



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 11, nº 2 (2025)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2025v11n2ID39024>



Riscos de acidentes causados pela infraestrutura de drenagem urbana em cidades brasileiras

Risks of accidents caused by urban drainage infrastructure in Brazilian cities

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral¹; Amanda Almeida de Oliveira Figueiredo²; Felipe Mendes da Cruz³; Simone Rosa da Silva⁴

- ¹ Professor Associado do Depto. de Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE, Brasil. Email: jaime.cabral@poli.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1348-8004>
- ² Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE, Brasil. Email: amanda.almeida93@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3033-6763>
- ³ Professor Associado do Depto. de Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE, Brasil. Email: felipemendeslsht@poli.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0163-465X>
- ⁴ Professora Associada do Depto. de Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco (UPE), Recife/PE, Brasil. Email: simonerosa@poli.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7138-7546>

Resumo: Este estudo analisa a vulnerabilidade do sistema de microdrenagem de águas pluviais no ambiente urbano e o risco de acidentes durante sua operação. Através do levantamento de ocorrências noticiadas em órgãos de comunicação pública, identificou-se diversas tipologias de acidentes, sendo subdivididas em ocorrências em dias de chuvas intensas e em tempo seco. Os dados coletados de 2010 a 2018 indicam um total de 33 acidentes em 26 cidades brasileiras, resultando em danos materiais, 21 feridos e 12 fatalidades. Conclui-se que as deficiências na execução e manutenção do sistema de microdrenagem representam sérios riscos de acidentes. É insuficiente apenas a construção do sistema de drenagem para garantir sua eficiência; o organograma municipal deve incluir operação e manutenção, com a alocação de recursos, equipe técnica e condições organizacionais para manutenção preventiva e corretiva e prevenção de acidentes.

Palavras-chave: Microdrenagem de águas pluviais; Risco de acidentes urbanos; Infraestrutura urbana.

Abstract: This study examines the vulnerability of the stormwater microdrainage system in urban environments and the risk of accidents during its maintenance and operation. Through the survey of incidents reported in public communication bodies, various types of accidents were identified, subdivided into occurrences on days of intense rain and in dry weather. The data collected from 2010 to 2018 indicate a total of 33 accidents in 26 Brazilian cities, resulting in material damages, 21 injuries, and 12 fatalities. It is concluded that deficiencies in the execution and maintenance of the microdrainage system pose serious accident risks. Merely constructing the drainage system is insufficient to guarantee its efficiency; the municipal organization chart must include operation and maintenance, with the allocation of resources, technical team, and organizational conditions for preventive and corrective maintenance and accident prevention.

Keywords: Stormwater microdrainage; Risk of urban accidents; Urban infrastructure.

Recebido: 02/02/2025; Aceito: 23/06/2025; Publicado: 18/07/2025.

1. Introdução

A infraestrutura urbana desempenha um papel fundamental na qualidade de vida, e sua manutenção adequada é essencial para garantir o bem-estar da população em cidades brasileiras. A drenagem das águas pluviais é um aspecto essencial da infraestrutura principalmente em cidades tropicais úmidas. No entanto, problemas relacionados à drenagem, como poços de visitas e bueiros abertos, podem expor os transeuntes e usuários da via pública a riscos significativos.

A manutenção adequada dos sistemas de drenagem, incluindo poços de visitas e bueiros, é fundamental para a qualidade de vida da população (TASSI *et al.*, 2016). Poços de visitas e bueiros abertos podem causar acidentes graves e fatais para pedestres e motoristas, especialmente em períodos de chuvas intensas.

Para melhor clareza do texto, alguns conceitos serão lembrados aqui. O sistema de águas pluviais nas cidades pode ser subdividido em microdrenagem (sarjeta, boca de lobo, galeria e poços de visita) e macrodrenagem (canais, rios e riachos). Sarjeta é a calha nos lados das vias públicas que recebe as águas de chuva do pavimento e da calçada. Bocas de lobo são as aberturas que recebem as águas das sarjetas e as direciona para as galerias, podendo ser do tipo grelha horizontal ou abertura vertical no meio fio, que em algumas cidades é chamada de ralo de guia. Os poços de visita (PV) são caixas enterradas que se conectam com as bocas de lobo e servem para inspeção e limpeza das galerias.

A rigor, bueiros são tubos transversais colocados abaixo do pavimento para o escoamento de pequenos riachos ao cruzar as vias públicas. No entanto, os meios de comunicação e a população geralmente chamam de tampa de bueiro a tampa redonda de metal ou concreto que se vê em geral no meio da rua ou nas calçadas. Na linguagem técnica de engenharia de drenagem de águas pluviais, os referidos dispositivos são tampas de poços de visita. No entanto, no presente texto, a expressão tampa de bueiro será usada, quando a mesma foi utilizada na referência bibliográfica utilizada.

O objetivo deste artigo é analisar e discutir os riscos de acidentes no sistema de drenagem urbana em cidades brasileiras durante sua operação, abordando os impactos sobre transeuntes e demais usuários da via pública no cotidiano urbano.

2. Metodologia

Este estudo adota uma abordagem descritiva e exploratória, com base em análise documental e estudo de casos, para investigar os riscos de acidentes associados aos elementos de microdrenagem urbana em cidades brasileiras. O foco recai sobre dispositivos como poços de visita (PVs), bocas de lobo e sarjetas. A seguir, detalham-se os procedimentos adotados, permitindo a replicação da metodologia em outros contextos urbanos:

2.1 Levantamento de dados empíricos

Foi realizado um levantamento sistemático de registros de acidentes envolvendo elementos do sistema de microdrenagem no período de 2010 a 2018. As fontes de informação utilizadas foram:

Plataformas de notícias online, incluindo portais de grande circulação como G1, UOL, Globo.com, entre outros.

Relatórios técnicos de domínio público de prefeituras e órgãos de infraestrutura urbana.

Registros fotográficos e vídeos de acidentes, disponibilizados por meio de reportagens e mídias digitais.

Os termos de busca incluíram combinações como: “acidente bueiro aberto”, “queda em poço de visita”, “acidente boca de lobo”, entre outros, com filtros aplicados por localidade e ano.

2.2 Seleção e categorização dos eventos

Foram identificados inicialmente 56 registros de eventos. Após triagem por duplicidade e inconsistência de dados, permaneceram 33 registros válidos. Estes foram classificados conforme:

- Condições climáticas no momento do acidente: tempo seco ou chuva intensa.
- Natureza do acidente: queda de pedestre, acidente de motociclista/ciclista, afogamento, sucção, etc.
- Local do evento: faixa de rolamento, calçada, cruzamento, etc.
- Consequência: ferimentos leves, graves, morte ou dano material.

2.3 Estruturação da base de dados

Todos os dados foram organizados em uma planilha do Microsoft Excel 365, com colunas para data, local, tipo de dispositivo envolvido, condição climática, causa aparente do acidente, desfecho e fonte da informação.

2.4 Referencial técnico e normativo

A análise técnica foi fundamentada em normas e literatura especializada em drenagem urbana, tais como:

- Publicações técnicas como Canholi (2014), Miguez *et al.* (2015), Baptista *et al.* (2011);
- Normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho (NR-15) e legislação federal (Lei nº 14.026/2020).

2.5 Análise qualitativa e quantitativa

A avaliação dos riscos foi realizada com base em uma abordagem qualitativa descritiva, utilizando tipologias de acidentes relacionadas à microdrenagem urbana, conforme discutido por Miguez *et al.* (2015) e Canholi (2014), que categorizam os riscos de acordo com sua origem (como falhas de projeto, manutenção e uso). Paralelamente, aplicou-se uma análise quantitativa descritiva, com inspiração metodológica em estudos como os de Uddin *et al.* (2013) e Butler *et al.* (2018), que defendem o uso de métricas empíricas para avaliação de desempenho e riscos em infraestruturas urbanas.

As principais métricas consideradas foram:

- Frequência de acidentes por tipo de dispositivo de drenagem (Melo *et al.*, 2016);
- Distribuição geográfica e temporal das ocorrências (Miguez *et al.*, 2016);
- Gravidade das consequências (ferimentos, óbitos, danos materiais) com base em categorização semelhante à usada por Ghandour *et al.* (2020) em análise de acidentes com veículos;
- Identificação dos fatores contribuintes, como ausência de manutenção, falhas estruturais ou obstruções, conforme abordagens propostas por Hoang & Fenner (2016) e Papadimitriou *et al.* (2019) em avaliação de riscos associados à infraestrutura urbana.

3. Resultados e discussão

3.1 Identificação dos riscos

Existem três categorias principais de acidentes associados ao sistema de drenagem (Tabela 1): acidentes de trabalho durante a construção, acidentes de trabalho durante a manutenção e acidentes envolvendo pessoas ou veículos (como bicicletas, motos e carros). Esses últimos são frequentemente causados por dimensionamento inadequado, desgaste, quebra ou mau posicionamento dos elementos de drenagem.

Tabela 1– Riscos para pedestres, ciclistas, motociclistas e automóveis em tempo seco e em dias de chuvas.

Riscos no Sistema de Microdrenagem Urbana		
Dias de Chuvas intensas		
Causa	Consequência	Risco
- Chuva Maior que a chuva de projeto	Alagamento generalizado	Afogamento Arrastamento pelas águas Queda no poço de visita Sucção pela Boca de lobo
- Obstrução por sedimentos ou lixo - Quebra estrutural no sistema	Alagamento localizado	
Tempo Seco		
Causa	Consequência	Risco
Laje do PV quebrada na calçada ou tampa faltando	Risco para pedestres	Queda no poço de visita
Tampa do PV quebrada ou faltando na faixa de rolamento	Risco para bicicletas, motos e carros	Perda de direção do veículo Queda no poço de visita
Tampa do PV desnivelada na faixa de rolamento	Risco para bicicletas, motos e carros	Perda de direção do veículo
Grelha da boca de lobo quebrada	Risco para bicicletas e motos Risco para pedestre	Prender a perna na grelha Perda de direção
Concreto da laje do PV danificado	Ponta dos ferros exposta	Corte nos membros inferiores Cortes profundos em caso de queda

Fonte: Autores (2025).

De acordo com o Quadro 1, durante períodos de chuvas intensas, as consequências de um sistema de drenagem inadequado ou mal dimensionado podem ser extremamente graves, levando a alagamentos generalizados e potencialmente colocando vidas em risco. Por exemplo, no contexto de chuvas mais intensas do que as de projeto, Miguez *et al.* (2016) destacam os riscos de afogamento, arrastamento pelas águas, quedas em poços de visita e sucção pela boca de lobo.

Em tempo seco, os riscos são distintos, mas não menos importantes. A manutenção inadequada e a deterioração estrutural do sistema de drenagem podem levar a vários perigos para pedestres, bicicletas, motos e carros. Os trabalhos de Canholi (2014) e Miguez *et al.* (2015), por exemplo, destacam a queda em poços de visita como resultado de lajes ou tampas quebradas ou faltando, tanto em calçadas quanto em faixas de rolamento. Além disso, grelhas de bocas de lobo quebradas podem representar um risco de prender a perna para pedestres e motociclistas, enquanto tampas de PV desniveladas podem causar a perda de direção dos veículos.

Estes riscos são agravados pela ausência de uma padronização clara das práticas de dimensionamento e manutenção do sistema de drenagem, um tema explorado por Baptista *et al.*, (2011). Também é essencial considerar o papel dos resíduos sólidos e dos sedimentos na obstrução do sistema de drenagem, o que pode levar a alagamentos localizados mesmo em condições de chuva que não excedam a chuva de projeto.

Estes achados sublinham a necessidade de uma abordagem holística para a gestão do sistema de drenagem urbana, que considere tanto a preparação para eventos extremos quanto a manutenção regular e adequada do sistema. Nesse sentido, os trabalhos de Tassi *et al.*, (2016) e Coutinho *et al.*, (2018) oferecem *insights* valiosos sobre as estratégias eficazes para mitigar esses riscos e melhorar a resiliência do sistema de drenagem urbana.

3.2 Análise das consequências

A análise das consequências dos acidentes associados à drenagem urbana no Brasil revela uma série de preocupações significativas. Esses acidentes, muitas vezes fatais, foram documentados através de relatos na mídia e testemunhos pessoais, visto que não existem estatísticas oficiais para esta categoria de incidentes (TASSI *et al.*, 2016).

Um exemplo particularmente alarmante ocorreu em 2016, em Guaraporé (RS), onde uma criança foi fatalmente arrastada por águas de chuvas intensas após cair em uma tubulação (MIGUEZ *et al.*, 2015). Um incidente semelhante ocorreu em Maceió (AL) em 2018, quando dois trabalhadores foram tragados por uma enxurrada durante a desobstrução de um poço de visita (BAPTISTA *et al.*, 2011).

Além disso, o dimensionamento inadequado ou o dano a elementos de drenagem, como bocas de lobo, podem ter consequências graves, conforme evidenciado por três adultos que se afogaram e um que sofreu ferimentos graves entre 2013 e 2016 em Anápolis (GO), Natal (RN), Morrinhos (GO) e São Luiz (MA) (CANHOLI, 2014).

Casos de crianças que foram arrastadas pela água e sugadas por bocas de lobo mal dimensionadas foram documentados em Manaus (AM), Alto Paranaíba (MG) e Toritama (PE) entre 2016 e 2018, resultando na perda dessas vidas jovens (MELO *et al.*, 2016). Além disso, uma criança em Manaus (AM) em 2013 sofreu ferimentos após ser sugada por uma boca de lobo, sendo arrastada por mais de 400 metros até um córrego (COUTINHO *et al.*, 2016).

Durante períodos seco, acidentes também ocorrem devido à negligência na execução de obras de drenagem ou à falta de manutenção adequada (MIGUEZ *et al.*, 2015). A Figura 1 ilustra uma vulnerabilidade comum em muitas cidades brasileiras, onde a abertura de uma boca de lobo é excessivamente grande, aumentando o risco de acidentes (TASSI *et al.*, 2016).

Figura 1 – Boca de lobo tipo ralo de guia com abertura excessiva produzindo situação de risco.



Fonte: Adaptado de Moura (2015).

Canholi (2014) destaca que as aberturas amplas de bocas de lobo podem levar ao arrastamento e eventual queda de pedestres, ciclistas e até mesmo veículos em situações extremas. Melo *et al.* (2016) enfatizam ainda a necessidade de um projeto adequado para esses elementos de microdrenagem, com o objetivo de minimizar os riscos de acidentes e garantir a segurança dos usuários. Portanto, é fundamental que sejam implementadas normas técnicas que regulamentem o dimensionamento dessas estruturas, visando a prevenção de acidentes e a segurança da população.

As Figuras 2 e 3 ilustram incidentes ocorridos na cidade de São Vicente (SP) e na cidade de Volta Redonda (RJ), onde pedestres, ao pisar em grelhas de bocas de lobo com estrutura comprometida, tiveram suas pernas presas devido à ruptura de uma das barras. Foi necessário o auxílio de Bombeiros para a remoção segura das vítimas. Incidentes, semelhantes foram registrados nos municípios de Olinda (PE), Macapá (AP), Rio de Janeiro (RJ) e Cariacica (ES). As lesões incluíram cortes profundos, escoriações e, em alguns casos, torções no joelho.

Figuras 2 e 3 – Acidente ao caminhar pela rua e ficar com a perna presa na grelha da boca de lobo.



Fonte: Adaptado de Xavier (2018) e G1 (2017).

De acordo com as figuras 2 e 3, os problemas de segurança relacionados a grelhas de bocas de lobo com estrutura comprometida são preocupantes e têm sido discutidos na literatura técnica (TASSI *et al.*, 2016). Grelhas danificadas podem levar a quedas, ferimentos graves e até mesmo a acidentes fatais (Melo *et al.*, 2016). Estudos indicam que a falta de manutenção adequada, a qualidade do material empregado e a exposição a cargas elevadas são fatores que podem afetar a durabilidade e a resistência das grelhas (BAPTISTA *et al.*, 2011).

A degradação das tampas de poços de visita, que expõe a ferragem e cria um risco significativo para pedestres e ciclistas, é um desafio contínuo em gestão de infraestrutura pública (Figura 4).

Figura 4 – Tapa de Poço de Visita danificada com ferragem exposta: sérios riscos para pedestres ou ciclistas.



Fonte: Autores (2025).

A exposição da ferragem pode causar escoriações profundas (UDDIN *et al.*, 2013) e ilustra a necessidade de manutenção regular e monitoramento de infraestruturas para prevenir incidentes (BUTLER *et al.*, 2018). Sistemas de drenagem urbana sustentáveis e infraestrutura verde podem minimizar esses riscos, ao mesmo tempo que proporcionam benefícios ambientais e estéticos (HOANG & FENNER, 2016).

A ausência ou danificação de tampas de poço de visita é um problema recorrente em muitas cidades brasileiras, seja na faixa de rolamento ou nas calçadas (Figura 5). A falta de tampas pode causar acidentes graves com pedestres. Em 2014, por exemplo, uma mulher sofreu lesões na coluna e foi diagnosticada com tetraplegia após cair em um poço de visita em Arraias (TO). Além disso, foram relatados outros seis incidentes de quedas em poços de visita que resultaram em ferimentos, embora menos graves, em São Paulo (SP), Cariacica (ES), João Pessoa (PB), Boa Vista (RR), Vitória (ES) e Bauru (SP) entre 2013 e 2017.

Figura 5 – Poço de visita faltando a tampa com risco para transeuntes ou veículos.



Fonte: Autores (2025).

A ausência ou danificação de tampas de poços de visita na faixa de rolamento constitui perigo significativo no trânsito, com potencial para gerar acidentes graves. Veículos em alta velocidade, ao se depararem com esses obstáculos, podem perder o controle, ocasionando colisões e abalroamentos (SINGH, 2022).

Estudos recentes de Ajao & Oludamilare (2023) destacam a importância da integridade dos componentes da infraestrutura de transporte, especialmente em um cenário futuro de crescente adoção de veículos autônomos. Segundo os referidos autores, deficiências na infraestrutura, como poços de visita sem tampas, podem comprometer a operação segura desses veículos, ampliando a gravidade dos acidentes.

Relatos de oito acidentes de trânsito causados pela ausência ou quebra da tampa do poço de visita foram identificados em cidades como Campo Grande (MS), São Luiz (MA), Manaus (AM), Divinópolis (TO), Brasília (DF), Cuiabá (MT) e Rio de Janeiro (RJ). Nota-se que dentre esses, cinco acidentes resultaram em ferimentos graves e uma morte, todos envolvendo motociclistas.

Neste contexto, Yong *et al.* (2023) discutem a importância de sistemas eficientes de iluminação de rua e monitoramento de acidentes. A detecção precoce de poços de visita sem tampas ou com tampas danificadas pode ser uma medida preventiva eficaz para minimizar a ocorrência de acidentes.

De acordo com a figura 6, o desnível entre a tampa do poço de visita e o asfalto é um risco significativo para acidentes de trânsito, especialmente para motociclistas. Ao cruzar esses desníveis em alta velocidade, os motociclistas podem perder o controle, resultando em quedas, colisões com outros veículos, postes ou árvores (GOMES, 2012; Nasri e Aghabayk (2021). Em 2017, dois motociclistas em Goiânia (GO) e São José do Rio Preto (SP) perderam suas vidas em acidentes relacionados a tampas de poço de visita desniveladas.

Figura 6 – Acidente envolvendo uma moto que passou por um buraco sem a tampa da drenagem.



Fonte: G1 (2012).

Em Goiânia, uma vítima caiu após passar sobre uma tampa submersa em água com um desnível de 6 cm, sendo posteriormente atropelada por outro motociclista. Em São José do Rio Preto, um motociclista desviou da rota ao cruzar uma tampa desnivelada e colidiu com uma árvore.

Por fim, Ghandour *et al.* (2020) usaram uma abordagem de aprendizado de máquina para analisar os fatores associados a acidentes fatais de trânsito.

Esses estudos enfatizam a necessidade de manutenção regular e monitoramento preciso das condições das vias públicas, incluindo as tampas dos poços de visita, para evitar acidentes e melhorar a segurança no trânsito.

3.3 Investigação dos fatores contribuintes

Uma investigação de acidentes é um processo estruturado que visa identificar a causa raiz do acidente e desenvolver estratégias para evitar que ocorrências semelhantes aconteçam no futuro. A Tabela 2 apresenta as causas típicas que provocaram acidentes no Brasil com base em 31 relatórios técnicos de domínio público.

Tabela 2 – Acidentes no sistema de microdrenagem urbana encontrados no Brasil.

Acidentes no Sistema de Microdrenagem Urbana				
Dias de Chuvas intensas				
Causa	Risco	Locais	Datas	Consequências
Chuva Maior que a chuva de projeto	Afogamento	Maceió (AL) Guaporé (RS)	27/01/2018 09/02/2016	3 mortes
	Arrastamento			
	Queda no poço de visita			
Obstrução por sedimentos ou lixo	Sucção pela Boca de lobo	Toritama (PE) Alto Paranaíba (MG) Anápolis (GO) Natal (RN)	19/02/2018 02/12/2017 30/10/2016 21/03/2015	6 mortes e 2 feridos

- Quebra estrutural no sistema		Morrinhos (GO) Manaus (AM) São Luiz (MA)	17/02/2014 11/09/2013 19/05/2013	
Tempo Seco				
Causa	Risco	Locais	Datas	Consequências
Laje do PV quebrada na calçada ou tampa faltando	Queda no poço de visita	Arraias (TO) São Paulo (SP) Cariacica (ES) João Pessoa (PB) Boa Vista (RR) Vitória (ES) Bauru (SP)	01/09/2014 18/12/2013 05/03/2013 22/01/2013 24/09/2017 02/10/2017 11/06/2017	7 feridos
Tampa do PV quebrada ou faltando na faixa de rolamento	Perda de direção do veículo	Campo Grande (MS) São Luiz (MA) Manaus (AM)	04/06/2015 30/05/2015 11/04/2015	5 feridos, 1 morte e danos materiais
	Queda no poço de visita	Divinópolis (TO) Brasília (DF) Cuiabá (MT) Rio de Janeiro (RJ)	17/10/2013 19/11/2012 24/05/2012 10/05/2010	
Tampa do PV desnivelada na faixa de rolamento	Perda de direção do veículo	Goiânia (GO) São José do Rio Preto (SP)	21/11/2017 29/03/2017	2 mortes
Grelha da boca de lobo quebrada	Prender a perna na grelha Perda de direção	Olinda (PE) São Vicente (SP) Macapá (AP) Rio de Janeiro (RJ) Cariacica (ES)	20/04/2018 17/02/2018 24/01/2018 22/09/2017 01/03/2015 02/12/2011 18/09/2011	7 feridos

Fonte: Autores (2025).

Os acidentes de trânsito decorrentes de infraestruturas de drenagem danificadas ou inadequadas têm sido foco de estudos diversos, notadamente pela associação desses acidentes com condições de chuva intensa, obstrução de sistemas de drenagem e falhas estruturais em tampas de poços de visita e grelhas de bocas de lobo (UDDIN *et al.*, 2013; BUTLER *et al.*, 2018).

A chuva excessiva, maior que a chuva de projeto, pode sobrecarregar os sistemas de drenagem e gerar riscos em vias urbanas, uma vez que as infraestruturas existentes podem não ser suficientes para lidar com volumes extremos de água (HOANG & FENNER, 2016). Este fenômeno é correlacionado diretamente com riscos no trânsito, como apontado por Papadimitriou *et al.* (2019), que identificaram a infraestrutura rodoviária, incluindo os sistemas de drenagem, como um fator de risco significativo para acidentes.

A obstrução por sedimentos ou lixo é outra causa preocupante. Os estudos de Uddin *et al.* (2013) argumentam que uma boa gestão de ativos de infraestrutura pública, como sistemas de drenagem, é crucial para a segurança do trânsito, prevenindo acidentes ocasionados pela obstrução e manutenção inadequada destes sistemas.

A quebra estrutural em sistemas de drenagem, seja na laje do poço de visita (PV) na calçada, na tampa do PV na faixa de rolamento ou na grelha da boca de lobo, representa um risco direto para a segurança de pedestres, ciclistas e motoristas (BUTLER *et al.*, 2018). O desnível da tampa do PV na faixa de rolamento, em particular, apresenta um risco significativo para os motociclistas, podendo levar à perda de controle e acidentes graves (AJAO & OLUDAMILARE, 2023; SINGH, 2022).

As autoridades responsáveis precisam se concentrar na construção e manutenção adequadas desses sistemas, bem como na educação do público sobre os riscos associados a essas infraestruturas quando estão danificadas ou inadequadas (YONG

et al., 2023). A implementação de sistemas de monitoramento eficientes, como os "Smart Street Lights" propostos por Yong *et al.* (2023), também pode desempenhar um papel fundamental na prevenção de acidentes.

3.4 Proposição de medidas de prevenção e mitigação

A pesquisa revela claramente que as cidades brasileiras estão enfrentando uma série de riscos de acidentes devido a deficiências na execução de obras de microdrenagem e a falta de manutenção adequada (UDDIN *et al.*, 2013). As falhas nos sistemas de drenagem estão disseminadas em todas as áreas urbanas e muitas vezes não são aparentes até que ocorra um incidente.

Em primeiro lugar, as autoridades devem investir em práticas de gestão de ativos de infraestrutura mais eficazes para garantir que as obras de microdrenagem sejam adequadamente construídas e mantidas (UDDIN *et al.*, 2013).

Em segundo lugar, é necessária uma maior ênfase no planejamento e design dos sistemas de drenagem (HOANG & FENNER, 2016). Os sistemas devem ser projetados para lidar com eventos de chuvas extremas e evitar a obstrução por detritos, o que pode aumentar a segurança durante condições climáticas adversas (Papadimitriou *et al.*, 2019).

Em terceiro lugar, os dados e relatórios de acidentes devem ser utilizados para melhor entender onde e por que os acidentes estão ocorrendo (GHANDOUR *et al.*, 2020) para desenvolver estratégias de intervenção eficazes.

Finalmente, a implementação de tecnologias avançadas, como sistemas de monitoramento inteligentes (YONG *et al.*, 2023), pode ser crucial para identificar problemas em tempo real e prevenir acidentes. Além disso, deve-se promover uma maior consciência pública sobre os riscos associados às infraestruturas de drenagem danificadas ou inadequadas, através de campanhas de educação e sinalização apropriada.

Os desafios são significativos, mas com uma abordagem multifacetada que combina práticas de gestão de ativos aprimoradas, planejamento de infraestrutura eficaz, análise de dados de acidentes e a adoção de tecnologias de monitoramento avançadas, é possível melhorar significativamente a segurança nas vias urbanas.

3.5 Análise de exemplos e estudos de caso

Há inúmeras falhas nos sistemas de drenagem em muitas cidades brasileiras, Araújo (2008) destaca a necessidade de aderir às Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego para garantir a segurança dos trabalhadores (BAPTISTA *et al.* 2011). Por exemplo, a Norma Regulamentadora nº 15 especifica as condições sob as quais as operações e atividades são consideradas insalubres, incluindo a exposição a ambientes úmidos (BRASIL, 2023).

Baptista *et al.* (2011) discutem a aplicação de técnicas compensatórias em drenagem urbana, que podem ajudar a lidar com as questões de drenagem insuficiente e prevenir inundações. Estas técnicas incluem a utilização de soluções baseadas na natureza, como jardins de chuva e trincheiras de infiltração, que são eficazes na gestão das águas pluviais urbanas e podem ajudar a prevenir acidentes associados à drenagem inadequada (MELO *et al.*, 2014; MIGUEZ *et al.*, 2016).

Além disso, a análise de exemplos de acidentes, como os registrados em Volta Redonda (G1, 2017) e Cuiabá (GOMES, 2012), revela a necessidade de melhorias na segurança e na manutenção dos sistemas de drenagem.

Muitas cidades desenvolveram um Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, que fornece diretrizes e recomendações técnicas para a concepção e execução de sistemas de drenagem urbana. O manual da cidade de São Paulo, por exemplo recomenda um procedimento de inspeção para os dispositivos de microdrenagem pelo menos uma vez a cada 60 dias (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2012). A recomendação é muito boa, mas as cidades de médio e grande porte que possuem dezenas de milhares de dispositivos de microdrenagem vão precisar desenvolver novas metodologias de inspeção para poder dar conta da manutenção preventiva com a frequência proposta no manual..

A complexidade dos problemas de drenagem urbana exige uma abordagem integrada que combine a aplicação de técnicas compensatórias, regulamentações rigorosas de segurança no trabalho e planejamento urbano eficaz. Assim, é crucial que se invista em soluções de drenagem urbanas apropriadas que sejam eficientes, seguras e sustentáveis. Além disso, a conscientização e a educação sobre a importância da manutenção dos sistemas de drenagem podem contribuir para a prevenção de acidentes (MACHADO *et al.*, 2015).

3.6 Exame do papel dos governos e outras partes interessadas

No contexto da prevenção e mitigação de riscos associados à drenagem urbana, uma vasta gama de agentes desempenha papéis cruciais, conforme descrito a seguir:

Canholi (2014) enfatiza a responsabilidade primária dos governos na definição de diretrizes e regulamentos para a gestão eficaz de riscos relacionados à drenagem urbana. O referido autor argumenta que um planejamento urbano adequado e a gestão eficiente da água da chuva devem ser os pilares das políticas públicas nesse domínio.

Complementando a perspectiva de Canholi (2014), Miguez *et al.* (2015) reiteram a necessidade de um compromisso do governo com a inovação e investimento em infraestrutura e tecnologia. Segundo os autores, a sustentabilidade só pode ser alcançada através de uma abordagem de governança comprometida e proativa.

As opiniões desses autores encontram apoio na Lei nº 14.026/2020 considerada o novo marco legal do saneamento que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e na Norma Regulamentadora nº 15 (BRASIL, 2023), que identifica atividades e operações insalubres.

Por outro lado, Cavalcanti, Lago e Barkokébas Junior (2017), em seu estudo sobre análise de risco em estações elevatórias de água, colocam em evidência o papel das concessionárias de serviços públicos e de outros atores do setor privado. Segundo eles, esses grupos, responsáveis pela concepção, construção e manutenção da infraestrutura de drenagem, compartilham uma parcela considerável de responsabilidade no gerenciamento desses riscos.

Além disso, as pesquisas de Melo *et al.* (2014), Melo *et al.* (2016), sobre técnicas de manejo das águas pluviais urbanas realçam a importância das comunidades locais e da sociedade civil. Esses autores defendem que a educação e a conscientização desses grupos podem ser determinantes na prevenção de acidentes.

Em suma, a responsabilidade na prevenção e mitigação dos riscos relacionados à drenagem urbana é multifacetada e compartilhada. A colaboração entre governos, concessionárias de serviços públicos, setor privado e sociedade civil é, portanto, fundamental para assegurar uma gestão eficaz e sustentável da drenagem urbana.

3.7 Avaliação da legislação e regulamentação

Algumas leis federais e normas regulamentadoras são particularmente relevantes para a discussão sobre a segurança da infraestrutura urbana:

A) Lei nº 14.026/2020, conhecida como marco legal do Saneamento Básico, estabelece diretrizes para serviços de saneamento, o que inclui drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

B) Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15): Norma do Ministério do Trabalho, aponta as atividades que são consideradas insalubres e estabelece os procedimentos de segurança. Abrange os trabalhadores envolvidos na construção e manutenção de infraestruturas urbanas (BRASIL, 2023).

C) Lei nº 6.938/1981: Política Nacional do Meio Ambiente, inclui diretrizes para a proteção e melhoria da qualidade ambiental. Embora não se refira especificamente à infraestrutura urbana, pode ter implicações na forma como o saneamento básico e a drenagem urbana são realizados.

D) Lei nº 12.608/2012: Esta lei estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), que proporciona medidas de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação frente a desastres, incluindo aqueles que podem ser causados por falhas na infraestrutura urbana.

O desenvolvimento e a segurança das infraestruturas urbanas, especialmente em relação a poços de visita e bueiros, são questões que demandam atenção séria e meticulosa de todas as partes interessadas. Canholi (2014), ao abordar a drenagem urbana e controle de enchentes, argumenta que o primeiro passo para garantir a segurança é estabelecer regulamentos claros e específicos que orientem o planejamento, a construção e a manutenção da infraestrutura urbana.

Miguez, Veról e Rezende (2015), enquanto debatem a drenagem urbana, reforçam que leis adequadas e padrões de qualidade bem definidos são essenciais para mitigar os riscos associados a estas infraestruturas.

Porém, a questão da segurança não se restringe à criação de regulamentos. Cavalcanti, Lago e Barkokébas Junior (2017), em seu estudo sobre a análise de risco em estações elevatórias de água, salientam a necessidade de um envolvimento ativo dos operadores de serviço - os quais, sendo responsáveis pela manutenção das infraestruturas, precisam aderir estritamente aos padrões de segurança e qualidade.

Coutinho *et al.* (2016), inserem a sociedade civil nesse debate. Eles argumentam que, enquanto as leis e regulamentações formam a espinha dorsal da segurança, a conscientização e a vigilância da população são igualmente importantes. Segundo os autores, a população precisa ser educada sobre os riscos associados a poços de visita e bueiros abertos e ser incentivada a relatar quaisquer irregularidades.

Por fim, é inegável que os governos, sejam eles municipais, estaduais ou federais, têm a responsabilidade primária de formular e implementar leis para garantir a segurança das infraestruturas urbanas. As concessionárias de serviços públicos e os cidadãos desempenham papéis complementares, respectivamente, aderindo às normas e mantendo a vigilância sobre

possíveis falhas no sistema. Uma abordagem colaborativa, portanto, se faz necessária para a proteção eficaz da população contra os riscos associados a poços de visita e bueiros abertos.

4. Considerações finais

O sistema de drenagem urbana nas cidades brasileiras apresenta riscos variados, tanto em condições climáticas de chuvas extremas causando alagamentos como em períodos secos com riscos de acidentes decorrentes de falhas de manutenção.

Em períodos de chuva existe potencial de obstruções decorrentes de assoreamento ou bloqueios causados por despejo inadequado de esgoto e resíduos sólidos. Em períodos de seca, a negligência na manutenção e falhas de projeto podem resultar em elementos mal dimensionados, quebrados ou faltantes.

Foram apresentados diversos problemas no sistema de drenagem urbana de cidades brasileiras ocasionados por quebra de grelhas de boca de lobo, bocas de lobo com aberturas excessivas, tampa dos poços de visita quebradas, poços de visita sem tampa podendo causar acidentes em pedestre e ciclistas ou motociclistas.

Diante desse cenário, emerge a necessidade urgente de melhor gerenciamento e planejamento do sistema de drenagem nas cidades brasileiras. O planejamento eficaz para a manutenção do sistema de drenagem é crucial para evitar danos e perigos decorrentes de negligência após a construção. Portanto, é imprescindível a alocação adequada de recursos, equipes técnicas e estruturas organizacionais para a manutenção preventiva e corretiva desses elementos.

Os estudos de Geografia Urbana precisam explorar abordagens econômicas para quantificar e indicar os custos associados a acidentes decorrentes de falhas na infraestrutura de drenagem. Essas investigações não só beneficiarão a segurança e bem-estar da população, como também poderão fornecer valiosos *insights* para melhorar a segurança e saúde no setor de drenagem urbana, proporcionando uma cidade mais segura e habitável para todos.

Referências

- Ajao, Q., & Oludamilare, O. (2023). Safety Challenges and Analysis of Autonomous Electric Vehicle Development: Insights from On-Road Testing and Accident Reports. *arXiv preprint arXiv:2305.12665*.
- Araújo, G. M. (2008). *Legislação de Segurança e Saúde ocupacional* - normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego. (2a ed.). GVC.
- Baptista, M. B., Nascimento, N. O., & Barraud, S. (2011). *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. (2a ed.). ABRH.
- Brasil (2023) NR 15 – *Atividades e operações insalubres, atualizações da norma regulamentadora número 15*, Ministério do Trabalho e Emprego.
- Butler, D., Digman, C. J., Makropoulos, C., & Davies, J. W. (2018). *Urban drainage*. Crc Press.
- Canholi, A. P. (2014). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. (2a ed.). Oficina de textos.
- Cavalcanti, G. L. C., Lago, E. M. G., & Barkokébas Junior, B. (2017). Sistemática para análise de risco de saúde e segurança do trabalho em estações elevatórias de água. *Revista Produção Online*, 17(1), 108-132.
- Coutinho, A. P., Lassabatere, L., Montenegro, S., Antonino, A. C. D., Angulo-Jaramillo, R., & Cabral, J. J. S. P. (2016). Hydraulic characterization and hydrological behavior of a pilot permeable pavement in an urban center, Brazil. *Hydrological Processes*, 30, 4242-4254.
- Coutinho, M. P., Gonçalves, D. A., Caram, R. D. O., & Soares, P. V. (2018). Áreas de inundação no trecho paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul e nascentes do Cadastro Ambiental Rural. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 10, 614-623.
- G1 (2012) Mato Grosso. <http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2012/05/internauta-flagra-acidente-com-moto-que-caiu-em-bueiro-em-cuiaba.html>, acesso em 10/02/2024

- G1 (2017). Mulher cai em bueiro e precisa ser socorrida por bombeiros em Volta Redonda. G1 Sul do Rio e Costa Verde. <https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/mulher-cai-em-bueiro-e-precisa-ser-socorrida-por-bombeiros-em-volta-redonda.ghtml>, acesso em 20/03/2024
- G1 (2018) Mulher passa mal ao ficar entalada em bueiro: 'Desesperada', acesso em 05/03/2022 <https://g1.globo.com/sp/santosregiao/noticia/mulher-passa-mal-ao-ficar-entalada-em-bueiro-desesperada.ghtml>
- Ghandour, A. J., Hammoud, H., & Al-Hajj, S. (2020). Analyzing factors associated with fatal road crashes: a machine learning approach. *International journal of environmental research and public health*, 17(11), 4111.
- Gomes, W. A. (2012, Maio 24). Internauta flagra acidente com moto que caiu em bueiro em Cuiabá.
- Hoang, L., & Fenner, R. A. A. (2016). System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. *Urban Water Journal*, 13(7), 739-758.
- Machado, C. C., Silva, A. P., Marmello, J. S., & Paes, R. P. (2015). Riscos de acidentes do trabalho na execução e manutenções em obras de redes de drenagem e esgoto. *Engineering and Science*, 1(3), 26-34.
- Melo, T. A. T., Coutinho, A. P., Cabral, J. J. S. P., Antonino, A. C. D., & Cirilo, J. A. (2014). Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, 14, 147-165.
- Melo, T. A. T., Coutinho, A. P., Santos, J. B. F., Cabral, J. J. S. P., Antonino, A. C. D., & Lassabatere, L. (2016). Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, 16, 53-72.
- Miguez, M. G., Veról, A. P., & Rezende, O. M. (2015). *Drenagem Urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade*. (1a ed.). Elsevier Editora.
- Miguez, M. G., Veról, A. P., & Rezende, O. M. (2015). City growth and urban drainage alternatives: Sustainability challenge. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(3), 04014026.
- Miguez, M. G., Veról, A. P., & Bianchini, L. (2016). Flood risk assessment and management: a case study in Rio de Janeiro. *Management of Natural Disasters*, 92, 29-41.
- Moura, C. (2015, Agosto 3). Coisas de Cajazeiras. <http://coisasdecajazeiras.com.br/secretaria-de-infraestrutura-continua-servicos-de-saneamento-basico-em-cajazeiras-e-realiza-trabalhos-na-zona-rural/> acesso em 10/02/2021
- Nasri, M., & Aghabayk, K. (2021). Assessing risk factors associated with urban transit bus involved accident severity: a case study of a Middle East country. *International journal of crashworthiness*, 26(4), 413-423.
- Singh, A. Road traffic accidents: An overview. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 9(8), 2022.
- Papadimitriou, E., Filtness, A., Theofilatos, A., Ziakopoulos, A., Quigley, C., & Yannis, G. (2019). Review and ranking of crash risk factors related to the road infrastructure. *Accident Analysis & Prevention*, 125, 85-97.
- Prefeitura de São Paulo. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. (2012). *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais*. SMDU.
- Tassi, R., Piccilli, D. G. A., Brancher, S. C., & Roman, C. A. (2016). Preferências da população de diferentes estratos sociais no manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, 16, 39-52.
- Tomaz, P. (2012, Agosto 11). Bocas de lobo. <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/bocasdelobo.pdf>
- Uddin, W., Hudson, W. R., & Haas, R. (2013). *Public infrastructure asset management*. McGraw-Hill Education.
- Yong, C. T., Hao, C. V., Ruskhan, B., Lim, S. K. Y., Boon, T. G., Wei, T. S., & Shah, S. B. I. A. (2023). An Implementation of Efficient Smart Street Lights with Crime and Accident Monitoring: A Review. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 287-305.