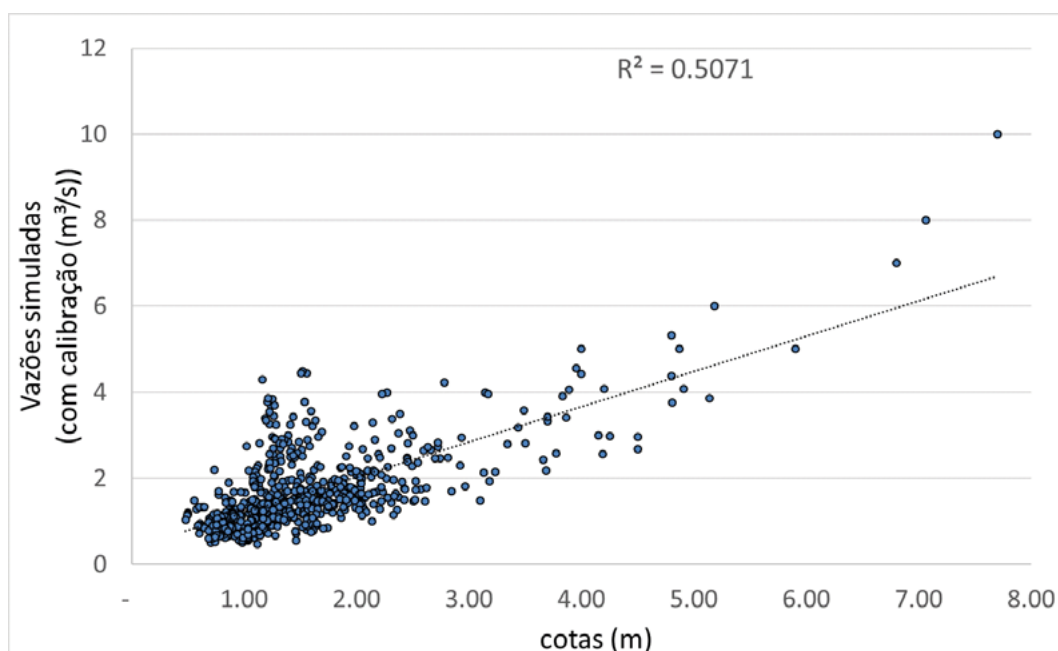


Figura 8 | Correlação entre a vazão simulada com as cotas observadas pelo monitoramento

Fonte: Montagna (2019).

3.2 VAZÃO NO EXUTÓRIO

A proposta de verificar o impacto da substituição do pavimento atual das áreas públicas de mobilidade não motorizada por pavimento permeável, cenário 1, nos levou a uma área de aplicação de pavimento permeável de 0,2152 km² que representa 1,26% da área do trecho inferior da bacia do Ribeirão da Velha, que possui área de 17,14 km².

Já para o segundo cenário, que conta com a utilização de duas técnicas Suds, pavimento permeável e trincheira de infiltração, em que se considerou pavimento permeável além das áreas públicas de mobilidade não motorizada já quantificadas, quantificou-se também as faixas de rolamento das vias. Obteve-se para as faixas de rolamento das vias arteriais, coletoras e algumas locais, um total de 0,42 km², que evidencia uma porção de 2,48% do trecho inferior da bacia do Ribeirão da Velha.

Finalmente, a área total quantificada de sarjetas, para substituição por trincheira de infiltração, foi de 0,02 km², o que representa um percentual de 0,12% da área total do trecho inferior do Ribeirão da Velha. Desse modo, para o segundo cenário, obteve-se uma área total de 0,64 km² de área para aplicação de pavimento permeável (áreas públicas de mobilidade não motorizada e faixas de rolamento) e 0,02 km² para implantação de trincheiras de infiltração (sarjeta).

Em relação ao trecho inferior em que essas áreas foram quantificadas, elas equivalem a um percentual de 3,85%. Essas áreas foram representadas nos mapas de uso da terra e tipo de solo para posteriormente serem utilizadas no modelo hidrológico Swat. A proporção das quantificações dessas áreas encontra-se no Quadro 3 em que estão expressas as proporções em relação a sua área de contrição (sub-bacias) delineadas pela topografia.

Quadro 3 | Proporção de área de mobilidade não motorizada por sub-bacia

Sub-bacia	Área da sub-bacia (km ²)	Cenário 1	Cenário 2	
		Área pavimento permeável (%)	Área pavimento permeável (%)	Área trincheira de infiltração (%)
1	2,57	1,041	2,93	0,11
2	0,001	6,232	11,92	0,1
3	3,359	3,867	10,21	0,33
4	2,009	1,022	2,74	0,1
5	0,107	0,527	1,76	0,07
6	1,153	0,072	0,31	0,01
7	4,582	0,072	3,19	0,14
8	1,381	0	0	0
9	1,239	0	0	0
10	1,324	0,247	0,79	0,03
Total	17,14			

Fonte: Montagna (2019).

As unidades de respostas hidrológicas, geradas a partir da combinação de uso da terra, o tipo de solo e a declividade, geraram 440 HRUs para o cenário 1 e 477 HRUs para o cenário 2. São 37 HRUs a mais em relação ao cenário 1 devido à inclusão do uso e solo para trincheira de infiltração. A topografia da área de estudo apresentou 26 sub-bacias conforme representação na Figura 9.

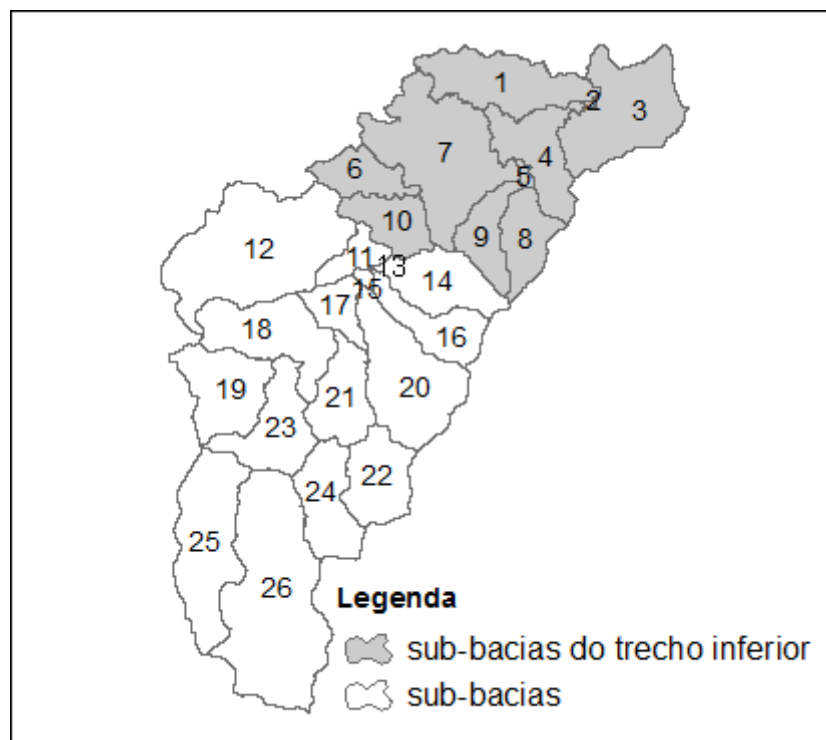


Figura 9 | Representação das 26 sub-bacias delimitadas pelo processamento do Swat na área de estudo, com destaque para as sub-bacias do trecho inferior da bacia hidrográfica do Ribeirão da Velha.

Fonte: Montagna (2019).

As vazões no exutório, para os dois cenários, apresentaram uma leve diminuição para as distintas profundidades. Observa-se que os picos de vazão desse período analisado estão concentrados em

menos de 10% do tempo (Figuras 10 e 11), excedendo uma vazão de 4m³/s.. Justamente nessa vazão de pico que as técnicas de Suds conseguem atenuar as vazões. Por manter condições naturais do solo, essas técnicas permitem que uma maior parte da água infiltre nas camadas do solo e mantenha a vazão um pouco mais elevada no decorrer do tempo devido ao escoamento dessa água.

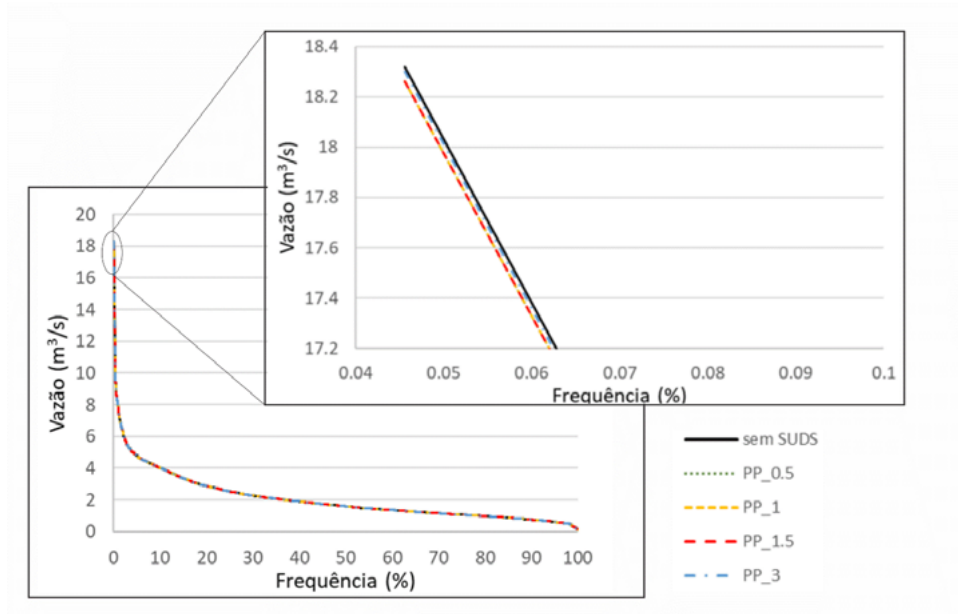


Figura 10 | Curva de permanência do cenário 1 com a frequência das vazões simuladas, para cada profundidade definida, da estrutura de pavimento permeável.

Legenda: PP representa pavimento permeável do primeiro cenário, seguido da profundidade da estrutura

Fonte: Montagna (2019).

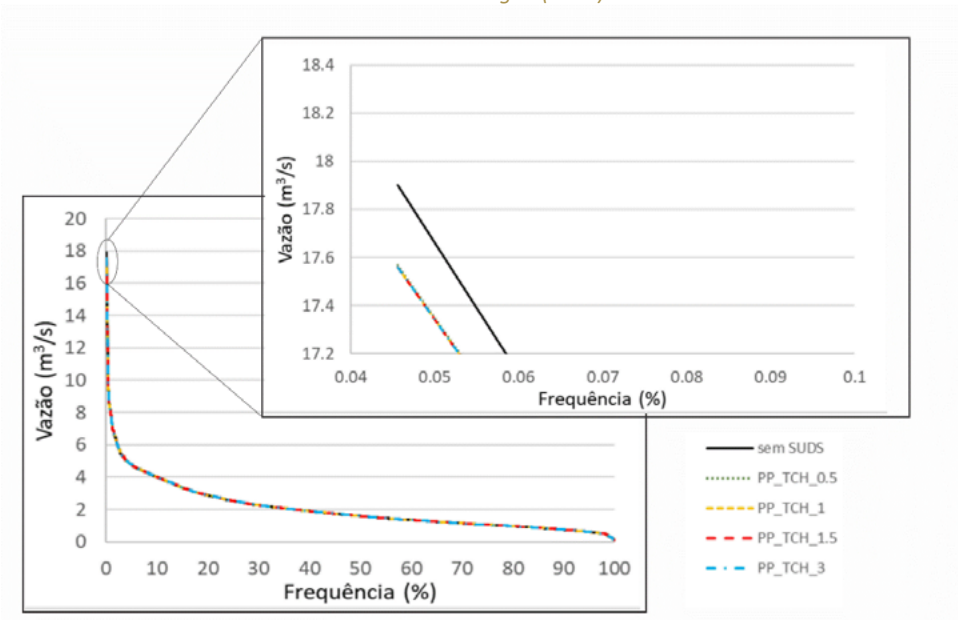


Figura 11 | Curva de permanência do cenário 2 com a frequência das vazões simuladas, para cada profundidade definida, da estrutura de pavimento permeável e trincheira de infiltração.

Legenda: PP_TCH representa pavimento permeável e trincheira de infiltração, seguido da profundidade da estrutura.

Fonte: Montagna (2019).

Observando a curva de permanência de toda a série analisada, para os dois cenários, não é possível visualizar facilmente os efeitos nas vazões devido aos pequenos valores de redução obtidos. No entanto, ao evidenciar as vazões de pico, em destaque nas Figuras 10 e 11, com vazões maiores que 17.2 m³/s, observa-se uma redução de 0,33% da maior vazão de pico para o cenário 1, e para o cenário 2 uma redução de 1,84% da maior vazão de pico.

Nunes (2018), por meio de modelagem com o SWMM, avaliou a implantação de telhados verdes e pavimentos permeáveis, em 50% da área total da bacia, que gerou reduções das vazões de pico de 6,8% para o tempo de retorno de 10 anos e 5,9% para o tempo de retorno de 50 anos. Diversos fatores influenciam a diferença de vazões obtidas, entre elas a proporção de Suds considerada nos estudos.

Para o primeiro cenário, a redução da maior vazão de pico foi de 60 l/s para a profundidade de 0,5 m. Visto que a área considerada para simulação do pavimento permeável representa 0,40% da área total da bacia de 54,05 km², consideravelmente pequena, observou-se ainda assim sua influência na redução das vazões de pico. Com o aumento da área de aplicação de Suds no cenário 2, obteve-se uma redução máxima de 760 l/s para a profundidade das estruturas de 1m. Nesse cenário, com uma aplicação de 0,66 km² de Suds na bacia experimental, 214% a mais que no cenário 1, observa-se um aumento proporcional das reduções das vazões, comprovando a importância da distribuição dos Suds em maiores áreas, incluindo o uso dentro dos lotes para se obter maior efeito e a implementação de mais espaços verdes de uso público, como praças e parques.

Nota-se que, em ambos os cenários, ao longo das vazões mais baixas, ou seja, de maior frequência, o escoamento simulado é superior às vazões do cenário atual. Devido à possibilidade de infiltração maior de água no solo, essa água leva mais tempo para atingir o corpo hídrico e o manterá alimentado com maior vazão por mais tempo. Devido aos baixos valores obtidos, optou-se por demonstrar numericamente, na Tabela 1, os resultados obtidos das vazões no exutório, em que são notórios valores próximos nas diferentes profundidades. Estão representados os resultados para vazões com uma frequência de até 1%.

Tabela 1 | Vazões no exutório com frequência de até 1%

Frequência (%)	VAZÃO DE SAÍDA (m ³ /s)								
	Inicial sem PP	Cenário 1				Cenário 2			
		PP 0.5m	PP 1m	PP 1.5m	PP 3m	PP_TCH 0.5m	PP_TCH 1m	PP_TCH 1.5m	PP_TCH 3m
0.05	18.320	18.260	18.263	18.264	18.300	17.570	17.560	17.566	17.567
0.09	15.350	15.310	15.311	15.315	15.320	15.311	15.313	15.314	15.318
0.14	15.210	15.192	15.190	15.191	15.210	15.170	15.161	15.162	15.166
0.18	14.550	14.510	14.512	14.518	14.520	14.015	14.018	14.019	14.019
0.23	13.870	13.800	13.801	13.805	13.810	13.530	13.530	13.530	13.530
0.27	11.340	11.340	11.340	11.340	11.340	11.220	11.210	11.210	11.210
0.32	11.180	11.170	11.175	11.172	11.180	11.030	11.030	11.030	11.030
0.36	10.590	10.600	10.600	10.600	10.610	10.440	10.440	10.440	10.440
0.41	9.378	9.387	9.387	9.387	9.388	9.452	9.449	9.449	9.449
0.46	9.374	9.382	9.381	9.381	9.381	9.411	9.408	9.408	9.405
0.50	8.685	8.686	8.687	8.687	8.686	8.755	8.753	8.752	8.753
0.55	8.677	8.681	8.681	8.681	8.681	8.719	8.720	8.720	8.720
0.59	8.618	8.587	8.587	8.586	8.593	8.597	8.595	8.594	8.592
0.64	8.568	8.576	8.575	8.575	8.574	8.374	8.374	8.374	8.374
0.68	8.417	8.390	8.390	8.390	8.389	8.283	8.281	8.281	8.278
0.73	8.303	8.288	8.288	8.288	8.292	8.123	8.122	8.122	8.121
0.78	8.238	8.242	8.241	8.241	8.242	8.121	8.121	8.121	8.121
0.82	8.089	8.075	8.075	8.075	8.077	7.981	7.983	7.983	7.985
0.87	8.007	8.001	8.001	8.001	8.004	7.932	7.930	7.930	7.930
0.91	7.969	7.973	7.973	7.973	7.973	7.841	7.841	7.841	7.841
0.96	7.810	7.808	7.808	7.808	7.813	7.823	7.823	7.823	7.823
1.00	7.726	7.734	7.733	7.733	7.733	7.759	7.757	7.757	7.755

Legenda: PP representa pavimento permeável do primeiro cenário, PP_TCH representa pavimento permeável e trincheira de infiltração do segundo cenário.

Fonte: Montagna (2019).

3.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O pavimento permeável e a trincheira de infiltração são técnicas de infiltração que visam reduzir o escoamento superficial. Em relação a essa função, os Suds mostraram-se atuantes. Os dados do escoamento superficial são expressos por sub-bacia e em base diária.

No cenário 1, as sub-bacias que apresentam as maiores proporções de pavimento permeável são as sub-bacias de número 2 e 3, que apresentam uma área de 6,23% e 3,87%, respectivamente, para aplicação de pavimento permeável nas áreas públicas de mobilidade não motorizada. No cenário 2, a sub-bacia que apresenta a maior área com pavimento permeável e trincheiras de infiltração é a de número 3, que apresenta uma área de 10,21% de pavimento permeável e 0,33% de trincheira de infiltração. Essas sub-bacias foram, conseqüentemente, as que apresentaram maiores impactos.

Como esperado, devido à função drenante do pavimento permeável (PP), a altura do escoamento superficial também foi reduzida. Tendo em vista a sub-bacia com maior área de aplicação do Suds, a sub-bacia 3, o escoamento superficial total gerado no período simulado, no cenário 1, apresentou redução de 0,88% (PP_0,5m), 0,87% (PP_1m), 0,86% (1,5m) e 0,78% (PP_3m) (Figura 12).

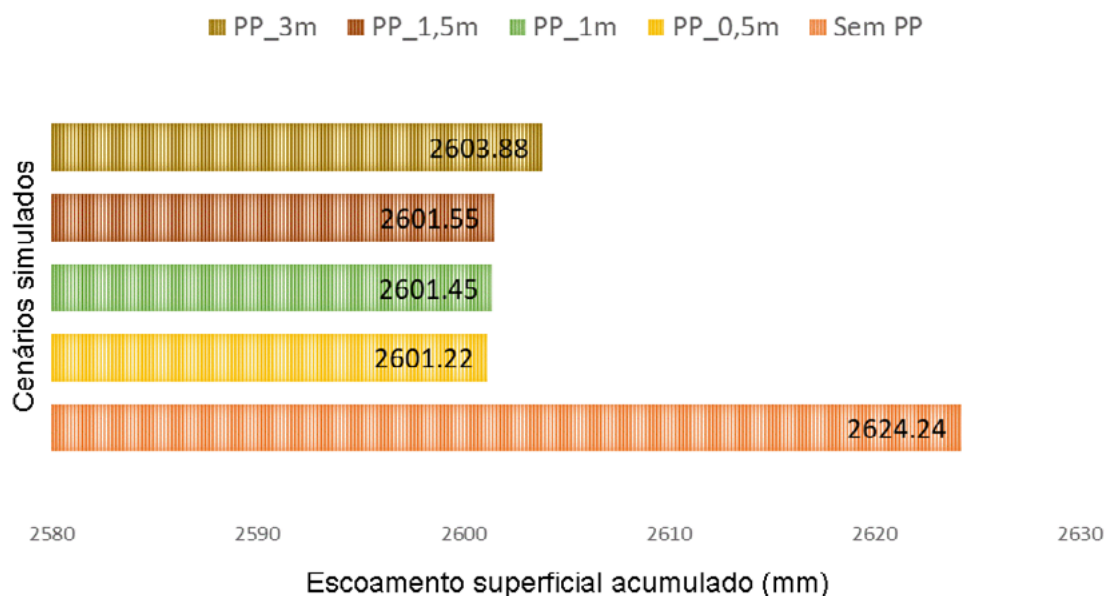


Figura 12 | Gráfico de barras com o quantitativo do escoamento superficial acumulado na simulação do pavimento permeável

Fonte: Montagna (2019).

Desse modo, analisando o escoamento superficial da sub-bacia com maior área de pavimento permeável considerada, identifica-se uma redução máxima de 0,88% da altura do escoamento superficial ao longo do período analisado para a profundidade da estrutura de 0,5 m. Para o cenário 2, a sub-bacia 3 também apresentou maior área de aplicação do Suds. O escoamento superficial total gerado no período simulado apresentou uma redução de 2,82% (PP_TCHA_0,5m), 2,61% (PP_TCHA_1m), 2,57% (PP_TCHA_1,5m) e 2,25% (PP_TCHA_3m) (Figura 13).

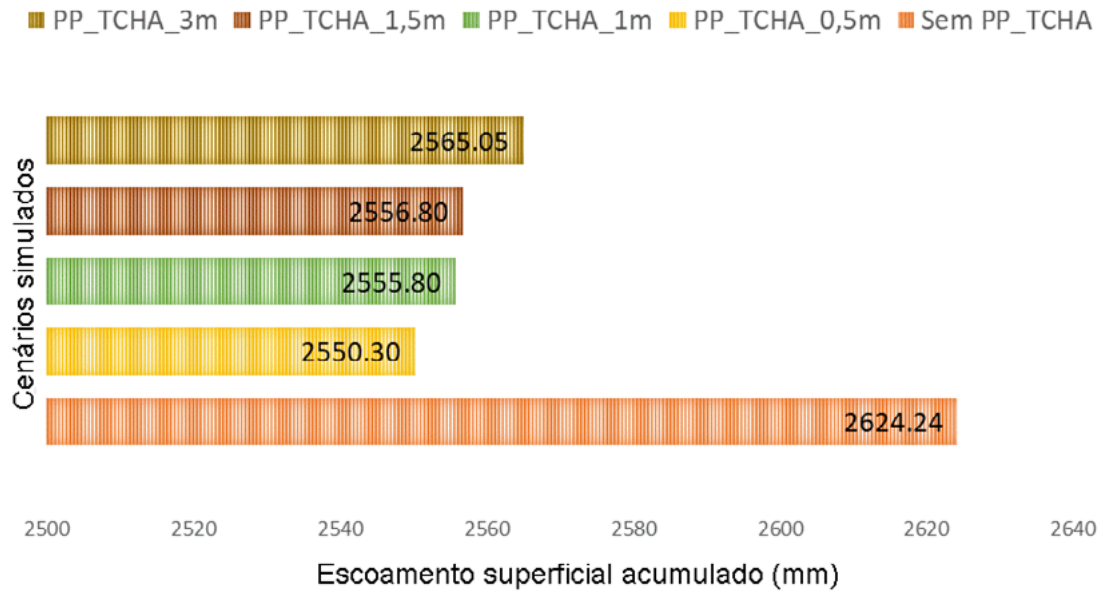


Figura 13 | Gráfico de barras com o quantitativo do escoamento superficial acumulado na simulação do pavimento permeável e trincheira de infiltração

Fonte: Montagna (2019)

O fato de a estrutura com a menor profundidade gerar a maior redução do escoamento superficial pode estar vinculado à maior quantidade e a porosidade do solo logo abaixo da estrutura de reservatório do pavimento permeável. Quando observado um evento isolado de maior redução do pico no escoamento superficial, obteve-se uma redução de 7,9% da altura da lâmina-d'água (Figura 14).

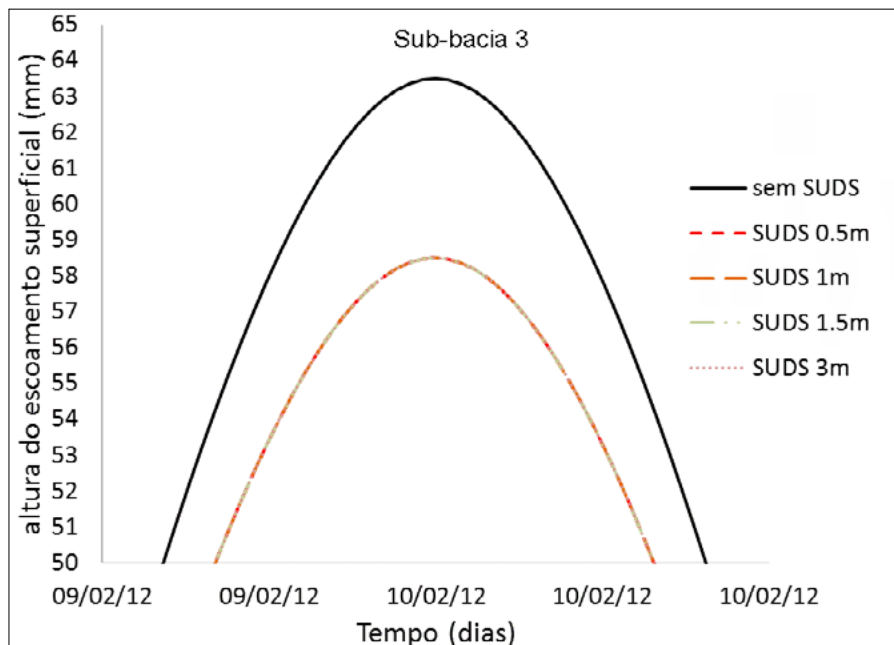


Figura 14 | Detalhe do gráfico com o pico de escoamento superficial na sub-bacia 3 com as estruturas de pavimento permeável e trincheira de infiltração.

Fonte: Montagna (2019).

Conforme identificado nas representações de vazão, verifica-se novamente que, em relação a esse processo

hidrológico, a profundidade das estruturas de Suds não resulta em grandes variações dos resultados entre elas. Os dados de saída para essa informação são em base diária, o que permite verificar os efeitos após o período de 24h, sendo que em pequenas bacias hidrográficas o tempo de resposta é mais curto.

Cabe aqui destacar que a sub-bacia 3 (3,36 km²), além de ser a segunda sub-bacia com maior proporção de área de aplicação dos Suds na simulação, como pode-se observar na Figura 15, apresenta os maiores índices de densidade demográfica no trecho inferior da bacia do Ribeirão da Velha, indicativo de beneficiamento de um maior número de pessoas com essa proposta de integração dos Suds. Também é evidenciada nesse trecho a cota de inundação de 10 m, bem como a frequência na ocorrência de eventos de alagamentos causados pelas chuvas intensas dos últimos anos nessa mesma área.

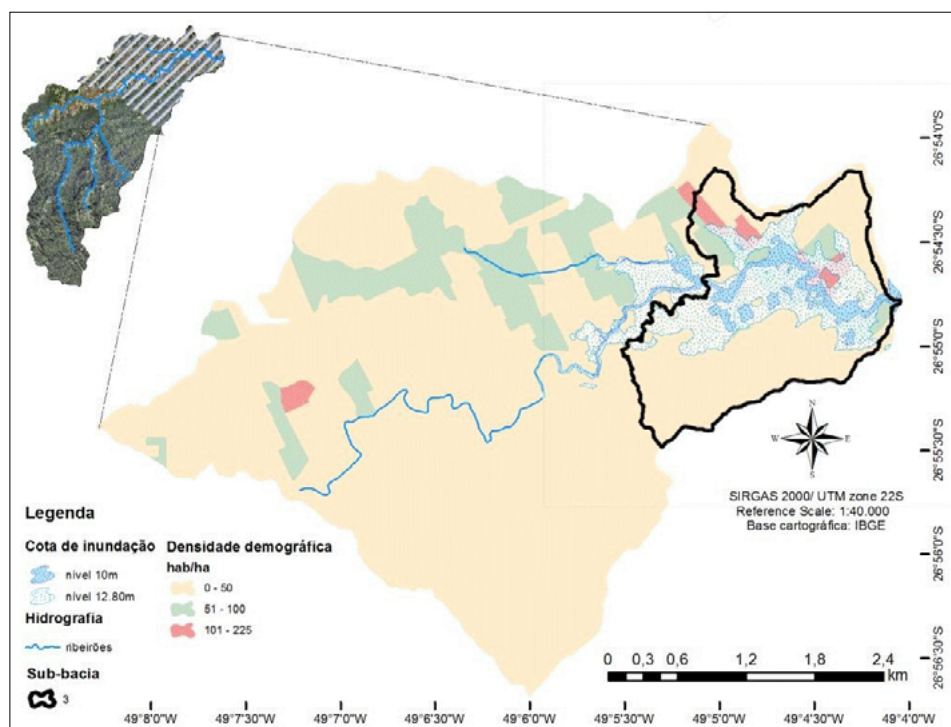


Figura 15 | Mapa com os índices de densidade demográfica da bacia do Ribeirão da Velha e mancha de inundação a 10 m e 12,8 m.

Fonte: Adaptado de Montagna e Vieira (2019).

Obteve-se nessa sub-bacia a redução de 7,9% da lâmina de água para um evento. Isso equivale à redução de 0,5 cm para área de toda a sub-bacia 3 para o período de 24 h. O ideal é verificar os valores para intervalos de tempo mais curto, no entanto, essa é uma limitação, até o momento, pela opção dos dados de saída em bases diárias.

Seo et al. (2017) também fizeram uso do modelo Swat, nesse caso, para quantificar o fluxo e cargas de poluentes sob três usos do solo com diferentes padrões urbanos com a combinação de três Suds. Os autores identificaram reduções de 29% dos escoamentos. No entanto, a área de Suds considerada é de 21% da área de estudo. Nota-se que a área de aplicação dos Suds é significativamente superior à considerada nesta pesquisa, que abrange 1,22% da área (54,05 km²). Outros estudos que utilizaram o Swat para modelagem de Suds têm como objetivo avaliar a qualidade do fluxo hídrico, cargas de sedimentos, nutrientes e contaminantes (BRACMORT et al., 2006; KAINI; ARTITA; NICKLOW, 2012).

Diversos outros estudos avaliaram o impacto dos Suds nos processos hidrológicos, no entanto, utilizaram outros modelos de simulação. Zanandrea (2016), por meio do *Storm Water Management Model (SWMM)*, obteve reduções de 14% nos escoamentos com a aplicação de Suds em 7,4% da bacia hidrográfica em

estudo. Silva (2019) corrobora os benefícios da utilização conjunta das técnicas de Suds, obtendo uma redução de até 36,37% do volume na simulação de escoamento superficial em áreas urbanas. Nunes (2018) também avalia a combinação de técnicas, com a implantação de telhados verdes e pavimentos permeáveis, em 50% da área total da bacia, que gerou uma redução de 10,9% de volume escoado.

Explorando a distribuição dos Suds na bacia hidrográfica, Zellner et al. (2016) apresentaram, em um dos *layouts* simulados, a adaptação do meio-fio da via a uma infraestrutura verde, identificando que são mais eficazes na redução de inundações para todas as precipitações simuladas do que para outros layouts agrupados. Por meio do modelo *Landscape Green Infrastructure Design* (L-Grid), eles apontam que, mesmo com 5% da área coberta pelas técnicas de Suds, adotadas pelos autores como infraestruturas verdes, as melhorias já são perceptíveis.

De todo modo, diante das características da área de estudo, mesmo com baixa área de aplicação simulada em relação à área de contribuição, obtiveram-se resultados positivos, admitindo-se sua contribuição para a acessibilidade, facilitando o caminhar e o não empoçamento de água em eventos de precipitação. Assim, a modelagem hidrológica e a aplicação de Suds, distribuídos pela bacia hidrográfica, vinculam a gestão dos riscos de desastres com a drenagem e a mobilidade urbana. Sugere-se que, com essas ferramentas, possam incentivar o uso de técnicas sustentáveis, de modo a se obter menores impactos das áreas construídas sobre os processos hidrológicos, além de melhorar a mobilidade urbana, a acessibilidade, bem como outros ganhos ambientais, como a infiltração de água no solo, a recarga de lençóis freáticos e a redução de ilhas de calor.

3.4 ATUAÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL E DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

O Swat nos permite avaliar as estruturas de pavimento permeável e de trincheira de infiltração isoladamente por meio da avaliação das HRUs. Um dos critérios para a criação das HRUs é o uso da terra, e, nesse caso, o pavimento permeável e a trincheira de infiltração são usos distintos e gerou a delimitação da HRU pela demarcação das técnicas nos mapas de uso da terra.

O parâmetro SQUEM (contribuição do escoamento), obtido a partir da HRU, nos permite observar qual a variação na contribuição do escoamento superficial desses elementos. Na Figura 16, observam-se os escoamentos gerados sem as estruturas de Suds e após a aplicação de uma HRU de pavimento permeável e uma HRU de trincheira de infiltração, ambas com mesma área.

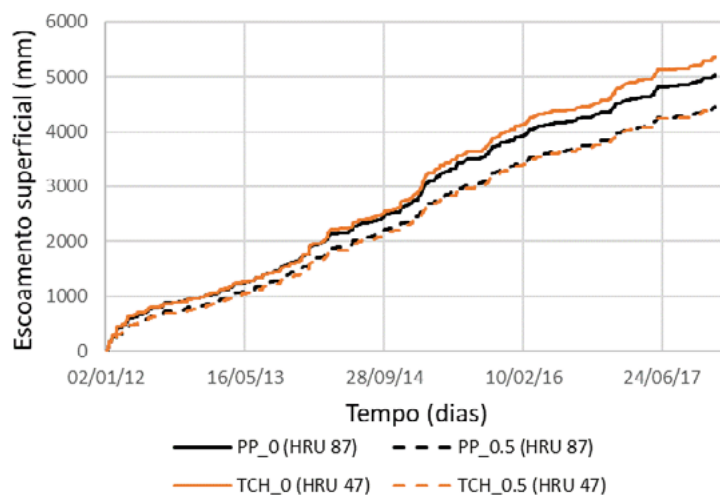


Figura 16 | Comportamento do escoamento superficial em uma HRU de pavimento permeável e uma HRU de trincheira de infiltração para o período simulado.

Fonte: Montagna (2019).

A HRU com pavimento permeável de área igual a 0.005 km² apresentou uma redução de 11,5% da altura do escoamento superficial. A HRU com trincheira de infiltração de área igual a 0.005 km² apresentou redução de 17% da altura do escoamento superficial. Podemos observar que, nessas estruturas com mesma área de cobertura, a trincheira de infiltração apresentou o melhor resultado de redução de escoamento, isso pode justificar-se pelo fato de o revestimento permeável de concreto ter uma condutibilidade hidráulica inferior em relação à superfície das trincheiras. Não foram identificadas abordagens semelhantes a esta na literatura, com análise individual da HRU, que, de acordo com a metodologia abordada, representa a técnica de Suds.

Seo et al. (2017) destacam que, apesar da contribuição significativa das práticas sustentáveis na maioria dos casos, uma grande quantidade de escoamento superficial ainda pode ser gerada por fortes precipitações devido às limitações em capacidade e área de uso da terra. Diversos estudos sobre os impactos de Suds no escoamento superficial apresentam os resultados com combinações das técnicas (DU et al., 2016; SEO et al., 2017; ZELLNER et al., 2016). Observados os impactos dessas estruturas simuladas, nota-se que a combinação e a distribuição destas na bacia hidrográfica apresentarão melhores resultados. Du et al. (2016) investigaram o impacto dos padrões da paisagem no pico de escoamento e sugerem que padrões de paisagem maiores, menos fragmentados e mais conectados, têm maior probabilidade de mitigar o pico de escoamento médio anual.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os elementos que favorecem a mobilidade estão distribuídos por toda a extensão das áreas urbanas. Observou-se que as áreas de calçadas, ciclovias e áreas pavimentadas de parques no trecho inferior da bacia do Ribeirão da Velha, com a integração desses elementos com pavimento permeável e trincheira de infiltração, apresentaram resultados positivos para o amortecimento da vazão de pico no exutório da bacia, o que beneficia os trechos a jusante, e claramente a redução da lâmina de água no escoamento superficial.

A simulação hidrológica representou os impactos no fluxo hídrico da bacia hidrográfica em estudo pela substituição das estruturas convencionais por Suds (pavimento permeável e trincheira de infiltração). Observou-se uma redução máxima de escoamento superficial, em um evento, de 7,9% da lâmina de água, em área de contribuição (sub-bacia) constituída de 10% a 11% com os Suds. Tem-se um resultado positivo quanto ao impacto desses Suds sobre os processos hidrológicos, corroborando a hipótese sugerida.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) e CNPq (processo 309980/2017-8).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Séries históricas**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

ARNOLD, J. G. et al. **SWAT**: model use calibration and validation. Transactions of Asabe, v. 55, n. 4, p. 1494-1508, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**. Pavimentos permeáveis de concreto: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 25p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011, 318 p.

BRACMORT, K. S. et al. **Modeling Long-Term Water Quality Impact of Structural BMPs**. Transactions of the Asabe, [s.l.], v. 49, n. 2, p. 367-374, 2006. American Society of Agricultural and Biological Engineers (Asabe).

CORREA, R.; CUNHA, K. B.; BOARETO, R. **A bicicleta e as cidades: como inserir a bicicleta na política de mobilidade urbana**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2010. 86 p. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2010/01/02 - BRASIL_A_bicicleta_e_as_cidades_IEMA.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.

DU, S. et al. Quantifying the multilevel effects of landscape composition and configuration on land surface temperature. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 178, p. 84-92, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.063>.

GREEN, W. H.; AMPT, G. A. Studies on soil physics-1. The flow of air and water through soils. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 4, n. 1, p. 1-24, 1911.

KAINI, P.; ARTITA, K.; NICKLOW, J. W. Optimizing Structural Best Management Practices Using Swat and Genetic Algorithm to Improve Water Quality Goals. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 26, n. 7, p. 1827-1845, 4 fev. 2012. Springer Science and Business Media LLC.

KNAESEL, K. M. **Avaliação do Desempenho do Modelo Hidrológico Swat na Simulação da Qualidade da Água do Sistema de Drenagem Superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu, gerando Cenários de Gestão de Recursos Hídricos**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2019.

LIU, J. et al. Seasonal Manure Application Timing and Storage Effects on Field - and Watershed - Level Phosphorus Losses. **Journal of Environment Quality**, [s.l.], v. 46, n. 6, p.1403-1412, 2017. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29293863>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

MONTAGNA, T.; VIEIRA, R. Infraestrutura de mobilidade urbana e sua articulação com a drenagem sustentável. **Confins**, [s.l.], n. 43, p.1-18, 9 dez. 2019. OpenEdition. <http://dx.doi.org/10.4000/confins.24654>. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/24654>>. Acesso em: 09 dez. 2019.

MONTAGNA, T. **Pavimento permeável e trincheira de infiltração em espaços públicos que apoiam a mobilidade não motorizada como parte da gestão das águas pluviais em áreas urbanas**. 2019. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2019.

NUNES, A. A. **Tendências em eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte: detecção, impactos e adaptabilidade**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, Belo Horizonte. 2018.

PAPAFOTIOU, E.; KATSIFARAKIS, K. I. Ecological Rainwater Management in Urban Areas. Preliminary Considerations for the City of Corinth, Greece. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, [s.l.], v. 4, p. 383-391, 2015.

PARAIZO, L. Temporal alaga ruas em Blumenau e região e deixa Defesa Civil em alerta máximo. **NSC Santa**, Blumenau, 16 jan. 2018. Disponível em: <<http://jornaldesantacatarina.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2018/01/temporal-alaga-ruas-em-blumenau-e-regiao-e-deixa-defesa-civil-em-alerta-maximo-10120149.html>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

PORTO, R. L. L. Escoamento Superficial Direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. La L.; BARROS, M. T. M. de. (Org.). **Drenagem Urbana**. SÃO PAULO: ABRH, 1995, v. V, p. 107-165.

PORTO, R. L. L. et al. **Fundamentos para a Gestão de Águas**. São Paulo - SP: CDG Casa de Soluções e Editora, 2012. v. 1000. 229p.

SANTOS, Á. R. **Cidades e geologia: discussão técnica e proposição de projetos de lei de grande interesse para as populações urbanas**. São Paulo: Rudder, 2009. 136 p.

SCHULT, S. I. M.; PINHEIRO, A. Ocupação e Controle das áreas urbanas inundáveis. In: FRANK, B.; PINHEIRO, A. (Org.). **Enchentes na bacia do Itajaí: 20 anos de experiências**. Blumenau: Editora da Furb, 2003, v. 1, p. 173-190.

SEO, M. et al. Evaluating the Impact of Low Impact Development (LID) Practices on Water Quantity and Quality under Different Development Designs Using Swat. **Water**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 193-210, mar. 2017.

SILVA, J. F. F. **Alternativas para controle de alagamentos urbanos utilizando telhados verdes e pavimentos permeáveis em um bairro da cidade do Recife**. 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e Cheias: medidas de controle na fonte**. 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

VENZON, P. T. **Efeitos das mudanças de discretização espacial no comportamento da vazão em sub-bacias pertencentes à bacia hidrográfica do Itajaí**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2019.

WAGENER, T.; WHEATER, H.; GUPTA, H. V. **Rainfall-Runoff Modeling in Gauged and Ungauged Catchments**. London: Imperial College. 306 p. 2004. Disponível em: <www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/p335>. Acesso em: 10 jun. 2018.

WANG, Y. **A Diagnostic Decision Support System for Selecting Best Management Practices in Urban/Suburban Watersheds**. 2015. 312 f. Tese (Doutorado) – Curso de Filosofia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Maryland, College Park, 2015.

ZANANDREA, F. **Avaliação de Técnicas de Baixo Impacto no Controle de Impactos Hidrológicos em uma Bacia Urbana em Consolidação**. 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ZELLNER, M. et al. Exploring the effects of green infrastructure placement on neighborhood-level flooding via spatially explicit simulations. **Computers, Environment and Urban Systems**, [s.l.], v. 59, p. 116-128, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.008>.