

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

Eduardo Fregulia França (1), Flávia Cauduro (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) eduardo_fregulia@hotmail.com, (2) flavia.cauduro@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: trincheiras de infiltração; infraestrutura urbana; metodologias sustentáveis.

Comparative study of Complementary drainage system for Santos Dumont Avenue - Criciúma– SC

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 applied 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.

Key words: infiltration trenches; urban infrastructure; sustainable methodologies.

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, reprimia 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. 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 envoltos por material impermeável de forma a evitar a colmatção e elementos contaminantes. Coletam as águas pluviais precipitadas e armazenam temporariamente para a infiltração da água no solo (SÃO PAULO, 2012; NUNES, 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 colmatção, 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 colmatção 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; 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.

Materiais e métodos

O objeto em estudo é um trecho da Avenida Santos Dumont e sua bacia de contribuição ilustrados na Figura 1, em azul e vermelho, respectivamente, e em amarelo o sentido do fluxo que água precipitada escoar sobre a área. O trecho estudado compreende a rotatória 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.

A Avenida possui característica de ocupação comercial, contendo duas pistas de rolamentos em sentidos opostos com revestimento asfáltico ao longo de sua extensão de 1378,00 metros, velocidade máxima permitida para o trânsito de 70km/h e está localizado nos bairros São Luiz, Michel e Santa Bárbara do município de Criciúma, estado de Santa Catarina.

A Avenida pertence a microbacia do Rio Criciúma, possui clima tropical e a precipitação média anual nesta região varia entre 1300 e 1500 mm (OLIVEIRA, 2012).



Figura 1. Localização da Avenida Santos Dumont.

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 contribuição.

Índice	Valor
Área	0,12 km ²
Perímetro	0,28 km
Comprimento do talvegue	1378,00 m
Diferença de nível	7,00 m

Para o desenvolvimento deste estudo e para permitir a comparação foram criados quatro modelos de projetos, denominados Modelo A, Modelo B, Modelo C e Modelo D. Os cenários adotados em cada modelo são descritos a seguir:

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 um diagnóstico técnico de campo.

No modelo B foram adotados elementos do Método Sustentável de Drenagem como: substituição do pavimento das calçadas 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.

Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
<ul style="list-style-type: none"> • Condição atual da via. 	<ul style="list-style-type: none"> • Substituição do pavimento das calçadas em concreto por pavimento paver; • Adoção do uso de 40% das águas pluviais precipitadas sobre os telhados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de trincheiras de infiltração em pontos estratégicos; • Na condição do Modelo A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de trincheiras de infiltração em pontos estratégicos; • Na condição do Modelo B.

Figura

2 representa os cenários adotados em cada modelo.

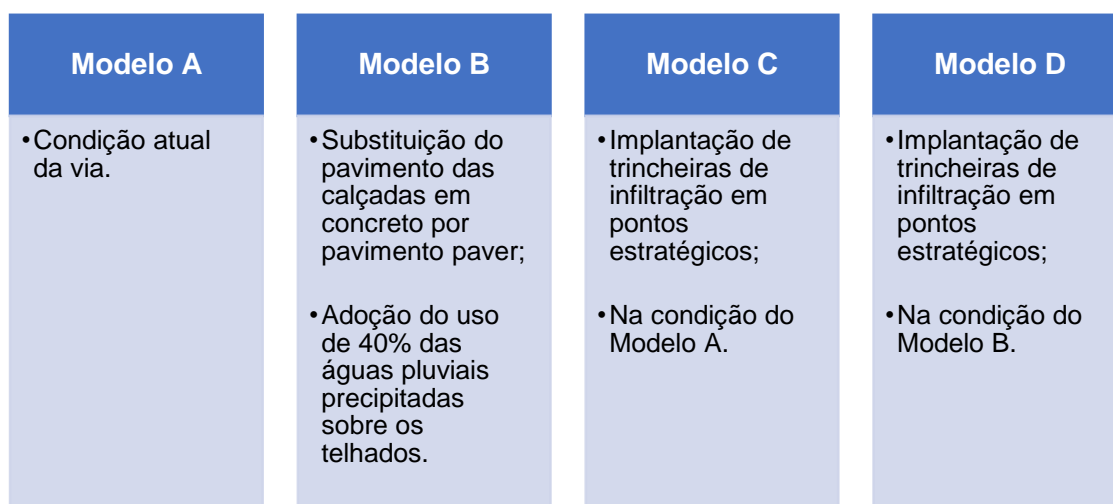


Figura 2. Descrição dos cenários adotados.

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

Tabela 2. Coeficiente de escoamento superficial. Fonte: adaptado de (ROSA e CAUDURO, 2018)

Curso	Coeficiente de escoamento superficial - C	Fonte
Asfalto	0,95	U.S. Green Building Council, 2009.
Calçada c/ Paver	0,50	Wilken, 1978.
Chão batido	0,85	Tomaz, 2011.
Concreto	0,95	Tomaz, 2011.
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 c/ Brita	0,10	American Society of Civil Engineers, 1997.

A estimativa da intensidade de chuva foi obtida através da equação genérica intensidade x duração x frequência de Back (2013). Dada na Eq. 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 duração da chuva, em min;

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, Eq. 2, recomendada por Lopes (2005) para bacias urbanas com área inferior a 62 hectares, apresentada por Tomaz (2013).

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

em que:

T_c é o tempo de concentração, em min;

L é o comprimento do coletor principal, em m;

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

A é a porcentagem de área impermeável, em%.

A determinação da vazão de pico foi realizada de acordo com o Método Racional Modificado, Eq. 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;

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

A vazão suportada pela Sarjeta, apresentada na Eq. 4, pode ser dimensionada através da fórmula de Manning modificada por Izzard, e a velocidade de escoamento pode ser calculada através da Eq. 5, apresentadas por Back (2015).

$$Q = 0,375 y_o^{8/3} \sqrt{I} \left(\frac{z}{n} \right) \quad (4)$$

em que:

Q é a vazão, em m³/s;

y_o é a altura da água na guia, em m;

I é a declividade longitudinal da sarjeta, em m/m;

z é o talude, dado pelo inverso da declividade transversal;

n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

$$V = 0,958 \left(\frac{Q}{z} \right)^{0,25} \left(\frac{\sqrt{I}}{n} \right)^{0,75} \quad (5)$$

em que:

V é a velocidade de escoamento, em m/s;

Q é a vazão, em m³/s;

I é a declividade longitudinal da sarjeta, em m/m;

z é o talude, dado pelo inverso da declividade transversal;

n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

A Eq. 6 apresenta a vazão de engolimento de uma boca de lobo simples sem depressão. De acordo com Juiz de Fora (2011), quando a água acumula neste tipo de boca de lobo a lâmina de água formada tem altura inferior à abertura na guia, podendo assim ser considerada como um vertedor retangular.

$$Q = 1,7Ly^{3/2} \quad (6)$$

em que:

Q é a vazão de engolimento, em m³/s;

L é o comprimento da soleira, em m;

y é a lâmina de água formada na abertura da guia, em m.

A vazão de engolimento de uma boca de lobo com grade foi calculada através da Eq. 7, apresentada por Back (2015).

$$Q = 1,655Py^{3/2} \quad (7)$$

em que:

Q é a vazão de engolimento, em m³/s;

P é o perímetro da abertura, em m;

y é a lâmina de água formada na abertura da guia, em m.

O dimensionamento das trincheiras foi obtido através das Eq.8, 9 e 10 que apresentam, respectivamente, as fórmulas da profundidade máxima admissível, a área superficial, e o volume de entrada em uma trincheira, apresentadas por Tomaz (2011).

$$dmáx = \frac{fTs}{n} \quad (8)$$

em que:

dmáx é a profundidade máxima admissível, em m;

f é a taxa de infiltração, em mm/h;

Ts é o tempo de drenagem do volume de *runoff*, em h;

n é a porosidade das pedras britadas.

Os valores adotados para taxa de infiltração e o tempo de drenagem do volume de *runoff*, foram, respectivamente, 12,70 mm/h e 36 h, recomendados por Tomaz(2011).

$$At = \frac{Vw}{(ndt+fT)} \quad (9)$$

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;

O tempo para enchimento da trincheira adotado foi de 2h, recomendado por Tomaz (2011).

$$Vw = Qtc \quad (10)$$

em que:

V_w é o volume que entra na trincheira, em m^3 ;

Q é a vazão que chega na trincheira, em m^3/s ;

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

Resultados

Os resultados foram divididos e analisados conforme:

- Diagnóstico técnico de campo – levantamento da situação atual da Avenida;
- Propostas - resultados obtidos no desenvolvimento de cada proposta.

Através do diagnóstico técnico de campo foram levantadas em toda a extensão do trecho estudado: 26 bocas de lobo do tipo guia, 10 bocas de lobo do tipo grade e 1 boca de lobo combinada. Assim, a avenida tem no total 37 bocas de lobo, localizadas de acordo com as Figuras Figura 3 e Figura 4.



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



Figura 4. Localização das bocas de lobo na Avenida Santos Dumont.

A situação atual na Avenida, modelo A, apresentou problemas estruturais, em alguns pontos, na análise do dimensionamento da drenagem, sendo estes:

- ✓ Incapacidade de as bocas de lobo captarem todo o escoamento das sarjetas, gerando o acúmulo de água nas sarjetas;
- ✓ Vazão de escoamento na sarjeta ser superior a suportada pela mesma, esta situação faz com que a água transborde para a pista e/ou calçadas;
- ✓ Velocidade nas sarjetas serem inferiores a velocidade mínima sugerida de 0,75 m/s (Back, 2015), o que gera o acúmulo de sedimentos, a obstrução das sarjetas e, conseqüentemente, impossibilita a água de escoar até as bocas de lobo.

Estes problemas provocam pontos de alagamentos que desenvolvem riscos as pessoas e automóveis que transitam no local, pois podem esconder buracos na pista e transmitirem doenças. A origem destes problemas se dá do número insuficiente de bocas de lobo, do entupimento de algumas unidades, da baixa ou inexistente declividade presente na Avenida, e de pontos de sarjeta rasa. A localização destes problemas na Avenida é apresentada na Figura 5, e a representação fotográfica destes problemas realizada no diagnóstico de campo é indicado na Figura 6.



Legenda: Amarelo: Sarjeta rasa; Azul: Baixa declividade; Vermelho: Boca de lobo entupida.
Figura 5. Localização dos problemas encontrados na situação atual da Avenida.

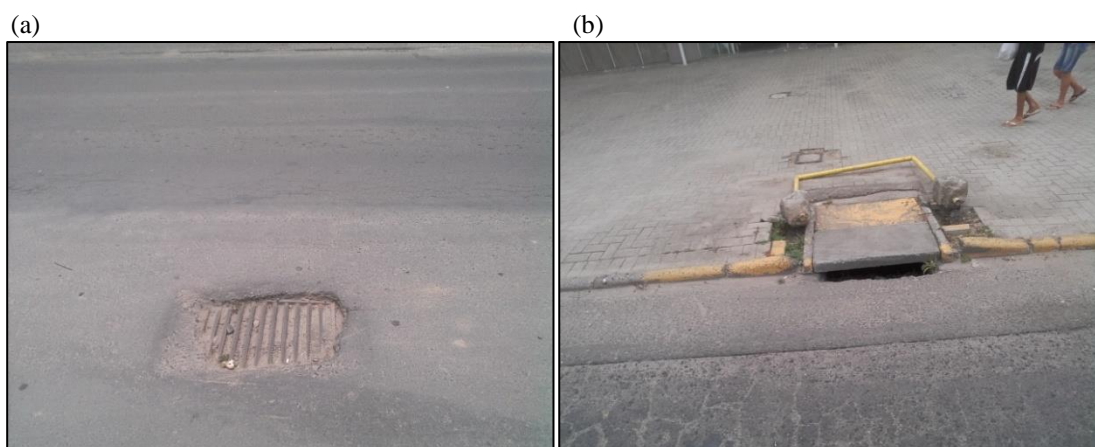


Figura 6. Problemas encontrados na Avenida, (a) boca de lobo entupida; (b) sarjeta rasa.

No desenvolvimento do projeto dos Modelos B, C e D os sistemas estruturais de drenagem sustentável foram instalados, conforme cada Modelo, de modo a reduzir 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 Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente.

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 consegue 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 foi considerado satisfatório. Desse modo é possível reduzir o custo dos sistemas de drenagem, com a utilização de tubulações de menores diâmetros, e amortecer os danos causados a jusante do sistema.

Tabela 3. Coeficiente de escoamento superficial médio – Modelo A

Curso	Área Total (m ²)	Percentual (%)	Coeficiente de escoamento superficial
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
Gramma	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. Coeficiente de escoamento superficial médio – Modelo B

Curso	Área Total (m ²)	Percentual (%)	Coeficiente de escoamento superficial
Asfalto	9.773,03	6,44	0,95
Brita	6.852,57	6,57	0,10
Chão batido	522,70	0,50	0,85
Calçada c/ Paver	34.473,43	33,03	0,50
Gramma	21.431,81	20,53	0,15
Lajota sextavada	3.959,24	6,71	0,70
60% de Telhado	27.368,73	26,22	0,85
Total	104.381,51	100,00	Cmédio = 0,52

A Tabela 5 apresenta alguns parâmetros observados nos dimensionamentos dos modelos estudados. Os parâmetros apresentados são os coeficientes de escoamentos superficiais, tempos de concentração, as precipitações, as vazões lançadas e retidas no sistema de drenagem, número de bocas de lobo, metro linear de trincheira, trechos com extravase da sarjeta, trechos com declividade nula e as velocidades máximas e mínimas de escoamento nas sarjetas para cada modelo em estudo.

Tabela 5. Comparativo de resultados.

Índice	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Cmédio	0,72	0,52	0,72	0,52
Tempo de Concentração (min)	9,43	10,26	9,43	10,26
Precipitação (mm/h)	165,42	160,37	165,42	160,37
Vazão Lançada no Sistema (m ³)	3,79	2,65	1,86	1,54
Vazão retida no sistema (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

No dimensionamento dos modelos que utilizaram medidas de drenagem alternativa, Modelos B, C e D, foi possível observar a alteração significativa na vazão lançada nas galerias. Quando comparado esta variável entre o Modelo A e os Modelos B, C e D foi reduzido, respectivamente, 30,08, 50,92 e 59,37% da vazão lançada na drenagem. Consecutivamente, houve o aumento da vazão retida e absorvida pelo sistema de drenagem sustentável.

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.

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 totalmente 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, sendo necessárias a implantação de 26 unidades.

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), em escala 1:2000 e equidistância entre as curvas de metro em metro, fator que diminui a precisão dos dados de declividade presente na Avenida.

Para facilitar o método, o cálculo, a possível execução e a compreensão do método e da comparação dos resultados entre os modelos C e D, foi adotado um modelo padrão de trincheira com dimensões pré-definidas de largura, comprimento e profundidade de 1,00 metro. A Figura 7 apresenta o projeto da trincheira padrão juntamente com a sarjeta e a tubulação de ligação entre os dois sistemas.

Para execução desta trincheira, a orientação é que seja utilizada manta geotêxtil de proteção superficial e na ligação entre a sarjeta e a trincheira. Esta manta tem por função

reduzir os danos causados pelo processo de colmatção ao qual a trincheira estará exposta e aumentar a vida útil da mesma.

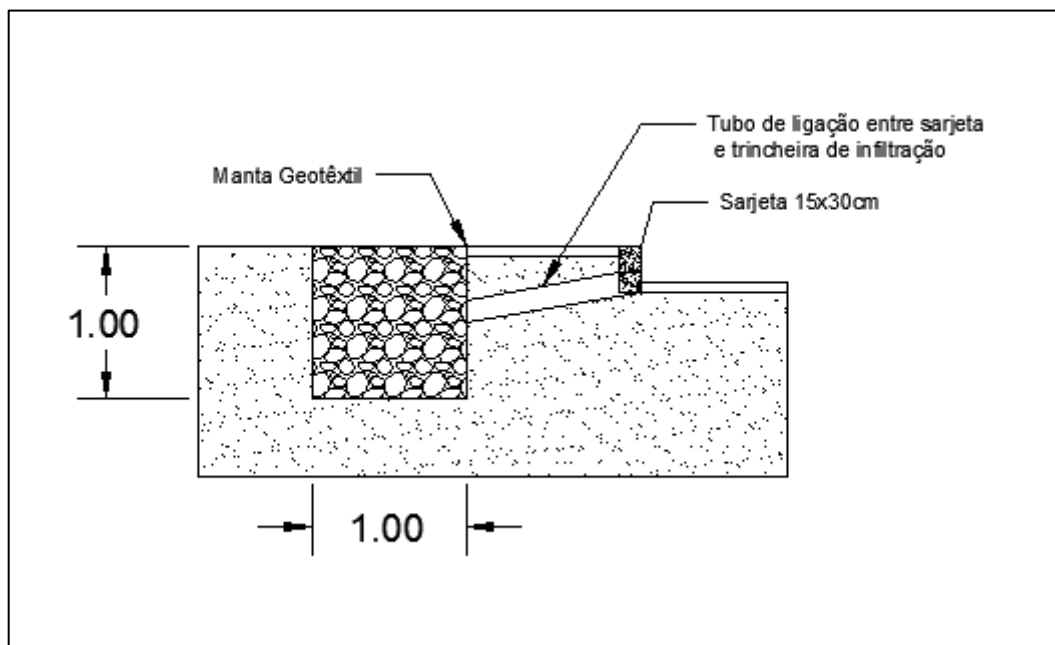


Figura 7. Trincheira de infiltração padrão adotada.

Em um trecho, ou rua dimensionada, mais de uma unidade da trincheira padrão pode ser implantada. A trincheira pode ser implantada de forma ligada 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, pois é mais eficaz na redução da vazão de escoamento na sarjeta. A Figura 8, ilustra um exemplo de implantação de sarjeta dispersas, flechas vermelhas, em uma quadra da Avenida em estudo.



Figura 8. Localização dispersa das trincheiras de infiltração padrão.

Além dos dados apresentados na Tabela 5, outro resultado significativo para a comparação entre os modelos C e D é o número de trincheira padrão necessários para resolver os problemas apontados no modelo A. O modelo C apresentou a necessidade de 55 trincheiras. Já o modelo D, que utiliza o $C_{\text{médio}}$ de 0,52, necessitou de 36 unidades, o que representa redução de 34,5%.

Adotando os métodos de drenagem sustentável, nos modelos C e D, as águas precipitadas na avenida e na sua área de contribuição superficial serão manejadas na própria avenida com o excedente, suportado pelo sistema convencional, drenado para jusante.

Conclusão

O presente trabalho teve por objetivo propor um sistema de drenagem complementar para a Avenida Santos Dumont, no município de Criciúma, por meio de 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. Em diagnóstico técnico de campo 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 de 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 $C_{médio}$ 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 se 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.

Através dos resultados apresentados neste estudo, foi observado que a aplicação das técnicas alternativas no manejo complementar das águas pluviais podem gerar benefícios ao sistema de drenagem, a população e ao município. A metodologia sustentável de drenagem mostrou que pode ser aplicada de forma complementar em sistemas de drenagens existentes, e assim, evitar a necessidade de substituição destes.

Referências

- 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, 2013. 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 – PRUmuarama: 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.
- 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.
- OLIVEIRA, T. de S. **Aplicação do cadastro técnico visando a avaliação de inundações urbanas.** 2012. 300 p. Tese (Dotourado) - Programa de Pós-graduação Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro tecnológico, Florianópolis, 2012.

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.