



PROJETO DE SISTEMA DE DRENAGEM: UMA ABORDAGEM

TÉCNICA E AMBIENTAL

*DRAINAGE SYSTEM DESIGN: A TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL
APPROACH*

Ana Kariny Fernandes Pinheiro*, Kerolane Moreira do Nascimento, Luandesson Fernandes da Silva, Antonio Ricardo Mendes Barros.

* Engenheira Civil formada pelo Centro Universitário Ateneu E-mail: anakariny28@gmail.com.

Autora correspondente.

RESUMO

A infraestrutura de microdrenagem é de competência dos governos municipais que devem ter responsabilidade para definir as ações no setor, ampliando-se essa competência em direção aos governos estaduais, na medida em que crescem em termo de relevância as questões de macrodrenagem, cuja referência fundamental para o planejamento são as bacias hidrográficas. Os serviços de infraestrutura urbana básica relativa à microdrenagem e os serviços correlatos, incluindo-se terraplenagens, construção de guias, sarjetas e galerias de águas pluviais, pavimentações e obras de contenção de encostas, para minimização de risco à ocupação urbana. A comunidade do Santa Cecília faz parte da Secretaria Regional V que abrange o bairro do Bom Jardim. Este trabalho fez o levantamento dos pontos críticos da drenagem em uma área do Santa Cecília, tendo como referência os pontos localizados entre as ruas Urucutuba, Barra Mansa e Descarte Braga, realizando o dimensionamento de projeto de análise financeira e ambiental. Foi realizado um estudo topográfico para obter os perfis das ruas e suas curvas de nível. Para obter o sistema mais adequado, foi realizado um estudo comparativo das características hidrológicas do sistema, visando a comparar as cargas solicitadas no sistema para diferentes períodos de retorno de 5, 10 e 15 anos para a determinação das vazões e cargas solicitantes na rede do sistema. A definição dos componentes físicos do sistema foi realizada por meio de cálculos voltados para área em estudo. Houve a determinação de um orçamento a partir da definição do levantamento de quantitativos dos componentes de drenagem para cada estudo, e, para identificar os impactos relacionados ao projeto de sistema de micro e macrodrenagem pluvial, foi utilizada a Matriz de Leopold. Após a realização dos estudos, afirmou-se que o dimensionamento dos componentes pensados, para um período de retorno de 15 anos, era completamente viável, pois a demanda de vazão solicitada seria suportada pelo sistema proposto. Os impactos da implantação do sistema foram positivos, comprovando ainda mais a sua eficácia e os benefícios para a área de estudo.

Palavras-chave: Saneamento. Drenagem. Infraestrutura.



ABSTRACT

The micro-drainage infrastructure is the responsibility of municipal governments, which should be responsible for defining actions in the sector, expanding this competence towards state governments, as macro-drainage issues grow in relevance, whose fundamental reference for planning are the watersheds. Basic urban infrastructure services related to microdrainage and related services, including earthworks, construction of guides, gutters and rainwater galleries, paving and slope containment works, to minimize risk to urban occupation. The Santa Cecilia community is part of the Regional Secretariat V which covers the Bom Jardim neighborhood. This work surveyed the critical points of drainage in an area of Santa Cecilia, having as reference the points located between Urucutuba, Barra Mansa and Descarte Braga streets, carrying out the design of a financial and environmental analysis project. A topographic study was carried out to obtain the profiles of the streets and their contour lines. In order to obtain the most suitable system, a comparative study of the hydrological characteristics of the system was carried out, aiming to compare the loads requested in the system for different return periods of 5, 10 and 15 years to determine the flows and requesting loads in the system network. The definition of the physical components of the system was carried out through calculations focused on the area under study. A budget was determined based on the definition of the quantitative survey of the drainage components for each study and to identify the impacts related to the micro and macro rainwater drainage system project, the Leopold Matrix was used. After carrying out the studies, it was stated that the design of the components designed for a return period of 15 years was completely feasible, as the requested flow demand would be supported by the proposed system. The impacts of implementing the system were positive, further proving its effectiveness and benefits for the study area.

Keywords: Sanitation. Drainage. Infrastructure.

1 INTRODUÇÃO

A drenagem é essencial para regulamentação urbana, pois evita que os habitantes tenham prejuízos com o patrimônio público, em situações que podem não ser tão corriqueiras, mas que são previsíveis, como as precipitações intensas. As inundações são problemas recorrentes em várias cidades brasileiras, são causadas pelo elevado índice de chuvas e pela falta de infiltração em espaços urbanos. O Brasil instituiu, na Lei 14.026/2020, o “marco legal do saneamento básico”, visando à melhoria tanto na infraestrutura do país como na saúde pública. Assim, uma das metas da Organização Mundial de Saúde (OMS), em parceria com o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), é a globalização do acesso aos serviços de saneamento e higiene adequados até 2030 (UNICEF, 2017).

Frente a isso, a microdrenagem é o sistema responsável pela coleta de água das redes primárias de drenagem, como ruas e loteamentos, que circundam parte da drenagem urbana, até o sistema de macrodrenagem, o qual, por sua vez, é responsável pelo escoamento final da água,



podendo ser formado por canais naturais ou artificiais, galerias de grande porte e estruturas auxiliares, os quais são itens importantes para o gerenciamento de águas pluviais na rede de drenagem urbana (CHEN et al., 2021). Cumpre destacar que o processo de urbanização pode acarretar problemas de alagamento, devido à redução da capacidade de infiltração, cimentação da superfície e pavimentação das ruas (ROSA, 2018, DUTRA; VIEIRA, 2020). A ocupação por meio da expansão urbana teve como resultado sérias dificuldades devido aos problemas de gravidade em função da falta de compreensão dos fatores fisiográficos, pois, na maioria das vezes, é feita de forma desordenada, deflagrando processos erosivos que são regidos por uma variedade de fatores naturais, como clima, relevo, solo e cobertura vegetal.

O aumento das redes de abastecimento de água, esgoto e telefonia de forma independente, desordenada e sem que haja articulação com a prefeitura, danifica as galerias, ocorrendo, por vezes, a obstrução do sistema de drenagem, pois essas intervenções, em alguns pontos, seccionam as galerias, reduzindo sua área útil e dificultando o escoamento das águas. As ligações irregulares de rede de esgoto diretamente nas redes de drenagem pluviais e no canal são prejudiciais aos sistemas, esse tipo de ligação deve ser retirado do sistema de drenagem, para um sistema específico de coleta de modo projetado e pensado para que não haja obstrução em nenhuma das redes (BROERING et al., 2017).

Ao ver que, repetidamente, os problemas de infraestrutura e falta de conhecimento sobre a importância da educação ambiental podem causar alagamentos, principalmente em bairros periféricos, é notória a necessidade de que haja um planejamento voltado a essas áreas. Problemas como inundações causam grandes transtornos para a população pelo mau funcionamento do sistema devido à obstrução dos componentes, ocasionada por sua falta de manutenção e de limpeza (GUIMARÃES et al., 2021).

A falta de manutenção do sistema e os maus cuidados por parte da população, além do grande crescimento populacional, são os principais fatores que acarretam problemas em um sistema de drenagem. Esses fatores fazem com que ocorra a diminuição de segurança e qualidade de vida de uma população em tempos de chuvas, além de fazer com que haja a deterioração das vias públicas e dos dispositivos hidráulicos existentes, devido aos sólidos em locais indevidos. Assim, a manutenção correta, para o melhor funcionamento do sistema, faz com que não ocorra a diminuição da vida útil dos elementos relacionados à microdrenagem local (KOURTIS; TSIHRINTZIS, 2021).

Este trabalho tem o objetivo de dimensionar e comparar um sistema de micro e macrodrenagem para diferentes períodos de retorno do sistema de drenagem da comunidade do



Parque Santa Cecília, em Fortaleza, Ceará. Também foi realizada uma avaliação dos impactos ambientais por cinco profissionais de diferentes áreas, por meio da Matriz de Leopoldo do sistema de drenagem proposto para a área em estudo.

2 METODOLOGIA

A comunidade do Parque Santa Cecília, localizado no bairro Bom Jardim, em Fortaleza – CE, possui 37.758 habitantes e uma área de 245,83 ha, esse território engloba 8,33% da população de Fortaleza e 38% da população da Secretaria Executiva Regional V (SER V).

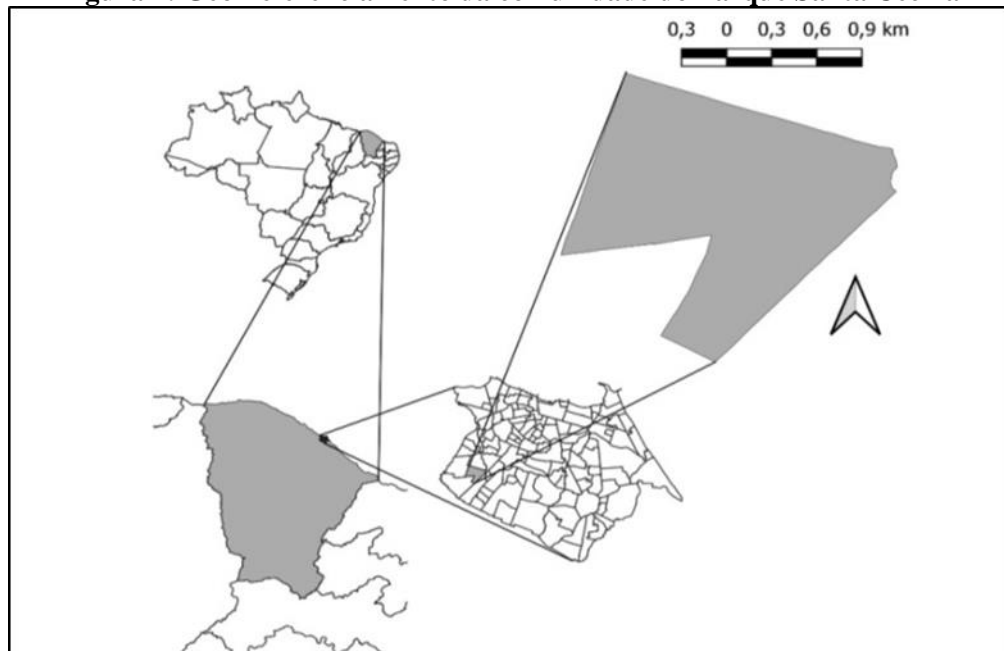
O Bom Jardim (Figura 01) faz parte da zona especial de interesse social do tipo 1, ou seja, corresponde aos assentamentos com ocupação desordenada, em áreas públicas ou particulares, constituído por população de baixa renda, considerada precária do ponto de vista urbanístico e habitacional (FORTALEZA EM MAPAS, 2019).

O bairro concentra os piores indicadores sociais e econômicos, pois 41,04% da população possui esgotamento sanitário; 80% da população é alfabetizada; e o IDH de renda é de 0,03 (renda média de R\$ 291,69), renda média mensal inferior a R\$ 500,00, sendo uma renda per capita inferior a 1 salário-mínimo (IBGE, 2010).

A cidade de Fortaleza – CE, em 2021, teve uma precipitação média de chuva de, aproximadamente, 1207,82 mm, e, no primeiro semestre de 2022, de 621 mm. Diante desse cenário, o sistema de drenagem proposto foi dimensionado de modo a garantir eficiência em períodos em que a solicitação de vazão seja alta (FUNCEME, 2022).



Figura 1: Georreferenciamento da comunidade do Parque Santa Cecília

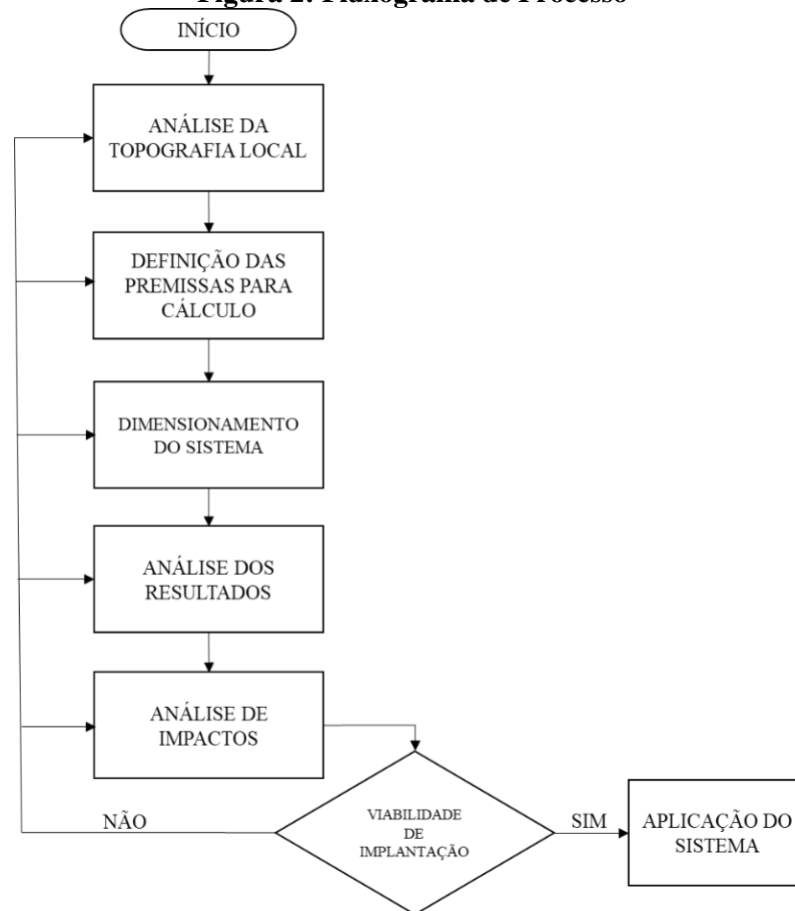


Fonte: Autoria própria, 2022.

O local de estudo foi o canal de águas pluviais que passa no início da Rua Barra Mansa com Zacarias Florindo que faz parte da Bacia do Rio Maranguapinho. Esse local é classificado como área urbana, conforme a Lei complementar nº 7.987, de 23 de dezembro de 1996, consolidada em setembro de 2006, a qual dispõe sobre o uso e a ocupação do solo no município de Fortaleza. Todo o processo de análise de implantação do sistema foi realizado para que se desenvolva de acordo com a análise de impactos do sistema, de modo que só seja aplicável se esses impactos forem positivos, conforme mostrado no fluxograma de processo na figura 02.



Figura 2: Fluxograma de Processo



Fonte: Autoria própria, 2022.

A primeira etapa do processo foi a realização do estudo topográfico, sendo limitada a área de estudo no *Google Earth*, por meio do qual também foi possível se obter os perfis das ruas. Com a área delimitada, o processamento foi realizado por meio do programa *Global Mapper 23.0*, onde foram obtidos os dados referentes às curvas de nível e topografia da região. Com auxílio computacional, foi desenvolvida uma prancha (Apêndice B) da área de estudo com as respectivas cotas, comprimento e declividade longitudinal da área de influência. Atendendo à conformação topográfica da área e traçados dos greides, linhas e seções transversais, foi projetado um sistema de drenagem em galeria circular em concreto, com captação por meio de bocas de lobo.

Para obter o sistema mais adequado, foi realizado um estudo comparativo das características hidrológicas do sistema proposto, buscando comparar as cargas solicitadas no



sistema para diferentes períodos de retorno, sendo de 5, 10 e 15 anos respectivamente. Visando a comparar os impactos da implantação do sistema proposto, foi analisada a erosão causada pela implantação e o custo relativo do sistema, tendo como finalidade obter a melhor configuração do sistema de micro e macrodrenagem para a área adotada. Para isso, foram utilizadas as fórmulas apresentadas no quadro 01.

A etapa seguinte a se realizar foi a determinação das vazões e cargas solicitantes na rede do sistema proposto. Para essa determinação de vazão, desenvolvida pelo Irlandês Thomas Mulvaney, foi realizado o cálculo com um dos métodos mais comumente utilizados em pequenas bacias de até 0,5 km². O tempo de concentração foi determinado pela Fórmula de Kirpich, a qual é válida para áreas de contribuição de até 0,50 hectares. Seu cálculo abrange terrenos que tenham 3 a 10% de declividade.

Para definição da intensidade de chuvas no projeto da região de Fortaleza, utilizou-se a equação desenvolvida pela Superintendência de Desenvolvimento Urbano do Estado do Ceará – SEDURB e para determinação da altura de água livre na sarjeta projetada foi levado em consideração o escoamento e a altura laminar da água. Diante disso, para determinar o número de bocas de lobo, o cálculo foi baseado na carga que ela teria com as condições de declividade em cada rua em estudo.

O diâmetro das galerias apresentado foi baseado na vazão que seria captada pelo sistema inicial de sarjetas e bocas de lobo, destinando os afluentes para o canal existente, de modo que o volume de água não ocupe mais de 40% de área da seção transversal da galeria. Com a vazão do sistema e área do conduto, foi possível determinar a velocidade no sistema de galerias e seus afluentes.

A fórmula de Manning foi proposta em 1889, é uma das mais utilizadas para o cálculo de escoamentos em superfícies livres. Nessa esteira, iremos utilizar a tabela contida na NBR 10844 de 1989, conforme (Anexo A), que é a norma referente a instalações de águas pluviais (ABNT, 1989). O coeficiente utilizado para o dimensionamento será de 0,013, o qual se refere a estruturas em cerâmica e concreto não alisados.

O coeficiente de Runoff, também conhecido como coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de deflúvio, é dado como a razão entre o volume de água escoada superficialmente e o volume de água precipitada. Isso quantifica o grau de absorção de água pela superfície onde ocorre a precipitação, representando a porcentagem do volume precipitado que será realmente escoado. Portanto, para este estudo, foi definido que o escoamento inicial seria em pavimento asfaltado, com a declividade transversal adotada conforme a necessidade



de vazão de cada trecho. Ademais, eles irão variar de acordo com dois fatores: declividade do terreno e tipo de solo, contudo iremos utilizar, para o estudo, a natureza de superfície com os valores de coeficiente recomendados pela ASCE – American Society of Civil Engineers (1969), identificados no (Anexo B). Assim, utilizaremos o coeficiente de 0,80 com o pavimento sendo asfaltado.

Quadro 1: Quadro de Fórmulas

Parâmetros	Fórmulas	Legenda	Fonte
Fórmula de Kirpich (tc)	$tc = 0,019 * \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$	L = comprimento do talvegue (m) S = declividade do talvegue (m/m) tc = Tempo de concentração, em minutos.	Apud Tomaz (2002)
Intensidade de chuva (i)	$i = 1747,9 * \frac{P R^{0,181}}{tc + (15^{0,89})}$	i = intensidade de chuva crítica em mm/h; TR = Período de Retorno (anos); tc = Tempo de concentração, em minutos.	Tucci 2001
Diâmetro da galeria (D)	$D^{\frac{8}{3}} = \frac{Qg * n}{1 * 0,397 * (S^{0,5})}$	D = Diâmetro da galeria em metros; n = Coeficiente de Manning, adotando-se 0,013; Qg = vazão de galeria (m/s) S = Declividade longitudinal.	Tucci 2001
Método racional (Q)	$Q = C * i * A$	Q = Vazão de pico em m ³ /s; C = Coeficiente de Run off; i = intensidade de chuva crítica em mm/min; A = Área contribuinte em ha.	Tomaz (2002)
Velocidade (v)	$Q = V * A$	Q = Vazão de pico em m ³ /s; V = velocidade da água (m/s) A = Área contribuinte em m ²	Tucci 2001
Altura de água livre na sarjeta (y)	$y^{\frac{8}{3}} = \frac{Qs * n}{0,376 * z * (y^{\frac{8}{3}}) * (S^{0,5})}$	y = Altura de água livre na sarjeta; z = Inverso da declividade transversal na seção; Qs = vazão de sarjeta (m/s) n = Coeficiente de maning; S = Declividade longitudinal.	Tucci 2001
Vazão de eng. bocas de lobo (Qeng)	$Qeng = 1,60 * L * (y^{1,5})$	Qeng = vazão de engolimento (m); L = Comprimento da soleira (m); y = altura da lâmina de água (m ³ /s)	Tucci 2001
Número de bocas de lobo (Nbl)	$Nbl = \frac{Q}{Qeng}$	Nbl = número de bocas de lobo Q = Vazão (m/s); Qeng = vazão de engolimento (m);	Tucci 2001

Fonte: Autoria própria, 2022.

Desse modo, foi realizado um orçamento a partir da definição do levantamento quantitativo dos componentes de drenagem para cada estudo e da apropriação dos índices da SEINFRA (que foi o sistema de referência de preços adotado) para a elaboração da planilha orçamentária, conforme apêndice A.

Para identificar os impactos relacionados ao projeto de sistema de micro e macrodrenagem pluvial, foi utilizada a Matriz de Leopold, proposta para os trechos da comunidade em questão, localizados no bairro Bom Jardim. A Matriz de Leopold e os critérios para o preenchimento da mesma, foram baseados em um estudo de impactos ambientais relacionados ao sistema de drenagem pluvial (SILVA; TASSI, 2018). Foram analisadas as etapas principais dos processos relacionados a implantação do projeto proposto, feito isto, a



matriz foi preenchida e analisada por especialistas de quatro áreas distintas, sendo elas: geógrafo, químico, engenheiro sanitário e um engenheiro civil.

Os fatores bióticos, sociais e ambientais foram postos em confronto com o desenvolvimento dos processos em suas diferentes fases de implantação do sistema de drenagem para o trecho estudado, sendo indicada a relevância do impacto em células que relacionam os processos de implantação e operação com fatores ambientais, classificando impactos de caráter positivo ou negativo (+ ou -), classificando a relevância do impacto em: 1, 5 ou 10, os quais representam baixa, média e alta relevância, respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No local de estudo, foi observada uma infraestrutura inadequada somada a diversos problemas sociais e ambientais, o que afeta diretamente o sistema de micro e macrodrenagem local. Conforme apresentado, há, no local, o descarte inadequado de lixo, a ocupação inadequada às margens do sistema de macrodrenagem e a obstrução dos componentes do sistema de drenagem, conforme as Figuras 3, 4, 5 e 6 respectivamente.

Figura 3 – Descarte inadequado de lixo



Fonte: Autoria própria 2021.



Figura 4 – Ocupação inadequada às margens do sistema de macrodrenagem



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 5 – Obstrução dos componentes do sistema de drenagem



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 6 – Obstrução dos componentes do sistema de drenagem

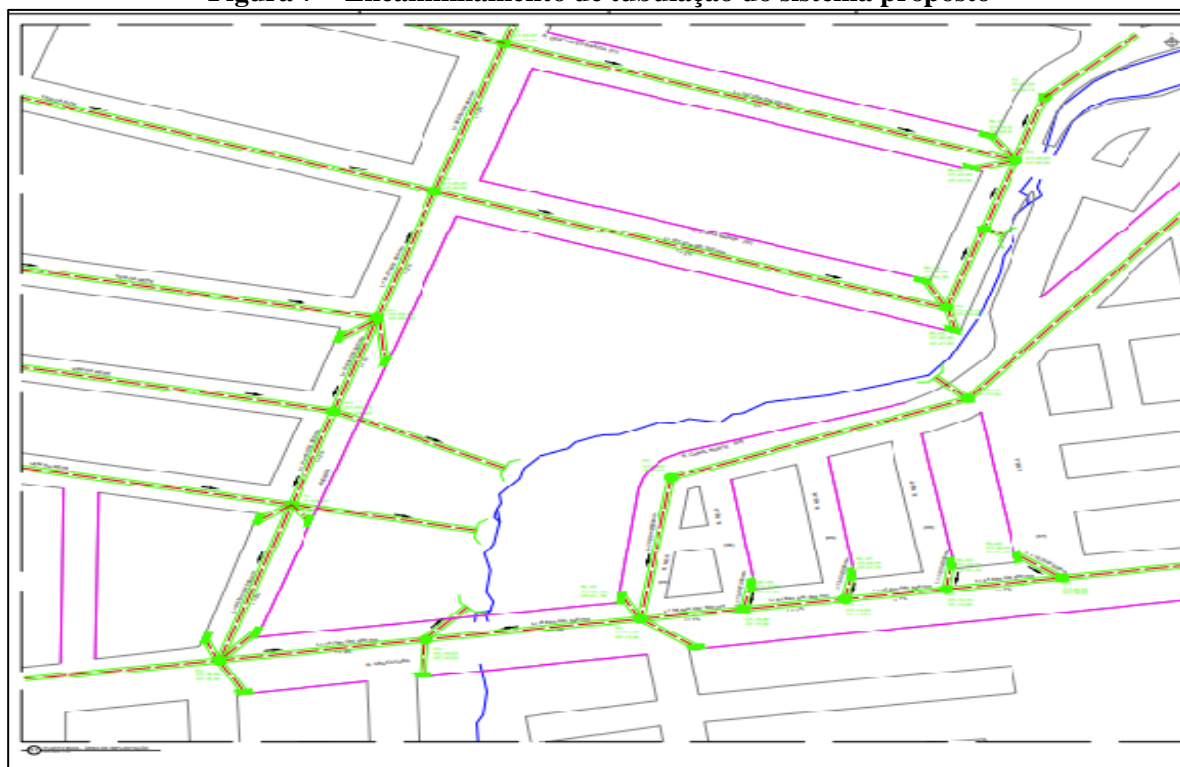


Fonte: Autoria própria, 2022.

3.1 Configuração do Sistema Proposto

A configuração da rede de drenagem proposta para a área em estudo foi realizada respeitando a topografia da região. O estudo do traçado dos afluentes pluviais foi elaborado de modo a se utilizar dos greides já existentes. Assim, é observada na Figura 7 a configuração adotada com a disposição do sistema inicial de captação pluvial (sarjetas e bocas de lobo) e o encaminhamento do sistema de macrodrenagem (galerias) até o canal existente.

Figura 7 – Encaminhamento de tubulação do sistema proposto



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2 Comparação dos sistemas

A vazão máxima solicitante após a implantação do sistema, levando em conta os períodos de retorno de 5, 10 e 15 anos, foi de aproximadamente 604,1 L/s, 684,9 L/s e 737 L/s respectivamente, conforme mostrado na tabela 03. Tendo em vista os resultados obtidos, esses valores constituem os impactos de vazão destinados ao canal existente no local.

Para as sarjetas, foi definido que a altura máxima do meio fio seria de 15 cm, diante disso as sarjetas foram projetadas para que a lâmina de água livre não ultrapasse esta altura. Logo, apresentamos os resultados para os diferentes períodos de retorno, conforme tabela 01.



Comparando as tabelas 1, 2 e 3 notam-se que para os diferentes períodos de retorno é possível fazer com que a lâmina de água livre correndo na sarjeta não transborde pelo meio fio com altura de 15 cm, porém para isto, em todos os casos foi necessário alteração na declividade transversal da sarjeta, para melhor direcionamento dos afluentes pelo trecho.

Com as vazões que seriam solicitadas pelas sarjetas em posse, também foi comparado o número de bocas de lobo necessárias a cada trecho para os diferentes períodos de retorno, para isso foi definido que as BLs (bocas de lobo) teriam um comprimento de soleira de 1 m (metro), então obtivemos os seguintes resultados apresentados na tabela 2.

Nas tabelas 1, 2 e 3, é possível observar que não houve grandes variações para o número de BLs em cada trecho. Apenas para o sistema com período de retorno de 15 anos que houve um acréscimo de 1 boca de lobo (BL) para o trecho 06. É possível verificar também que a vazão de engolimento de cada BL é alterada, isso ocorre em função da diferença da altura da lâmina de água em cada trecho, fazendo com que cada boca de lobo tenha uma vazão de engolimento diferente.

Conforme a disposição das bocas de lobo, foram inseridas também as galerias, formando o traçado da rede, sendo realizada uma comparação nos diâmetros necessários para as galerias de cada sistema. As Tabelas 1, 2 e 3, a seguir, também comparam as velocidades dos afluentes em cada trecho e as intensidades de chuva.

Tabela 1 – Altura da sarjeta projetada para período de 5,10 e 15 anos.

ALTURA DA SARJETA PROJETADA (5 anos)						
TRECHO	Q (m ³ /s)	z (1/decl. Transv.)	c (Coeficiente de maning)	S (Declividade longitudinal)	y (Altura de água livre)	altura de sarjeta adotada (m)
1	0,132	14,29	0,013	0,005	0,13	0,15
2	0,148	10	0,013	0,010	0,14	0,15
3	0,054	33,33	0,013	0,006	0,14	0,15
4	0,017	100	0,013	0,000	0,07	0,15
5	0,016	100	0,013	0,000	0,06	0,15
6	0,033	33,33	0,013	0,010	0,12	0,15
7	0,043	100	0,013	0,000	0,08	0,15
8	0,162	12,5	0,013	0,005	0,14	0,15

ALTURA DA SARJETA PROJETADA (10 anos)						
TRECHO	Q (m ³ /s)	z (1/decl. Transv.)	c (Coeficiente de maning)	S (Declividade longitudinal)	y (Altura de água livre)	altura de sarjeta adotada (m)
1	0,150	14,29	0,013	0,005	0,14	0,15
2	0,167	10	0,013	0,010	0,14	0,15
3	0,062	33,33	0,013	0,006	0,14	0,15
4	0,019	100	0,013	0,000	0,07	0,15
5	0,018	100	0,013	0,000	0,06	0,15
6	0,037	33,33	0,013	0,010	0,13	0,15
7	0,049	100	0,013	0,000	0,09	0,15
8	0,183	12,5	0,013	0,005	0,14	0,15

ALTURA DA SARJETA PROJETADA (15 anos)						
TRECHO	Q (m ³ /s)	z (1/decl. Transv.)	c (Coeficiente de maning)	S (Declividade longitudinal)	y (Altura de água livre)	altura de sarjeta adotada (m)
1	0,161	14,29	0,013	0,005	0,14	0,15
2	0,180	8,33	0,013	0,010	0,14	0,15
3	0,066	28,57	0,013	0,006	0,14	0,15
4	0,021	100	0,013	0,000	0,08	0,15
5	0,020	100	0,013	0,000	0,06	0,15
6	0,040	33,33	0,013	0,010	0,13	0,15
7	0,053	100	0,013	0,000	0,09	0,15
8	0,197	12,5	0,013	0,005	0,15	0,15

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Tabela 2 – Número de bocas de lobos (BL's) para o período de 5,10 e 15 anos.

Nº de bocas de lobo por rua no período de 5 anos					Nº de bocas de lobo por rua no período de 10 anos					Nº de bocas de lobo por rua no período de 15 anos				
TRECHO	L (m)	y (m)	Qeng	Nbl	TRECHO	L (m)	y (m)	Qeng	Nbl	TRECHO	L (m)	y (m)	Qeng	Nbl
1	1,00	0,13	0,08	2	1	1,00	0,14	0,08	2	1	1,00	0,14	0,09	2
2	1,00	0,14	0,08	2	2	1,00	0,14	0,09	2	2	1,00	0,14	0,08	2
3	1,00	0,14	0,08	1	3	1,00	0,14	0,09	1	3	1,00	0,14	0,08	1
4	1,00	0,07	0,03	1	4	1,00	0,07	0,03	1	4	1,00	0,08	0,03	1
5	1,00	0,06	0,02	1	5	1,00	0,06	0,03	1	5	1,00	0,06	0,03	1
6	1,00	0,12	0,07	0	6	1,00	0,13	0,07	0	6	1,00	0,13	0,08	1
7	1,00	0,08	0,04	1	7	1,00	0,09	0,04	1	7	1,00	0,09	0,04	1
8	1,00	0,14	0,08	2	8	1,00	0,14	0,09	2	8	1,00	0,15	0,09	2

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Tabela 3 – Dimensionamento das galerias para o período de 5,10 e 15 anos.

GALERIAS - PERÍODO DE RETORNO DE 5 ANOS													
TRECHO	COTA DE TERRENO		L (m)	S (%)	ÁREA (ha)		tc (min)	TR (anos)	i (mm/min)	C (Runoff)	D (m)	V (m/s)	Q (m³/s)
	(montante)	(jusante)			(trecho)	(acumulada)							
1	23,00	22,00	212,00	0,47	0,43	0,43	9,24	5	2,28	0,8	0,2	4,60	0,132
2	25,00	23,00	201,00	1,00	0,44	0,87	6,65	5	2,52	0,8	0,2	3,78	0,148
3	23,00	22,50	81,67	0,61	0,14	1,02	4,01	5	2,84	0,8	0,2	2,15	0,054
4	23,00	22,98	91,40	0,02	0,07	1,08	15,77	5	1,85	0,8	0,1	3,13	0,017
5	23,00	22,99	98,10	0,01	0,08	1,16	22,34	5	1,55	0,8	0,1	3,98	0,016
6	23,00	22,00	98,30	1,02	0,09	1,25	3,80	5	2,86	0,8	0,2	1,21	0,033
7	22,00	21,99	116,00	0,01	0,23	1,48	27,11	5	1,40	0,8	0,1	8,91	0,043
8	25,00	23,00	385,00	0,52	0,62	2,10	14,09	5	1,94	0,8	0,2	5,17	0,162

GALERIAS - PERÍODO DE RETORNO 10 ANOS

TRECHO	COTA DE TERRENO		L (m)	S (%)	ÁREA (ha)		tc (min)	TR (anos)	i (mm/min)	C (Runoff)	D (m)	V (m/s)	Q (m³/s)
	(montante)	(jusante)			(trecho)	(acumulada)							
1	23,00	22,00	212,00	0,47	0,43	0,43	9,24	10	2,59	0,8	0,2	5,06	0,150
2	25,00	23,00	201,00	1,00	0,44	0,87	6,65	10	2,86	0,8	0,2	4,15	0,167
3	23,00	22,50	81,67	0,61	0,14	1,02	4,01	10	3,21	0,8	0,2	2,36	0,062
4	23,00	22,98	91,40	0,02	0,07	1,08	15,77	10	2,09	0,8	0,1	3,44	0,019
5	23,00	22,99	98,10	0,01	0,08	1,16	22,34	10	1,76	0,8	0,1	4,38	0,018
6	23,00	22,00	98,30	1,02	0,09	1,25	3,80	10	3,25	0,8	0,2	1,33	0,037
7	22,00	21,99	116,00	0,01	0,23	1,48	27,11	10	1,58	0,8	0,1	9,79	0,049
8	25,00	23,00	385,00	0,52	0,62	2,10	14,09	10	2,20	0,8	0,2	5,68	0,183

GALERIAS - PERÍODO DE RETORNO DE 15 ANOS

TRECHO	COTA DE TERRENO		L (m)	S (%)	ÁREA (ha)		tc (min)	TR (anos)	i (mm/min)	C (Runoff)	D (m)	V (m/s)	Q (m³/s)
	(montante)	(jusante)			(trecho)	(acumulada)							
1	23,00	22,00	212,00	0,47	0,43	0,43	9,24	15	2,79	0,8	0,2	5,34	0,161
2	25,00	23,00	201,00	1,00	0,44	0,87	6,65	15	3,08	0,8	0,2	4,39	0,180
3	23,00	22,50	81,67	0,61	0,14	1,02	4,01	15	3,46	0,8	0,2	2,49	0,066
4	23,00	22,98	91,40	0,02	0,07	1,08	15,77	15	2,25	0,8	0,1	3,63	0,021
5	23,00	22,99	98,10	0,01	0,08	1,16	22,34	15	1,90	0,8	0,1	4,62	0,020
6	23,00	22,00	98,30	1,02	0,09	1,25	3,80	15	3,49	0,8	0,2	1,40	0,040
7	22,00	21,99	116,00	0,01	0,23	1,48	27,11	15	1,70	0,8	0,1	10,35	0,053
8	25,00	23,00	385,00	0,52	0,62	2,10	14,09	15	2,37	0,8	0,2	6,00	0,197

Fonte: Autoria própria, 2022.



Revista Engenharia & Ação

Conforme apresentado nas Tabelas 1, 2 e 3, observa-se que não ocorreram variações nos diâmetros dos trechos ao se comparar diferentes períodos de retorno. No entanto, é possível identificar que houve variações na velocidade dos afluentes em cada trecho, tendo como resultado os períodos de retorno de 10 e 15 anos as maiores velocidades. Pôde-se verificar também que houve mudanças significativas nos diâmetros dos trechos em um mesmo período de retorno. Os diâmetros adotados no projeto foram de 500 mm e 300 mm, devido ao fato de ser ideal, para o sistema, que os afluentes pluviais não ocupem mais de 40% da área da seção transversal da tubulação.

Com o objetivo de elencar os custos relacionados aos componentes necessários para o sistema, levando em conta cada valor de período de retorno, foi utilizada a relação de preços onerados da SEINFRA – Secretaria da Infraestrutura. É possível notar que o sistema, dentre os períodos de retorno mencionados, mostrou-se basicamente o mesmo, conforme destacado nas tabelas 1, 2 e 3. Cumpre destacar que é apresentado o orçamento para implantação do sistema de drenagem proposto para a área em estudo no apêndice A. Ademais, tendo em vista que não houve grandes variações nos componentes de drenagem necessários em cada dimensionamento, os custos previstos para a implantação do projeto são relativamente os mesmo para cada caso, totalizando 530.607,85 reais.

É importante destacar que outros trabalhos também têm sido realizados com o objetivo de adequações estruturais no meio urbano. Guabiraba (2019), após um diagnóstico de um residencial em Arapiraca – AL, redimensionou as estruturas de micro e macrodrenagem. A comparação revelou que o uso de sarjetões mostra-se um bom aliado para projetos mais econômicos e eficientes, e que os dimensionamentos de bacias de retenção são uma alternativa, pois proporciona uma amenização no impacto da impermeabilização, decorrente da ocupação da área, podendo ser utilizada também como instrumento de interação da população com o meio urbano.

Outros artigos também foram realizados visando à implantação de um novo sistema de drenagem urbana. Sobre isso, Rezende (2018), ao analisar um condomínio privado, dimensionou os elementos de micro e macrodrenagem para uma área de 0,132 km². Para isso, ela comparou o sistema de drenagem normal e o método compensatório, o qual, por sua vez, utiliza microrreservatórios para armazenar a vazão inicial de afluentes captados pelo sistema

de drenagem do loteamento, com o objetivo de retardar a ida diretamente para o sistema público de drenagem, diminuindo a demanda solicitada em período de pico pela rede pública. Com um período de retorno de 10 anos, o método compensatório mostra boa eficiência e uma diminuição dos custos para implantação do sistema em relação ao sistema normal, devido à diminuição dos diâmetros necessários para a rede, uma vez que boa parte das águas iniciais de chuva estariam estocadas nos microrreservatórios, para só depois serem jogados na rede, diminuindo, assim, a vazão de pico. Conforme apontado, os gastos com a implantação de um sistema de drenagem convencional para a área foram de R\$ 692.139,10 e para o sistema com método compensatório foi de R\$ 540.099,69, essa diminuição representa cerca de 22% dos custos totais. Em comparação com este estudo, nosso sistema se mostrou econômico, tendo em vista que os custos levantados foram parecidos com os do sistema de drenagem que utiliza microrreservatórios, sendo, aproximadamente, 2% mais barato em relação ao sistema citado.

Para quantificar os impactos positivos e negativos, foi utilizado o modelo adaptado da Matriz de Leopold, comparando os processos envolvidos na instalação do sistema (supressão da vegetação, estruturas subterrâneas, escavação, ruído e vibração, disposição de resíduos e transporte de materiais), bem como na operação (canalização da água, urbanização, alteração da drenagem, modificação da vazão do rio e modificação do fluxo da água).

A partir do preenchimento da matriz que foi adaptada para o sistema de drenagem pluvial, realizado pelos 4 especialistas, foram obtidos valores discrepantes na soma dos resultados de cada matriz. Levando em consideração os diferentes pontos de vista dos especialistas, observa-se, na soma final de cada preenchimento por responsável, que os impactos ambientais positivos superam os negativos, conforme pode ser verificado na tabela 05. A “supressão da vegetação” que é um dos pontos de análise da matriz obteve visões divergentes entre o especialista da área química e o da área sanitarista, pois o primeiro analisou como positivo e outro como negativo o mesmo processo, fazendo com que os resultados das análises obtivessem bastante divergência entre ambos.



Tabela 4: Soma dos resultados de cruzamento da matriz por especialista

Especialista	Resultados da matriz
Química	946
Geografia	755
Eng. Sanitarista	-105
Eng. Civil	367
Média	490,75

Fonte: Autoria própria, 2022.

Foi feita uma média aritmética dos valores obtidos em cada célula das matrizes preenchidas pelos especialistas na matriz resultante que foi elaborada conforme a figura 7. Para identificar os impactos positivos, foram utilizadas cores diferentes. Assim, para valores com média resultante maior ou igual a 5, foi utilizada a cor verde; e para impactos negativos com média menor ou igual a -5, foi utilizada a cor vermelha.

Figura 8: Matriz resultante

Fatores ambientais Processos		Estudo de impacto de um sistema de drenagem pluvial da área em questão																	
		Meio físico									Meio biótico		Meio social						
		Topografia	Erosão	Deposição	Assoreamento	Qualidade do solo	Estabilidade	Qualidade da água	Infiltração	Vazão de escoamento superficial	Recarga subterrânea	Vazão do curso d'água	Flora	Fauna	Riscos de inundação	Saúde e bem estar	Emprego	Estrutura	Valor patrimonial
Implantação	Supressão da vegetação	4	0	-2	0	2	-1	2	2	6	-1	5	1	1	0	-1	-1	-2	-2
	Ruído e vibração	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	-1	1	1
	Escavação	2	-1	2	1	2	3	2	1	5	3	4	3	2	3	4	3	4	4
	Estruturas subterrâneas	2	3	4	4	4	3	3	4	6	4	5	2	2	7	6	3	3	3
	Transporte de materiais	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	-1	-1	-1	3	3	1
	Disposição dos resíduos	1	1	-1	0	-1	1	-2	-1	-1	-2	-1	2	2	-0	-1	2	2	0
Operação	Urbanização	3	2	1	2	3	4	2	3	5	3	4	4	4	7	7	7	8	7
	Canalização	2	3	4	4	4	3	2	3	3	3	4	2	2	8	6	3	4	3
	Alteração de drenagem	4	3	4	4	4	3	3	3	4	3	4	3	3	6	6	3	4	3
	Modificação do fluxo da água	5	4	5	5	3	4	1	0	5	1	5	3	3	5	6	3	4	3
	Modificação da vazão da água	4	4	5	5	4	4	1	0	5	1	5	3	3	5	6	3	4	3

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com base na matriz resultante, na fase de implantação do sistema proposto, a grande maioria dos processos obteve impactos positivos como resultados, tendo como maior destaque as “estruturas subterrâneas”; por sua vez, o processo com impacto negativo se deu na “disposição dos resíduos”. Analisando a fase de operação do sistema, pôde-se concluir que os processos resultaram em impactos positivos, tendo como destaque o da “urbanização”, já o processo com menor impacto positivo foi o da “canalização”. Sendo assim, a matriz nos permite compreender que, na fase de implantação, há uma diminuição do impacto positivo ao se comparar com a fase de operação.

Na fase de implantação, relacionando os fatores ambientais, no meio físico, a “vazão de escoamento superficial” e a “vazão do curso d’água” obtiveram mais impactos positivos em relação a “supressão da vegetação” e das “estruturas subterrâneas”. Já na fase de operação, destacam-se a “topografia”, a “deposição” e o “assoreamento” em relação a “modificação do fluxo de água” e “modificação da vazão de água” como impactos positivos. O processo “disposição dos resíduos” obteve impactos negativos em quase todos os fatores do meio físico, já na fase de operação, a infiltração do meio referente às fases de modificação de fluxo de água e modificação da vazão da água não apresentaram resultado nem positivo nem negativo.

O meio biótico da Matriz de Leopold tem como grande impacto positivo a “fauna” e a “flora” na fase de “urbanização” no processo de operação, em contrapartida, no processo de implantação, a “fauna” apresenta pontos negativos na fase de “transportes de matérias”.

O estudo realizado por Silva e Tassi (2018), referente à análise de impacto ambiental, mostrou que a implantação de um sistema de drenagem pluvial gera impactos a jusante, pois toda a água que não pode infiltrar é direcionada rapidamente para um corpo receptor, aumentando sua vazão. Nessa esteira, é visível a grande importância de uma medida de controle para que essa vazão não sobrecarregue o rio.

O meio social da matriz resultante destaca positivamente a “estrutura” e o “risco de inundação” na fase do processo de operação e nas fases de “urbanização” e “canalização”, respectivamente. Além disso, apresenta pontos negativos do processo de implantação na fase de “supressão de vegetação” em relação à estrutura e ao valor patrimonial.

Comparando esses dados ao estudo de Silva *et al.* (2019), a partir da análise da Matriz de Leopold, preenchida pelos especialistas, verificou-se que a “supressão da vegetação” e a “escavação” foram os processos que mais obtiveram impactos negativos na fase de implantação do sistema. Já na fase de operação, o fator “modificação da vazão do rio” teve destaque, pois há um aumento da área impermeável de acordo com o aumento da urbanização, e o sistema de

drenagem pluvial proporciona o aumento da vazão, pois este direciona rapidamente a água que não pode infiltrar para um corpo receptor.

Portanto foi observado, na matriz resultante, que, com o aumento da urbanização, a modificação do fluxo da água e o aumento da vazão que o sistema de drenagem proposto proporcionará, há também o aumento da área impermeável, fazendo com que haja o escoamento para o corpo receptor. Isso impactará positivamente no meio social, evitando acúmulo de água em locais indesejados, diminuindo o risco de inundação, sendo, assim, um impacto positivo para a saúde e o bem-estar dos moradores do trecho em estudo.

4 CONCLUSÕES

O grande objetivo dos dispositivos no sistema de drenagem é amortecer o escoamento até o destino dos efluentes. Dessa forma, faz-se necessária uma comparação do sistema existente com o novo sistema proposto, além de uma comparação dos parâmetros necessários para a escolha do melhor sistema de drenagem, relacionando a funcionalidade, os custos e os impactos ambientais.

Os resultados obtidos para o redimensionamento do sistema de drenagem da comunidade em estudo confirmam a necessidade da reformulação do sistema em alguns pontos. Comparando o dimensionamento, tendo em vista períodos de retorno iguais a 5, 10 e 15 anos, faz-se necessário o uso de sarjetas projetadas e de bocas de lobo para as ruas em estudo. Os diâmetros das galerias variam entre 300 e 500 mm para as vazões de 604,1 m³/s, 684,9 m³/s e 737,0 m³/s. O parâmetro escolhido para o cálculo foi o período de retorno de 15 anos, pois se identificou que o sistema proposto supriria a vazão solicitada, mantendo a mesma quantidade de componentes no sistema e não aumentando os custos necessários.

A partir da análise dos resultados obtidos pela Matriz de Leopold, verificou-se que há mais impactos ambientais positivos do que negativos, permitindo-nos compreender que há um maior impacto positivo no “meio social” na fase de operação, tendo em vista a diminuição dos riscos de inundação devido à modificação no fluxo da água que é direcionada para as canalizações, sendo, assim, levada para o corpo receptor.



REFERÊNCIAS

ASCE. **Design and Construction of sanitary and storm sewers**. New York: Manuals and Reports of Engineering Practice, 1969.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **ABNT NBR 10844 – Instalações Prediais de Águas Pluviais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989. Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2013/06/nbr-10844-1989-instalac3a7c3b5es-prediais-de-c3a1guas-pluviais.pdf>. Acesso em: 18 maio 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 20 maio 2022.

BROERING, S. *et al.* Interface entre as águas pluviais e o esgotamento sanitário. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS*, 11., 2017, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: ENAU, 2017.

CHEN, W. *et al.* The capacity of grey infrastructure in urban flood management: A comprehensive analysis of grey infrastructure and the green-grey approach. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [S. l.], v. 54, p.102045, jan. 2021.

DUTRA, M.; VIEIRA, C. Implantação de medidas de drenagem urbana com controle na fonte : um estudo de caso em uma sub-bacia de feira de Santana-Ba. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS*, 13., 2020, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRS, 2020.

FORTALEZA EM MAPAS. **Mapas georreferenciados**. Fortaleza: Fortaleza em mapas, 2019. Disponível em: <https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/#/>. Acesso em: 14 abr. 2022.

FUNCEME. **Média de precipitação de chuva na cidade de Fortaleza-CE**. [S. l.]: FUNCEME, 2022. Disponível em: <http://www.funceme.br/app-calendario/ano/municipios/maxima/2021>. Acesso em: 20 maio 2022.

GUABIRABA, D. **Sistema de drenagem urbana**: estudo de caso em um residencial de interesse social em Arapiraca - AL. 2019. 94f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2019.

GUIMARÃES, L. F. *et al.* The challenges of urban river restoration and the proposition of a framework towards river restoration goals. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 316, p. 128330, ago. 2020, 2021.

IBGE. **Renda per capita**. [S. l.]: IBGE, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 maio 2022.

KOURTIS, I. M.; TSIHRINTZIS, V. A. Adaptation of urban drainage networks to climate change: A review. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 771, p. 145431, 2021.

REZENDE, R. **Dimensionamento do sistema de drenagem tradicional e sistema com utilização de microrreservatórios**: estudo de caso no município de Itabirito-MG. 2018. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

ROSA, M. Educação ambiental e suas implicações na drenagem urbana nas áreas de vulnerabilidade e riscos de inundação na Bacia Hidrográfica do Riacho Pajeú / Fortaleza – CE. 2018. 52f. monografia (Especialização em Gerenciamento de Projetos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2018.

SILVA, A. *et al.* Avaliação de impacto ambiental e proposta de mitigação com emprego de técnicas de liderança. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu: SBRH, 2019.

SILVA, A.; TASSI, R. **Estudo de impacto ambiental de um sistema de drenagem pluvial**. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 6., 2018, Bento Gonçalves. **Anais** [...]. Bento Gonçalves: GITMA, 2018. Disponível em: https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=292&ano=_sexto. Acesso em: 20 maio 2022.

UNICEF. 2,1 Bilhões de pessoas não têm acesso a água potável em casa, e mais do dobro de pessoas não tem acesso a saneamento seguro. [S. l.]: Unicef, 2017. Disponível em: <https://www.unicef.org/angola/comunicados-de-imprensa/21-bilh%C3%B5es-de-pessoas-n%C3%A3o-t%C3%A3o-t%C3%A3o-aceso-%C3%A1-gua-pot%C3%A1vel-em-casa-e-mais-do-dobro>. Acesso em: 20 maio 2022.