



Estudos de Caso e Notas

Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Sistema de drenagem complementar com estudo comparativo de métodos para a Avenida Santos Dumont, Criciúma, SC – Estudo de caso

Complementary drainage system with comparative of methods for Avenida Santos Dumont, Criciúma, SC - Case study

Eduardo Fregulia França¹, Flávia Cauduro², Christiane Ribeiro Müller³, Jori Ramos⁴✉

¹ Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, Santa Catarina.

² Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

⁴ Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, Santa Catarina.

✉ Eduardo_fregulia@hotmail.com, flavia.cauduro@unesc.net, christiane@unesc.net.

Resumo

A urbanização das cidades intensifica a impermeabilização do solo, causando impactos negativos aos sistemas de drenagem, e assim gerando problemas de inundações que reduzem a qualidade de vida dos habitantes do município. O presente trabalho tem por objetivo propor um sistema de drenagem complementar para um trecho da Avenida Santos Dumont, localizada no município de Criciúma, Santa Catarina. O estudo foi realizado através do estudo de 4 modelos, um modelo com as observações reais da Avenida e três modelos criados para o estudo da drenagem complementar. Assim, o modelo A consiste na situação real da Avenida, o modelo B a adoção de alteração do revestimento superficial da área simultaneamente a coleta e uso das águas pluviais precipitadas sobre os telhados, o modelo C a implantação de trincheiras de infiltração e o modelo D a aplicação conjunta das ações implantadas nos dois modelos anteriores. Como resultados foram obtidos a redução das vazões lançadas no sistema de drenagem e, conseqüentemente, a redução dos problemas apresentados no modelo A. Foi concluído que o modelo D é o mais indicado para que sejam solucionados os problemas na Avenida atendendo as necessidades do município e dos habitantes locais.

Palavras-chave:

Infraestrutura urbana.
Urbanização sustentável.
Trincheiras de infiltração.

Keywords

Urban infrastructure.
Sustainable urbanization.
Infiltration trenches.

Abstract

When a city grows unplanned, it causes negative impacts to drainage systems, generating flood problems that take away the quality life of city. This present study aims to propose a complementary drainage system for a stretch of Santos Dumont Avenue, Criciúma, Santa Catarina. Study was carried out through 4 models, A model with the actual observations of the Avenue and three models created to study of complementary drainage. A model consisted of the actual situation of the Avenue, B model was the adoption of alteration of the surface to reduce runoff and use of rainwater in builds, C model was used of infiltration trenches in A model and D model was applicated both action in B model. As results were obtained, flow rainstorm reduction in drainage system and, consequently, reduction of problems in A model. It was concluded that D model is the most suitable for solving problems in this Avenue and improve life from community.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i3.29574>

1. INTRODUÇÃO

Os problemas de cheias e inundações enfrentados hoje, gerados do crescimento urbano, impactam na saúde e bem-estar da população local. Estes problemas ocorrem mais frequentemente em países em desenvolvimento, devido à falta de capacidade técnica e econômica para realizar um planejamento de drenagem urbana adequado (CANHOLI, 2005).

As enchentes em áreas urbanas são consequência de dois processos, que ocorrem de forma interligada ou isolada: enchentes em áreas ribeirinhas (ocorrem pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, e atinge as comunidades que ocupam as margens do rio por falta de planejamento do uso de solo) e a urbanização (devido ao processo de urbanização ocorre à impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial)(TUCCI, 1995).

A urbanização tem tendência em ocupar, primeiro, as áreas próximas a córregos e rios e, na sequência, ocupar as montanhas e morros. Assim, normalmente, as zonas de cheias dos rios foram ocupadas e impermeabilizadas (CANHOLI, 2005). Além disto, a urbanização causa impacto sobre o sistema de drenagem com o aumento do pico de vazão de cheia em até sete vezes, antecipação do tempo desta vazão máxima, aumento do escoamento superficial, aumento da geração de sedimentos e, conseqüentemente, redução da qualidade de água (CAMPANA, et al., 2000).

A drenagem convencional é utilizada nos ambientes urbanizados. Este método tem objetivo de coletar e transportar rapidamente as águas precipitadas nos telhados, terrenos, e ruas, onde escoam inicialmente, até serem destinadas as galerias, por meio de sarjetas e bocas de lobo. Essa remoção rápida gera, também, o aumento das vazões nas jusantes, transferindo os problemas de inundações de um local para o outro (CANHOLI, 2005). Já em 1995, Tucci, repreendia tal técnica e afirmava que “pensamentos equivocados dos engenheiros... causam custos elevados à sociedade” e “uma boa drenagem seria aquela que drena as águas pluviais sem causar danos tanto no local, como na jusante”.

O método defendido por Tucci no Brasil, ainda na década de 90, foi iniciado na Europa na década de 70, e é conhecido como Método Alternativo ou Método Sustentável de drenagem. E tem por objetivo o controle de enchentes e o controle da poluição, por meio da coleta e transporte das águas precipitadas, com ações de redução da vazão de pico, retardamento do escoamento e controle da qualidade das águas transportadas para os órgãos receptores, sejam eles rios, lagos ou lençol freático (SÃO PAULO, 2012).

Este método considera a utilização da capacidade de absorção do solo, quando não impermeabilizado, como também a criação de reservatórios localizados em áreas adequadas dentro das cidades, de forma a minimizar o volume de água despejadas nos canais e corpos de água, aumentando o tempo de concentração, e diminuindo os impactos causados pelas chuvas intensas geralmente curtas (MASCARÓ, 2016).

A drenagem sustentável é dividida em medidas não estruturais e estruturais. As medidas não estruturais têm por objetivo prevenir ou reduzir a presença de poluentes nas águas de drenagem urbana, por meio de ações de educação da população, controle de ligações clandestinas de esgoto, varrição das ruas, controle da coleta e disposição final do lixo, controle do uso do solo urbano, entre outras (SÃO PAULO, 2012).

As medidas estruturais mais adotadas visam incrementar o processo de infiltração, reter os escoamentos, ou retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rios, por meio de estruturas, obras ou dispositivos (CANHOLI, 2005; SÃO PAULO, 2012; BENITES, et. Al., 2017).

Mascaró (2016) complementa que a capacidade de absorção do solo é um importante fator a ser considerada nas medidas estruturais de drenagem. Quanto maior a parcela de argila presente no solo, menor será a sua capacidade de infiltração. Na medida em que uma área se urbaniza, a impermeabilização do solo aumenta, pelo fato da ocupação da área com pavimentações e edificações.

Segundo São Paulo (2012) os dispositivos que aumentam a infiltração no solo reduzem o volume pluvial transportado pela rede de drenagem tradicional, reduzem as dimensões das tubulações das redes, diminuem os custos de projeto, reduzem os riscos de inundação. Porém algumas desvantagens podem ser identificadas, como o risco de contaminação do lençol freático, baixa capacidade de armazenamento e a necessidade de manutenção regular para evitar a colmatação das superfícies de infiltração.

Para aumentar a taxa de infiltração em ambientes urbanos e reduzir o volume escoado superficialmente podem ser implantadas técnicas simples como poços e trincheiras de infiltração, revestimentos permeáveis e uso/aproveitamento pluvial para fins não potáveis das edificações (CANHOLI, 2005; SÃO PAULO, 2012; CASTRO et al.,2013; NUNES, et. al., 2017).

Poços de infiltração são dispositivos verticais com pequena área de ocupação superficial, escavados no solo e composto por material poroso, concebidos para evacuar as águas pluviais diretamente no subsolo (SÃO PAULO, 2012).

As trincheiras de infiltração são valas lineares, pouco profundas, com material poroso sobre solo permeável ou material granular envolvidos por material impermeável de forma a evitar a colmatação e elementos contaminantes. Coletam as águas pluviais precipitadas e armazenam temporariamente para a infiltração da água no solo (SÃO PAULO, 2012; NUNE S, et. al., 2017).

Pavimentos porosos ou permeáveis têm intuito de aumentar a infiltração pluvial de uma área, com o uso de, por exemplo, o asfalto poroso, o concreto poroso e os blocos de concreto. O assentamento dos blocos de forma intertravada sob uma estrutura porosa para regularização, normalmente areia, e sem utilizar rejunte entre os blocos promove o aumento da infiltração pluvial da área (CASTRO et al., 2013; SÃO PAULO, 2012).

A desvantagem destes sistemas é que estão sujeitos a colmatagem, ou seja, o fenômeno de preenchimento dos vazios tanto das valas, trincheiras como dos revestimentos pela poluição urbana. Este fenômeno reduz a infiltração pluvial nos sistemas, porém a colmatagem pode ser reduzida com o uso de manta geotêxtil entre a base e o pavimento, a proteção das valetas com vegetação, a varrição urbana e a educação ambiental, sem dispensar a manutenção preventiva do sistema (CANHOLI, 2005).

Os telhados reservatórios são dispositivos de armazenamento temporário com objetivo de coletar as águas precipitadas nas coberturas das edificações, contribuindo para a redução do impacto causado pela impermeabilização do solo oriunda das edificações (SÃO PAULO, 2012). Além disto a água pluvial captada é utilizada para fins não potáveis da edificação, reduzindo o consumo de água potável (MANDELLI E CAUDURO, 2019).

Portanto, este trabalho tem objetivo de propor um sistema de drenagem complementar para um trecho da Avenida Santos Dumont no município de Criciúma, estado de Santa Catarina. Esta proposta proporcionará o uso combinado das drenagens convencionais e alternativas na solução dos problemas de drenagem da área reduzindo os danos no local e a jusante.

A escolha desta Avenida foi devida esta ser um dos principais eixos viários da cidade, além de não ter recebido ampliação ou alteração do sistema de drenagem nos últimos 40 anos e por possuir registros de alagamentos. Já o trecho escolhido foi pelo fato de o mesmo corresponder ao mais densamente ocupado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a região urbana do município de Criciúma, no Estado de Santa Catarina, localizado a 191 km da capital Florianópolis e a 288 km da capital do estado vizinho Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Criciúma está localizada na latitude 28°40'39" Sul, longitude 49°22'11" Oeste e com altitude de 50 metros.

Com relação ao clima, a cidade apresenta clima subtropical com chuvas dispersas em todos os meses do ano, exibe médias mensais, máximas e mínimas, de precipitação pluviométrica de 78 e 162 mm, respectivamente. A cidade está localizada nas bacias do Rio Araranguá e Rio Urussanga (SANTA CATARINA, 2019).

Dentre os principais rios que cortam a cidade de Criciúma, há o Rio homônimo a cidade. As áreas deste estudo pertencem a microbacia do Rio Criciúma, com área de 18,59 km², que compreende a área urbana da cidade (ADAMI, 2010; ADAMI, 2015).

Quanto a geologia da área da microbacia, a mesma é constituída pelas formações Rio Bonito, Palermo, Irati, Serra Geral e Depósitos Aluvionares (IPAT, 2012).

O objeto deste estudo é um trecho da Avenida Santos Dumont, sua bacia de contribuição e o sentido do escoamento superficial estão ilustrados na Figura 1, em azul, vermelho e magenta, respectivamente. O trecho estudado compreende a rótula onde recebe o trânsito da Rodovia Luiz Rosso, Avenida Imigrantes Poloneses e Rua Desembargador Pedro Silva, até o trevo que recebe o trânsito da Rua Palestina, localizada em frente ao Cemitério Municipal de Criciúma.

Figura 1 – Trecho da avenida estudada.



A Avenida possui característica de ocupação comercial, contendo duas pistas de rolamentos em sentidos opostos com revestimento asfáltico ao longo de 1.378,00 metros, a velocidade máxima permitida para o trânsito de 70 km/h e está localizada nos bairros São Luiz, Michel e Santa Bárbara.

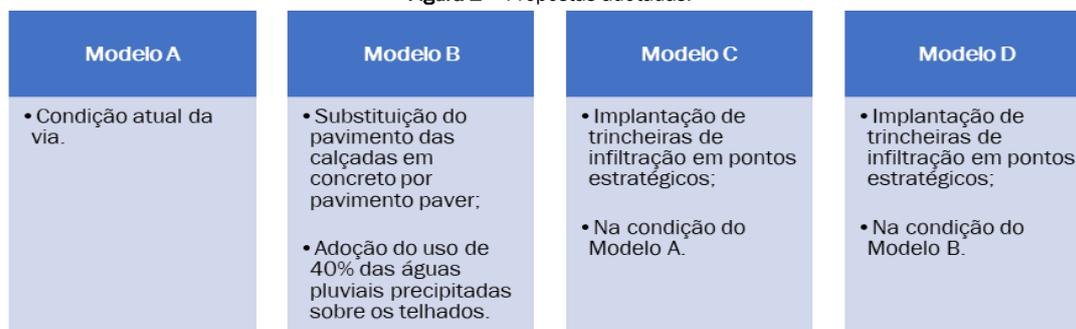
A tabela 1 apresenta os dados da área que contribui para o escoamento superficial no trecho da Avenida estudado.

Tabela 1. Dados da área de estudo.

Índice	Valor	Valor
Área da bacia de contribuição	0,12	km
Perímetro da bacia de contribuição	0,28	km
Comprimento do talvegue	1.378,00	m
Diferença de nível	7,00	m

No desenvolvimento deste estudo e para permitir a comparação foram criadas três propostas de drenagem complementar para o objeto de estudo, além da condição atual da avenida, também dimensionada. Foram denominadas como: Modelo A, Modelo B, Modelo C e Modelo D. As propostas adotadas são descritas a seguir e ilustradas na Figura 2.

Figura 2 – Propostas adotadas.



O modelo A consiste na condição atual/real da área em estudo, a quantidade, a localização e a tipologia das bocas de lobo foram obtidas através de uma visita em campo.

No modelo B foram adotados elementos do Método Sustentável de Drenagem como: substituição do pavimento dos passeios públicos em concreto por pavimento paver, e adoção do uso de 40% das águas pluviais precipitadas sobre os telhados. Estas medidas visam reduzir o volume de água encaminhado para a drenagem e permitir que águas pluviais precipitadas em perímetros urbanos realizem a recarga do lençol freático e sejam utilizadas nas edificações para fins não potáveis.

Para o modelo C foram adotadas, em pontos estratégicos, a implantação de trincheiras de infiltração no cenário A. Já o modelo D foram adotadas simultaneamente as medidas utilizadas no modelo B e C.

Para determinação dos coeficientes de escoamento superficial médio (“Cmédio”) dos modelos em estudo, foram utilizados os coeficientes apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de escoamento superficial considerados no estudo.

Curso	Coefficiente de escoamento superficial (C)	Fonte
Asfalto	0,95	U.S. Green Building Council, 2009.
Passelo público revestida com paver	0,50	Wilken, 1978.
Chão batido	0,85	Tomaz, 2013.
Concreto	0,95	Tomaz, 2009.
Lajota sextavada	0,70	American Society of Civil Engineers, 1997.
Gramado plano	0,15	American Society of Civil Engineers, 1997.
Telhado	0,95	Tomaz, 2009.
Terreno coberto com brita	0,10	American Society of Civil Engineers, 1997.

Fonte: adaptado de (ROSA e CAUDURO, 2018)

A estimativa da intensidade de chuva foi obtida através da equação genérica intensidade x duração x frequência de Back (2012). Dada na Equação 1.

$$i = \frac{KT^m}{(t+b)^n} \quad (1)$$

em que:

i é a intensidade média máxima da chuva, em mm/h;

T é o Período de retorno, em anos;

t é a tempo de concentração da chuva, em min. Conforme Equação 2;

k, m, b, n são os parâmetros da equação determinados para cada local.

O período de retorno adotado foi de 25 anos, recomendado por Tomaz (2002) para obras de microdrenagens em ruas urbanas.

Foram adotados os dados para tempo de duração da chuva entre 5 e 120 minutos da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) localizada no município de Içara, Santa Catarina, como base para os parâmetros da equação, devido seus dados obter um histórico maior e mais seguro que a estação localizada no município de Criciúma. Os valores dos parâmetros k, m, b e n são respectivamente 722,90, 0,175, 8,96 e 0,700 (BACK, 2013).

De acordo com Canholi (2005), o tempo de concentração é definido como o percurso que a água precipitada percorre do ponto mais distante até o ponto considerado na bacia, medido a partir do instante que inicia a precipitação. O tempo de concentração será definido pela equação de Shaake, recomendada por Lopes (2005) para bacias urbanas com área inferior a 62 hectares, apresentada na Equação 2.

$$T_c = 0,67 \frac{L^{0,24}}{\alpha^{0,26} S^{0,16}} \quad (2)$$

em que:

T_c é o tempo de concentração da chuva, em min;

L é o comprimento do coletor principal, em m;

S é a declividade média do coletor principal, em m/m;

α é a porcentagem de área impermeável, em %.

A determinação da vazão de pico foi realizada de acordo com o Método Racional Modificado, Equação 3, que utiliza a área da bacia, o coeficiente de escoamento superficial e a intensidade de chuva. De acordo com São Paulo (2012) este método é o mais comumente adotado para determinação das vazões máximas para bacias menores que 3 km², devido à sua simplicidade de aplicação e apresentar bons resultados quando sua aplicação é realizada dentro de suas limitações.

$$Q = CiAcf \quad (3)$$

em que:

Q é a vazão, em m³/s;

C é o coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

i é a intensidade média máxima da chuva, em mm/h;

A é a área da bacia, em m²;

Cf é o coeficiente de ajustamento pelo período de retorno, adimensional.

A vazão suportada pela Sarjeta foi dimensionada através da fórmula de Manning modificada por Izzard. A vazão engolida pela boca de lobo foi determinada pelas fórmulas de vertedores hidráulicos e a trincheira foi dimensionada conforme método utilizado por Tomaz (2011). Através das Equações 4, 5 e 6 apresentadas a seguir para determinar, respectivamente, a profundidade máxima admissível da sarjeta, a área superficial, e o volume de entrada da trincheira.

$$dmáx = \frac{f Ts}{n} \quad (4)$$

em que:

dmáx é a profundidade máxima admissível, em m;

f é a taxa de infiltração, em mm/h, foi adotado 12,70 mm/h, recomendado por Tomaz (2011);

Ts é o tempo de drenagem do volume de *runoff*, em h, foi adotado 36 h, recomendado por Tomaz (2011);

n é a porosidade das pedras britadas.

$$At = \frac{Vw}{(ndt+fT)} \quad (5)$$

em que:

At é área da superfície da trincheira, em m²;

Vw é o volume que entra na trincheira, em m³;

n é a porosidade das pedras britadas;

dt é a profundidade adotada no projeto, em m;

f é a taxa de infiltração, em mm/h;

T é o tempo para enchimento da trincheira, em h, foi adotado 2 h, recomendado por Tomaz (2011).

$$Vw = Qtc \quad (6)$$

em que:

Vw é o volume que entra na trincheira, em m³;

Q é a vazão que chega na trincheira, em m³/s;

tc é o tempo de duração da chuva, em min.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram divididos e analisados conforme:

- a) Diagnóstico local – vistoria técnica e levantamento da condição atual do sistema de drenagem implantado na Avenida;
- b) Dimensionamento das propostas - resultados obtidos e analisados no desenvolvimento das propostas.

Através do diagnóstico da área foram contabilizadas, no trecho estudado, 26 bocas de lobo do tipo guia, 10 bocas de lobo do tipo grade e 1 boca de lobo combinada. A avenida tem no total 37 bocas de lobo, localizadas de acordo com as Figuras 2 e 3.

Figura 2. Localização das bocas de lobo na Avenida Santos Dumont.



Figura 3. Localização das bocas de lobo na Avenida Santos Dumont.



O sistema de drenagem da Avenida, Modelo A, apresentou problemas estruturais. Estes problemas foram observados na vistoria técnica e confirmados na análise do dimensionamento do sistema de drenagem deste modelo. Os problemas observados foram:

- número insuficiente de bocas de lobo para captar toda a vazão superficial da área. Com a incapacidade de as bocas de lobo captarem todo o escoamento das sarjetas, ocorre o acúmulo das águas pluviais nas mesmas, ou seja, surgimento de alagamentos;
- sarjetas rasas, ou seja, meio fio baixo com relação a Avenida. A sarjeta rasa tem menor capacidade de acúmulo do escoamento superficial pluvial. Isto não representaria um problema se houvessem bocas de lobo suficientes para captar a vazão superficial da área. Como não é o caso, pode significar o alagamento da pista de rolagem e/ou passeio público;
- vazão de escoamento na sarjeta superior a suportada pela mesma. A hipótese do item anterior foi confirmada no dimensionamento. Portanto, ocorre o transbordamento pluvial da sarjeta para a pista e/ou passeio público;
- pontos da Avenida com baixa a nula declividade longitudinal. A declividade longitudinal da via é importante para ocorrer o movimento do escoamento pluvial na sarjeta e este alcançar a boca de lobo. Em uma via com baixa/nula declividade longitudinal o fluxo não tem velocidade e fica estagnado acumulando na sarjeta sem chegar a boca de lobo;
- velocidade do escoamento superficial nas sarjetas inferior a velocidade mínima recomendada de 0,75 m/s (BACK, 2015). A declividade da via impactou na velocidade do fluxo, hipótese confirmada com o dimensionamento. A baixa velocidade do escoamento superficial resulta no acúmulo de sedimentos, na obstrução das sarjetas e, conseqüentemente, impossibilita a água de escoar até as bocas de lobo;
- falta de manutenção do sistema de drenagem. Na Avenida foram observadas duas bocas de lobo completamente entupidas, assim, das 37 bocas de lobo da via, apenas 35 estavam em funcionamento.

Estes problemas provocam alagamentos que representam riscos as pessoas e automóveis que transitam no local, pois podem esconder buracos na pista e no passeio público, além da possibilidade de transmissão de doenças. A localização destes problemas na Avenida é apresentada na Figura 4.

Figura 4. Localização dos problemas encontrados na situação atual da Avenida.



Legenda: Amarelo: Sarjeta rasa e com transbordo; Azul: Baixa declividade e baixa velocidade do escoamento pluvial; Vermelho: Boca de lobo entupida.

No desenvolvimento dos Modelos B, C e D os sistemas estruturais de drenagem sustentável foram instalados com a finalidade de reduzir/sanar os problemas supracitados no Modelo A.

A obtenção do “Cmédio” para os cenários A e B do estudo, determinado através da análise das coberturas do solo, são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3. Composição da cobertura do solo da bacia da situação atual da Avenida – Modelo A.

Curso	Área Total (m ²)	Percentual (%)	Coefficiente de escoamento superficial (C)
Asfalto	9.773,03	7,97	0,95
Brita	6.852,57	5,59	0,10
Chão batido	522,70	0,43	0,85
Concreto	34.473,43	28,11	0,95
Grama	21.431,81	17,48	0,15
Lajota sextavada	3.959,24	3,23	0,70
Telhado	45.614,54	37,20	0,85
Total	122.627,33	100,00	Cmédio = 0,72

Tabela 4. Composição da cobertura do solo da bacia para o Modelo B.

Curso	Área Total (m ²)	Percentual (%)	Coefficiente de escoamento superficial (C)
Asfalto	9.773,03	7,97	0,95
Brita	6.852,57	5,59	0,10
Chão batido	522,70	0,43	0,85
Passo público revestida com Paver	34.473,43	28,11	0,50
Grama	21.431,81	17,48	0,15
Lajota sextavada	3.959,24	3,23	0,70
60% da área de Telhado	27.368,73	22,32	0,85
40% da área de Telhado (uso pluvial)	18.245,81	14,88	0,00
Total	104.381,51	100,00	Cmédio = 0,52

O modelo A resultou em “Cmédio” igual a 0,72, e a aplicação do modelo B sucedeu na redução do coeficiente para 0,52 e mostrou que o emprego de algumas técnicas de drenagem sustentáveis conseguiu reduzir, em torno de, 28% do “Cmédio”. Esta redução ocorreu devido as medidas implantadas no Modelo B modificarem a cobertura do solo de forma a facilitar a infiltração das águas precipitadas. Comparando com Rosa e Cauduro (2018), que conseguiram a redução do “Cmédio” de 0,77 para 0,46 no centro de uma cidade no Sul do Estado de Santa Catarina, com aplicação de técnicas semelhantes a utilizada neste estudo, o resultado encontrado neste foi considerado satisfatório.

A Tabela 5 apresenta os dados hidrológicos e de escoamento superficial utilizado em cada modelo e, na sequência da tabela, os critérios avaliados nos dimensionamentos e os resultados obtidos no dimensionamento de cada modelo deste estudo.

Tabela 5. Resultados dos modelos.

	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D	
Dados	Coeficiente de escoamento superficial médio (Cmédio)	0,72	0,52	0,72	0,52
	Tempo de concentração da chuva (min)	9,43	10,26	9,43	10,26
	Intensidade da chuva (mm/h)	165,42	160,37	165,42	160,37
Crítérios analisados	Vazão Lançada no sistema de drenagem (m ³)	3,79	2,65	1,86	1,54
	Vazão retida no sistema de drenagem (m ³)	1,63	2,77	3,56	3,88
	Nº insuficiente de bocas de lobo (un)	42	26	-	-
	Metro linear de trincheira (m)	-	-	55	36
	Trechos com extravase da sarjeta (un)	16	13	3	3
	Trechos com declividade nula (un)	3	3	3	3
	Velocidade máxima (m/s)	1,97	1,97	1,14	1,05
	Velocidade mínima (m/s)	0,07	0,07	0,05	0,05

Com relação aos critérios analisados, no dimensionamento dos modelos que utilizaram medidas de drenagem alternativa, Modelos B, C e D, foi possível observar a redução da vazão lançada para manejo no sistema de drenagem. Quando comparada esta variável entre o Modelo A e os Modelos B, C e D houve redução, respectiva, de 30,08, 50,92 e 59,37% da vazão lançada na drenagem. Do mesmo modo, foi observado o consecutivo aumento da vazão retida e absorvida pelo sistema de drenagem sustentável. O que significa que houve alcance do objetivo esperado com a aplicação do método.

A redução de 30,08% da vazão lançada nas galerias no modelo B reduziu os problemas gerados pelo número insuficiente de boca de lobo, porém ainda não foi capaz de sanar todo o problema. Uma vez que no modelo A, seriam necessárias a implantação de 42 unidades para resolução do problema. O modelo B reduziu em 38% esta necessidade, passaram a ser necessárias a implantação de 26 unidades.

A comparação entre os modelos C e D mostra a redução do número de trincheiras padrão necessárias para resolver os problemas apontados no modelo A. O modelo C apresentou a necessidade de 55 trincheiras. Enquanto o modelo D, que utiliza o Cmédio de 0,52, necessitou de 36 unidades, o que representou redução de 34,5%.

Os problemas relacionados a vazão máxima de suporte das sarjetas reduziram a ocorrência para 65% dos trechos. Visto que 80% das sarjetas na situação atual da Avenida sofrem com este problema, a redução com a implantação do modelo B equivale a 19%.

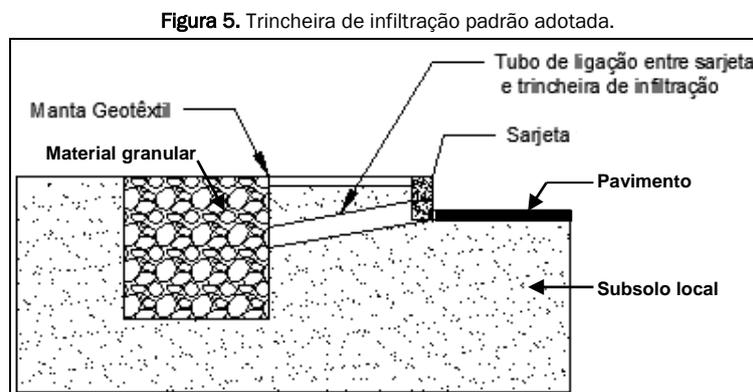
Os modelos C e D apresentaram maior eficiência na redução dos problemas relacionados ao extravasamento da sarjeta. Após a aplicação, de qualquer destes modelos, os trechos que apresentam problemas na sarjeta diminuíram para 15% do total dos trechos. Nos casos onde não foi alcançada a solução do problema foi observada a declividade nula da Avenida.

A declividade nula, ou a baixa declividade, acarreta na redução da vazão de suporte da sarjeta, pois a medida que a declividade no trecho diminui, ocorre a redução da velocidade de escoamento, e dessa maneira ocasiona a redução do volume de água escoado pela sarjeta. Por meio desta redução ocorre maior concentração de água na sarjeta e, assim como um efeito dominó, facilita o transbordamento das águas para a via pública ou passeio. As cotas altimétricas foram obtidas através de uma carta topográfica, disponibilizada por Criciúma (2006), com leitura de cotas a cada um metro, fator que diminui a precisão dos dados de declividade presente na Avenida.

Os problemas relacionados a baixa velocidade de escoamento na sarjeta, observados no Modelo A, não foram possíveis de serem solucionados nas propostas B, C e D. No modelo B não houve alteração da velocidade de escoamento, pois as medidas utilizadas alteraram apenas a vazão lançada no sistema, não alterando comprimento e declividade das sarjetas, fatores que têm grande influência no cálculo da velocidade de escoamento na sarjeta.

Nos modelos C e D foi observada redução das velocidades, mínima e máxima, o que prejudicou a situação do escoamento. A redução da velocidade do escoamento na sarjeta foi ocasionada pela adição das trincheiras, que resultou em menores comprimentos de sarjetas e consequentemente a diminuição da vazão na sarjeta.

No dimensionamento dos modelos C e D, que realizaram o uso de trincheiras de infiltração, foi adotada uma trincheira padrão. Isto com objetivo de facilitar o dimensionamento, a futura execução do sistema, a compreensão do desenvolvimento do método e a análise dos resultados. A trincheira padrão tem dimensões pré-definidas com largura, comprimento e profundidade de 1,00 metro. A Figura 5 apresenta o corte transversal da trincheira padrão, a sarjeta e a tubulação de ligação entre os dois sistemas.



Para execução desta trincheira devem ser ponderadas algumas orientações, como:

- uso de manta geotêxtil na superfície da trincheira e na ligação entre a sarjeta e a trincheira com finalidade de proteger o sistema do processo de colmatagem e aumentar a vida útil;
- uso de proteção na sarjeta para o acesso do tubo de ligação. Esta proteção pode ser em forma de grade, assim evita o entupimento da tubulação de ligação;
- uso de extravasor da trincheira para a sarjeta. O extravasor tem o objetivo de evitar o alagamento do passeio público quando ocorrer a saturação do solo local;
- localização da trincheira: em um trecho, ou rua dimensionada, mais de uma unidade da trincheira padrão pode ser implantada. As trincheiras padrão podem ser implantadas de forma ligadas uma na outra, formando uma grande trincheira, preferencialmente no final da declividade do trecho. Ou podem ser implantadas distanciadas ao longo do comprimento de cada trecho. Este último é mais recomendado, neste caso, pois é mais eficaz na redução da vazão de escoamento na sarjeta e tem, consecutiva, redução dos episódios de extravase da sarjeta.

O dimensionamento foi realizado de modo que adotando os métodos de drenagem sustentável, modelos C e D, as águas precipitadas sob a área de contribuição superficial da Avenida irão ser manejadas na própria Avenida com o excedente, suportado pelo sistema convencional, drenado para jusante.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo propor um sistema de drenagem complementar para a Avenida Santos Dumont, no município de Criciúma, por meio da utilização de drenagens alternativas para solução dos problemas encontrados na área.

A drenagem do trecho estudado da Avenida Santos Dumont mostrou, atualmente, não comportar a vazão escoada desta superfície. No diagnóstico local e posterior dimensionamento, foram constatados que não há padrão do tipo e formato das bocas de lobo e sarjetas, não há manutenção e limpeza, o número de bocas de lobo é insuficiente, em alguns pontos as sarjetas são rasas e em algumas áreas a declividade é insuficiente ou inexistente para o trânsito pluvial.

Para minimizar os impactos negativos causados pela urbanização ao sistema de drenagem e atingir os objetivos propostos neste estudo, foram selecionadas medidas de alteração da cobertura do solo, medidas de retenção e utilização de águas pluviais em edificações e a adoção de trincheiras de infiltração. O estudo propôs três modelos sustentáveis – Modelos B, C e D - e os comparou com a situação atual da avenida, Modelo A.

O modelo B, com redução de 28% do “Cmédio” da área, obtido com alteração da cobertura do solo e uso pluvial nas edificações. Apresentou redução de 30,08% da vazão lançada nas galerias e a redução de 38% do número total de bocas de lobo necessárias para manejar o pluvial, reduziu 19% dos problemas presentes com a vazão máxima de suporte das sarjetas e não alterou as condições da velocidade de escoamento na sarjeta. A desvantagem deste modelo é que o uso pluvial, se não houver incentivo ou obrigatoriedade, fica refém do interesse da iniciativa privada.

No modelo C, os resultados demonstraram que aplicando trincheiras de infiltração há maior redução, comparados ao modelo B, dos problemas de insuficiência de bocas de lobo e vazão de suporte na sarjeta. Os problemas relacionados ao extravasamento das sarjetas passaram a ocorrer em apenas 15% do total dos trechos. O modelo propõe instalar 55 trincheiras, porém a implantação das trincheiras diminuiu a velocidade do escoamento pluvial na Avenida prejudicando esta situação.

Contudo o modelo D, que utilizou as medidas dos modelos B e C de forma conjunta, obteve os mesmos êxitos do modelo C, porém com menor número de trincheiras, 36 unidades totais, 19,00 metros lineares de trincheiras a menos ou redução de 34,5%. Além disto, as metodologias aplicadas no Modelo D, dividem a responsabilidade e os custos do sistema entre a população e o órgão público. O que minimiza o ônus tanto para a população quanto ao município, a desvantagem desse sistema é que, assim como o modelo C, causou a redução da velocidade de escoamento na sarjeta.

Os resultados deste estudo promovem a aplicação das metodologias sustentáveis para o manejo pluvial urbano. O uso das metodologias sustentáveis, aplicadas neste estudo, mostraram ser aplicáveis de forma complementar para drenagem existente, reduziu alguns problemas existentes e, assim, evita a substituição do sistema de drenagem existente. Esta última vantagem, por sua vez, acarreta na redução de custos com sistema de drenagem.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, R.M. *Os significados e representações atribuídos aos cursos d'água da bacia do rio Criciúma (SC) desde 1880 até 2009 e suas influências na configuração da paisagem*. 2010. 312f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.
- ADAMI, R.M. *Rio Criciúma: O rio que a cidade escondeu – Significados e representações na paisagem*. Criciúma, SC. UNESC, 2015.
- BACK, A. J. *Chuvas intensas e chuva para o dimensionamento de estruturas de drenagem para o estado de Santa Catarina. (Com programa Hidrom para cálculos)*. Florianópolis: EPAGRI, 201. 193p.
- BACK, A. J. *Hidráulica e hidrometria aplicada (Com programa HidroChusc para cálculos)*. Florianópolis: EPAGRI, 2015. 398p.
- BENITE, I. M.; BOTARI, A.; VANALLI, L.; NÓBREGA, M. G. J.; CONVERSANI, J. B. *Análise do Sistema de Drenagem Urbana: Estudo de caso das Galerias de Águas Pluviais da intersecção da Rua Governador Nei Braga com a Avenida Brasil na cidade de Umuarama – PR*. Umuarama: UEM, Universidade estadual de Maringá, 2017.
- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. *Previsão da vazão em macrobacias urbana: arroio dilúvio em Porto Alegre*. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. da M. (org.). *Avaliação e controle da Drenagem Urbana*. Porto Alegre : Editora da Universidade (UFRGS), 2000, p. 53-77.
- CANHOLI, A. P. *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. São Paulo : Oficina de Textos, 2005. 302p.
- CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A.; LOPES, A. L. da S; MARQUES, D. M. L. da M.. *Avaliação da Evolução do Comportamento Quantitativo de Pavimentos Permeáveis no Controle do Escoamento Superficial*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.18, n.1, p. 263-273, 2013.
- CRICIÚMA, Prefeitura Municipal. Carta topográfica, 2006, escala 1/3, escala de restituição 2 em 2m.
- IPAT: Instituto De Pesquisas Ambientais E Tecnológicas. *Diagnóstico Ambiental Do Rio Criciúma*. Criciúma, SC. UNESC. 2012.
- JUIZ DE FORA (cidade). *Manual de drenagem*. In: *Plano de drenagem de Juiz de Fora: Parte 1 – Zona Norte*. Juiz de Fora: UFJF, v.3, 2011. 220p.
- LOPES, A. L. da S. *Desempenho de fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.10, n.1, p. 5-23, 2005.
- MANDELLI, T.J.; CAUDURO, F. *Estudo Da Viabilidade Do Aproveitamento Das Águas Pluviais Em Edificação Universitária*. Mix Sustentável. Florianópolis. v.5. n.1 mar. 2019.
- MASCARÓ, J. L. (org.). *Infraestrutura urbana para o século XXI. Porto Alegre*. Masquatro Editora Ltda, 2016. 207 p.

NUNES, D. M.; ALVAREZ, M. G. L.; OHNUMA A. A. J.; SILVA, L. P. da. *Aplicação de técnicas compensatórias no controle dos escoamentos superficiais: estudo de caso em loteamento residencial em Jacarepaguá, Rio de Janeiro*. Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p.3-21, jan-jun. 2017.

SANTA CATARINA. *Relatório de Bacias hidrográficas de Santa Catarina*. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/a-bacia-rio-urussanga/bacia-hidrografica-rio-urussanga>. Acesso em: 30/05/2019.

SÃO PAULO (cidade), Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos*. São Paulo: SMDU, v.2, 2013. 220 p.

TOMAZ, P. Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2011. 478 p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. *Drenagem Urbana*. 1. ed. Porto Alegre. Editora da Universidade/ UFRGS, 1995. 428p.