

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**GIOVANA DIAS RAMALHO**

**Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana para áreas  
centrais: Estudo de caso em Londrina-PR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2021**

GIOVANA DIAS RAMALHO

**Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana para áreas  
centrais: Estudo de caso em Londrina-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso Superior de Engenharia  
Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Ambiental.

Orientador: Prof Ricardo Nagamine  
Costanzi

**LONDRINA**

**2021**

**GIOVANA DIAS RAMALHO**

**SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA PARA ÁREAS  
CENTRAIS: ESTUDO DE CASO EM LONDRINA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 15 de dezembro de 2021

---

Prof. Dra. Edilaine Regina Pereira  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Freitas  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Constanzi  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer minha família, em especial minha mãe Vanuza e meu pai Juracy, que me serviram de inspiração para chegar até essa etapa, obrigada pelo suporte, apoio e o esforço durante todos esses anos e por promover o melhor para meus estudos.

Ao meu orientador Ricardo por toda sua paciência, cooperatividade e conhecimento nesse período da realização do meu TCC. Ao coordenador de curso Aulus que também sempre esteve presente para me dar conselhos e me auxiliar durante minha formação. Aos demais docentes do Campus de Londrina pelo conhecimento e ensinamentos nas aulas e no dia a dia na universidade.

Aos meus amigos e colegas, com quem passei momentos descontraídos e também de sufoco na faculdade. Principalmente as minhas amigas Catarine e Beatriz com quem me diverti muito durante esses anos e que sempre estiveram presentes para me apoiar. Carol e Kelvin com quem construí uma amizade muito forte. E Stephanie com quem compartilhei a diretoria na Gaia Jr e que se tornou uma grande amiga.

## RESUMO

RAMALHO, G. D. **Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana para áreas centrais: Estudo de caso em Londrina-PR**. 2021. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Curso de Engenharia ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

O crescimento dos centros urbanos resultou no desenvolvimento em infraestrutura para abrigar e dar suporte a essa população. Por conseguinte, ocorreu-se a diminuição das zonas com vegetação, o que gerou o acúmulo de água das chuvas nas cidades. Logo, viu-se a necessidade da implantação dos sistemas de drenagem urbana que procuram desviar a água local para os corpos hídricos. No entanto, com o passar dos anos notou-se a insustentabilidade dessa técnica que acaba por impactar os rios, córregos e a região ao redor. O presente trabalho teve como objetivo apresentar os sistemas sustentáveis de drenagem urbana – SUDS (Sustainable Drainage Systems) como uma alternativa para o aumento da infiltração das águas das chuvas no centro de Londrina. O estudo foi feito em 12 quadras e um cemitério e buscou identificar as áreas permeáveis e impermeáveis com a finalidade de calcular-se o coeficiente de escoamento superficial da zona em análise. A partir dos resultados do levantamento das áreas buscou-se sugerir a implementação dos SUDS em locais tais como, estacionamentos, calçadas e no próprio cemitério. Assim, recalculou-se o *runoff* com os novos coeficientes de escoamento superficial. Obteve-se uma diminuição de 0,92 para 0,81 nos valores do coeficiente *runoff* e uma diminuição de 91,88 para 65,72 por cento de impermeabilização de área superficial nas quadras em estudo. Fato que indica a possibilidade de diminuição e melhora do sistema de drenagem urbana com os processos SUDS. Já para o cemitério a redução foi de 0,04 no valor do coeficiente do escoamento superficial, por apresentar na sua maior parte uma área impermeável aonde não é possível a implementação de alternativas sustentáveis

Palavras-chave: Sistemas sustentáveis de drenagem urbana. Drenagem urbana. Escoamento superficial.

## **ABSTRACT**

RAMALHO, G. D. Sustainable Urban Drainage Systems for downtown areas: case study in Londrina-PR. 2021. 53f. Graduate paper (environmental and Sanitary Engineering), Feral Technological University of Paraná. Londrina.

The growth of urban centers resulted in the development of infrastructure and support for this population. Consequently, there was a decrease in vegetation areas, which generated flood in cities. Thus, the implementation of urban drainage systems that bring rainwater to water bodies was carried out. However, over the years the environmental impact of this technique has become evident, as it ends up affecting rivers, streams, and the region around. This study aims to present the Sustainable Drainage Systems - SUDS as an alternative to increase the infiltration of rainwater in downtown Londrina. 12 blocks and a cemetery were the objects of this study. The permeable and impermeable areas was identified in order to calculate the runoff coefficient of the area under analysis From the survey of areas, we sought to implement the SUDS in places such as parking lots, sidewalks and the cemetery. Thus, the runoff was recalculated with the new coefficients. A decrease from 0.91 to 0.81 in the coefficient values and a decrease from 91.88 to 65.72 percent of surface area waterproofing was obtained in the blocks under study. Fact that indicates the possibility of reducing and improving the urban drainage system with the SUDS processes. As for the cemetery, the reduction was 0.04 in the value of the coefficient of surface runoff, for presenting in its most part an impermeable area where it is not possible to implement Sustainable Drainage Systems.

Key-words: Sustainable Drainage Systems. Urban Drainage Systems. Run off.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Redução da retenção superficial .....	9
Figura 2 — Estágio do desenvolvimento da drenagem .....	10
Figura 3 — Objetivos dos SUDS.....	13
Figura 4 — Esquema de funcionamento de sistema de aproveitamento de água de chuva.....	16
Figura 5 — Estrutura telhado verde .....	18
Figura 6 — Poço de infiltração .....	19
Figura 7 — Trincheira de Infiltração.....	20
Figura 8 – Trincheira de infiltração com pavimento drenante.....	21
Figura 9 - Bacia de infiltração.....	22
Figura 10 — Diferentes modelos de pavimentos semipermeáveis .....	23
Figura 11 — Pavimento poroso .....	23
Figura 12 – Exemplo de piso grama na calçada .....	24
Figura 13 – Área de estudo.....	25
Figura 14 – Alagamento centro de Londrina .....	26
Figura 15 – Cálculo da área selecionada (SIGLON).....	27
Figura 16 – Combinação entre blocos vazados, pisos intertravados e trincheira de infiltração.....	35
Figura 17 – Estacionamentos na área de estudo.....	36
Figura 18 – Edifício na Rua Espírito Santo.....	37
Figura 19 – Telhado verde <i>City Hall</i> de Chicago.....	37
Figura 20 – Pisograma .....	38
Figura 21 – Imagem área do cemitério.....	39
Figura 22 – Gráfico de Vazão.....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Marcação das ruas .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 2 – Valores de coeficiente de escoamento (C) para superfícies urbanas.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 3 – Áreas permeáveis das quadras na área de estudo .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 5 – Porcentagem de impermeabilização na área de estudo .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 6 – Coeficiente de escoamento superficial médio.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 7 – Áreas do cemitério na área de estudo.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 8 – Áreas permeáveis das quadras na área de estudo após proposta .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 9 – Novas áreas permeáveis na área de estudo após proposta.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 10 - Áreas impermeáveis na área de estudo após proposta .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 11 – Comparação da porcentagem de impermeabilização .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 12 – Comparação do coeficiente de escoamento superficial total ..</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 13 – Comparação das áreas do cemitério na área de estudo.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 14 – Vazão da área de estudo.....</b>	<b>45</b>



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>7</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
3.1 URBANIZAÇÃO E DRENAGEM URBANA .....	8
3.2 SISTEMA DE DRENAGEM URBANA.....	10
3.3 DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL .....	11
3.4 SISTEMA SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM.....	12
3.5 SISTEMA SUSTENTÁVEIS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL .....	14
3.6 TELHADOS VERDES .....	16
3.7 POÇOS DE INFILTRAÇÃO.....	18
3.8 TRINCHEIRAS INFILTRAÇÃO .....	19
3.9 BACIAS DE INFILTRAÇÃO .....	21
3.10 PAVIMENTO PERMEÁVEL E SEMIPERMEÁVEL .....	22
4. 1 ÁREA DE ESTUDO .....	25
3.2 LEVANTAMENTO DAS ÁREAS .....	27
3.3 CALCULO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL ....	28
3.4 FÓRMULA DO MÉTODO RACIONAL .....	29
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>30</b>
4.1 ÁREAS PERMEÁVEIS E IMPERMEÁVEIS .....	30
4.2 PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DOS SUDS.....	35
4.3 ÁREAS PERMEÁVEIS E IMPERMEÁVEIS DEPOIS DAS PROPOSTAS DE SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS.....	39
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>47</b>

<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>
-----------------------------	-----------

## 1. INTRODUÇÃO

Num ambiente natural, a água da chuva quando atinge o solo uma parcela infiltra e a outra e fica retida em depressões ou pela vegetação. Posteriormente, o ciclo da água será complementado com a evapotranspiração e com o transporte subterrâneo ou superficial até a bacia hidrográfica limítrofe.

Porém, com a urbanização devido à construção de estradas, vias públicas, sistemas residenciais dentre outros empreendimentos, o ciclo da água é alterado. As zonas permeáveis numa zona urbana são relativamente baixas e a vegetação é subtraída. Logo, a evapotranspiração é reduzida, o que agrava o escoamento superficial e causa aumento da vazão de cheia (TUCCI, 2007).

Visto a diminuição de superfícies permeáveis, observou-se a necessidade da implantação de sistemas de drenagem que tinham como objetivo a condução hidráulica como forma de solução relacionada à redução de enchentes. Contudo, em meados da década de 1980, percebeu-se a insustentabilidade e os danos aos sistemas hídricos desse conceito.

Um sistema de drenagem convencional busca desviar a água do local preliminar e direcioná-la para corpos hídricos, entretanto esse processo pode causar o aumento de vazões nos córregos e rios urbanos, o que acaba impactando as regiões a jusante (POLETO, 2011).

Diante disso, transpôs-se a priorização do desenvolvimento de novas tecnologias com foco na qualidade dos sistemas de drenagem urbana ao invés de modelos quantitativos que foram denominados sistemas de drenagem sustentáveis, que têm como preocupação os fatores ambientais conjuntamente aos econômicos e sociais (TIMMERMANN GONÇALVES 2017; NUCCI 2017).

Londrina, por ser uma cidade de médio porte, atualmente com cerca de 600 mil habitantes (IBGE, 2020), com crescimento cada vez mais intenso no ramo da construção civil enfrenta vários problemas associado aos sistemas de drenagem urbana.

Neste contexto, o presente trabalho pretende elencar alternativas sustentáveis de drenagem urbana para municípios de Londrina. Em vista disso, o estudo proposto poderá servir de modelo para implementação em outros municípios.

## **2. OBJETIVOS**

Analisar o sistema de drenagem urbana de área central de Londrina - Paraná considerando alternativas sustentáveis de drenagem urbana.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Levantar alternativas de drenagem sustentáveis viáveis para áreas centrais em cidades de médio porte;
- Propor opções sustentáveis para diminuição da impermeabilização do solo;
- Comparar o coeficiente de escoamento superficial antes e depois da proposta de mudanças visando alcançar maior permeabilidade.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 URBANIZAÇÃO E DRENAGEM URBANA

A maioria da população brasileira ocupa zonas urbanas, essa maior parte representa 84,72% dos habitantes no Brasil em 2015, segundo informações da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). Esse deslocamento da zona rural para a zona urbana está ligado às oportunidades de trabalho e à melhor qualidade de vida nos quesitos saúde, educação e cultura. Essa intensificação pode ser observada em países que estão em processo de desenvolvimento, como vários países da América Latina.

Esse crescimento descontrolado das cidades gera graves problemas ao meio ambiente, principalmente nos ciclos hidrológicos, nas mudanças climáticas, nos cursos hídricos, nas cheias naturais dos rios e córregos e no solo (MOTA, 2003; BARROS, 2005; TUCCI, 2007).

A razão fundamental para esses impactos são a ausência de planejamento, gestão, controle municipal e a falta de controle e aplicação das legislações municipais e estaduais.

Tucci (2008) cita como um dos principais problemas referentes à infraestrutura e a urbanização em desenvolvimento:

A urbanização é espontânea e o planejamento urbano é realizado para a cidade ocupada pela população de renda média e alta. Para áreas ilegais e públicas, existe invasão e a ocupação ocorre sobre área de risco como de inundações e de escorregamento, com frequentes mortes durante o período chuvoso. Parte importante da população vive em algum tipo de favela. Portanto, existem a cidade formal e a informal. A gestão urbana geralmente atinge somente a primeira.

A urbanização também provoca complicações na infraestrutura, como:

- Abastecimento d'água;
- Geração de esgotos;
- Produção de Resíduos Sólidos;
- Moradia;
- Sistema de transporte;
- Drenagem Urbana.

Na drenagem urbana, as várias alterações no uso do solo devido à urbanização, como a construção de edificações e a execução de pavimentos, aumentam a sua impermeabilização, conseqüentemente, altera as circunstâncias de drenagem espontânea da chuva. Dessa forma, a infiltração e retenção da água no solo se reduzem e o escoamento superficial aumenta. Logo, os tempos de concentração são menores com vazões maiores de escoamento que acarretam caudais de ponta mais elevados. Esse fenômeno está diretamente relacionado à ocorrência de inundações (LOURENÇO, 2014).

Durante as estações chuvosas, especialmente em zonas sazonais, esses efeitos são ainda mais recorrentes por conta das chuvas intensas e mal distribuídas. As conseqüências das enchentes são visíveis e causam não só danos ao meio ambiente, mas também geram problemas econômicos e sociais. Alguns exemplos são: o bloqueio do acesso às cidades, o impacto nas moradias e nas estruturas urbanas, a propagação de doenças hídricas e as vítimas de morte em casos extremos.

A urbanização também origina mudanças na geomorfologia dos cursos d'água, numa extensão longitudinal e transversal, em função da canalização de rios naturais. O comportamento hidrológico muda entre o meio urbano e natural, segunda a Figura 1:

**Figura 1 — Redução da retenção superficial**

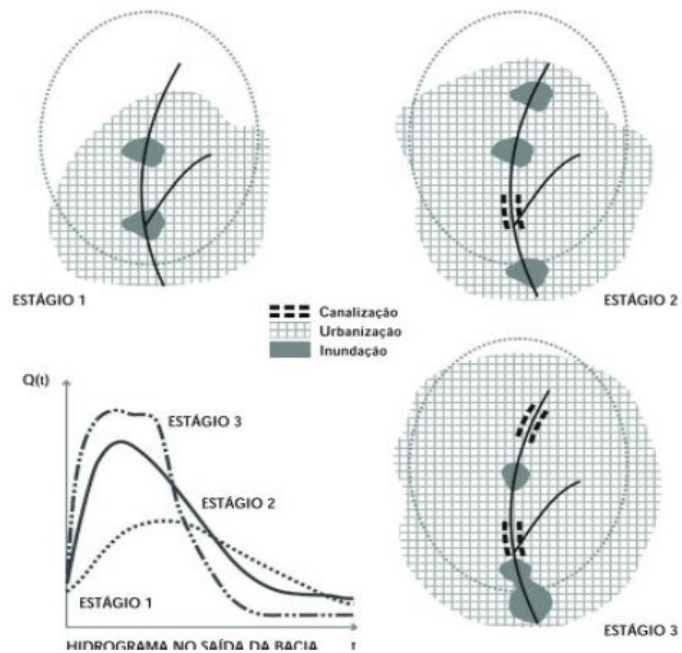


Fonte: Costa (2001)

### 3.2 SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Conforme classificação proposta por Tucci (2004) o desenvolvimento da drenagem apresenta 3 estágios, conforme a Figura 2:

**Figura 2 — Estágio do desenvolvimento da drenagem**



**Fonte: Tucci (2004)**

**Estágio 1:** De maneira distribuída surge a urbanização da bacia hidrográfica, com maior densidade a jusante. Desse modo, o estrangulamento natural ao longo do seu curso ocasiona locais de inundação;

**Estágio 2:** A execução das primeiras canalizações é feita a jusante. Dessa forma, o hidrograma a jusante aumenta os valores de vazão, porém, é retido pelas áreas a montante inundadas (reservatório);

**Estágio 3:** Com o aumento do número de pessoas no local, os administradores são pressionados a prosseguir com o processo de canalização em direção a montante. Ao final desse processo, ou até mesmo antes, a vazão máxima se amplia, devido à

urbanização e canalização a montante, originando as inundações. Assim, são necessárias mais construções para o aumento das redes de canalização.

Nesse cenário, surgem os sistemas de drenagem urbana. A partir da necessidade de construir sistemas artificiais para o controle da pluviosidade, esses sistemas possuem dois subsistemas principais: a microdrenagem e macrodrenagem.

A microdrenagem é formada por unidades que recepcionem a água da chuva e realizam o seu transporte com o objetivo de evitar o seu acúmulo em vias, lotes e praças como, por exemplo, pavimentos das ruas, sarjetas, bocas de lobo e galerias de drenagem (MARTINS, 2012). Os riscos provenientes desse sistema são considerados de menor porte. Em projeto, esses riscos possuem período de retorno de 2 a 10 anos.

Já a macrodrenagem corresponde a captação pluviométrica da bacia hidrográfica, abrangendo também a água oriunda da microdrenagem. Assim, seu trabalho é conduzir o volume da água precipitada por meio da hidrografia natural e canais de drenagem. O risco associado a esse sistema é maior, entre 10 a 100 anos (OLIVEIRA, 2018).

### 3.3 DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL

Um sistema de drenagem convencional é composto por uma rede ramificada constituída por dutos de superfície livre que são conduzidos sob ação da pressão atmosférica (NETO, 2019). Os componentes considerados medulares da drenagem tradicional são:

- Sarjetas: são condutos livre de secção triangular, que no que lhe concerne o transporte das águas superficiais em áreas públicas e de lotes que não se conectam à rede por ramais prediais, destinando as mesmas aos locais definidos.
- Bocas de lobo e caixas-raio: apanham as águas da chuva pela sarjeta e direcionam para as galerias por meio das caixas de ligação e poços de visita.
- Poços de visitas: admitem transições do escoamento e possibilitam a inspeção e manutenção da rede.



- Caixas de ligação: proporcionam transições do escoamento, tanto em secções transversais como em declividade e mudança de direção.
- Galerias: é o conjunto dos dutos sujeitos à captação e escoamento das águas superficiais recebidas mediante as bocas de lobo até o corpo hídrico do sistema.

No fim dos anos 60, o questionamento dos problemas causados pela drenagem urbana tradicional surgiu junto às reflexões sobre as consequências das ações antrópicas no meio ambiente. Notou-se que devido às construções realizadas com o objetivo de desviar as águas acumuladas em zonas importantes, com a intenção de priorizar a saúde pública e afastar qualquer espécie de inconveniente gerado pelo transporte de água, acaba por deslocar o problema para outras regiões ou para o futuro (POMPÊO, 2000).

Souza (2013) reforça essa ideia ao afirmar que no Brasil os sistemas de drenagem seguem o modelo higienista que tem como consequência a desunião entre planejamento urbano e os elementos da drenagem que prezam a sustentabilidade do sistema. Pois, o efeito de uma urbanização descontrolada resulta muitas vezes na mudança dos cursos d'água.

Segundo Tucci (2012), em decorrência dessa situação, surgem duas medidas de controle. Para tudo que engloba construções e aparatos com o intuito de impedir inundações denomina-se como modelo estrutural, exemplo: diques, barragens e canalizações. Já como ações as que buscam prevenir ou preparar para o evento das enchentes, tais como, capacitação da população, instrumentos legais de amparo e alertas.

### 3.4 SISTEMA SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM

Com o propósito de criar outras alternativas para a drenagem urbana que buscam um equilíbrio do ciclo hidrológico urbano visando aumentar a infiltração do solo e fomentar a reutilização da água da chuva foram criados os SUDS (Sustainable Urban Drainage System) (JONES e MacDONALD, 2007). Esse conceito é uma evolução da antiga percepção de drenagem urbana, em que as práticas sanitaristas utilizadas priorizam a

rápida expulsão das águas pluviais e efluentes dos centros urbanos. Esse conceito apenas age pontualmente e resulta na transferência do problema para outro local.

Os SUDS podem ser definidos como um combinado de métodos sustentáveis que possibilitam uma maior taxa de infiltração das águas pluviais no solo com um menor impacto no meio ambiente. Esses sistemas procuram diminuir o escoamento superficial com a implantação de elementos discretos de controle da drenagem urbana que se assemelham com a paisagem natural e adotam tecnologias que ajudam na evaporação e evapotranspiração do solo e na reservação temporária das águas (AIMEIDA 2020).

Os propósitos dos SUDS são conceituados pela harmonização entre 4 principais requisitos, a busca da redução dos efeitos negativos da urbanização em condições de qualidade e quantidade de escoamento superficial e, ao mesmo tempo, contribuir com a melhoria da oferta de amenidades e biodiversidade, como pode ser observado na Figura 3 (GONÇALVES E NUCCI, 2017).

**Figura 3 — Objetivos dos SUDS**



Fonte: Neto (2019)

Segundo Woods-Ballard et al. (2007, p. 12), as águas da chuva precisam ser realocadas em pequenas partes localizadas nas sub-bacias, no lugar de serem conduzidas em grandes sistemas no local mais baixo das áreas de drenagem. As técnicas de controle e manejo utilizadas são:

- Prevenção: realizar um planejamento paisagístico local e planos de limpeza e manutenção doméstica a fim de evitar escoamento superficial e poluição, sendo possível assim a reutilização das águas da chuva;
- Controle de origem: medidas de controle do escoamento superficial o mais próximo de sua origem, exemplos de tecnologias como telhados verdes e pavimentos permeáveis;
- Controle local: redirecionamento da água em escala local;
- Controle regional: redirecionamento do escoamento remanescente de vários pontos para um grande espaço.

Procedimentos para o controle da quantidade de água de escoamento:

- Infiltração: percolação da água superficial pelo solo que acarreta na diminuição da vazão do escoamento superficial;
- Detenção/Atenuação: redução da velocidade de fluxo, sua acumulação pode ser em bacia de retenção, bacia seca ou bacias subsuperficiais;
- Transporte: desvio do escoamento superficial de um local a outro. Procedimento importante para o controle de fluxo e conexão de SUDS durante eventos extremos.

Os sistemas sustentáveis de principal importância, de acordo com Woods-ballard et al. (2015), são os métodos de captação de água pluvial, telhados verdes, poços de infiltração, trincheiras de infiltração, bacias de infiltração, pavimento permeável e semipermeável entre outros.

### 3.5 SISTEMA SUSTENTÁVEIS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL

O sistema residencial ou industrial para captação e aproveitamento das águas pluviais para fins não potável é geralmente captado mediante telhados verdes ou áreas impermeáveis e em seguida armazenada em reservatórios independentes.

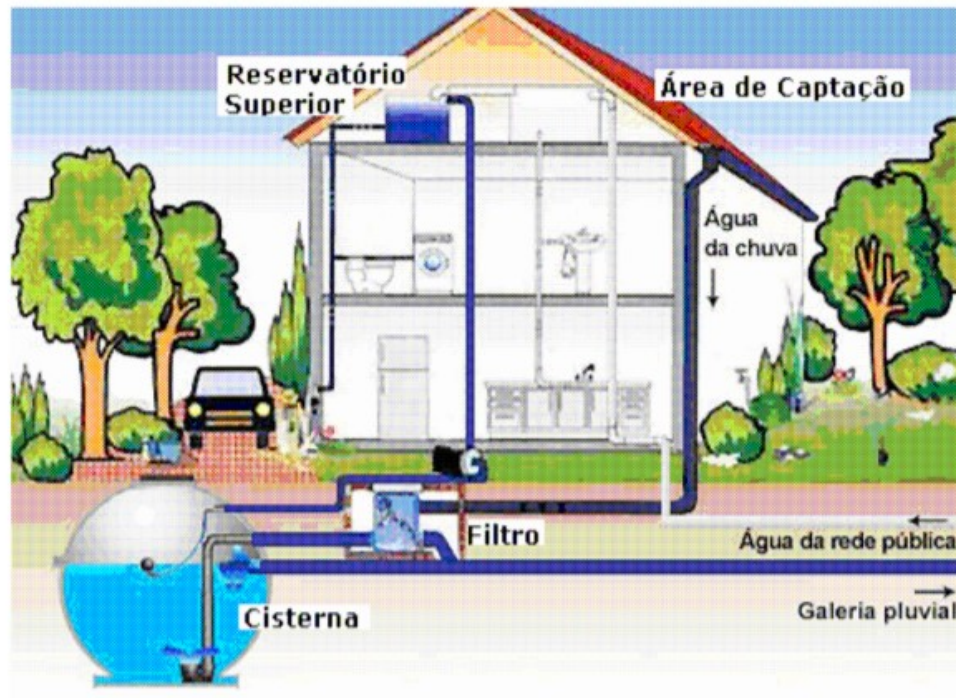
Posteriormente essa água será tratada se necessário e finalmente utilizada para fins domésticos ou industriais, tais como lavagens de pisos, regas de jardins. (WOODS BALLARD et al., 2015).

Conforme Carvalho (2010), o aproveitamento de águas superficiais dispõe de um potencial de economia de 50% a 65% da água provida pela companhia de abastecimento. Além do reaproveitamento, esse sistema ajuda a reduzir o volume de escoamento superficial e o volume de água num sistema de atenuação de um determinado local (WOODS BALLARD et al., 2015).

Oliveira e Rodrigues (2014) explicam como funciona o sistema de captação que também pode ser observado na Figura 4:

O funcionamento do sistema ocorre de maneira simples: as águas pluviais são captadas por calhas, seguem para a tubulação e passam por um filtro onde impurezas como galhos e folhas são peneirados e descartados. A água da primeira chuva é utilizada para limpar a superfície da cobertura, sendo essa descartada por um separador com uma bóia. Ao encher-se de água a bóia sobe, impedindo que a água continue a seguir para a saída do separador, somente então o reservatório começa a receber a água da chuva. Conectadas ao reservatório estão as tubulações que dão vazão para a bacia sanitária e para uma torneira da área de serviços. Toda a condução do sistema se dá por gravidade, evitando assim, gastos com eletricidade.

Figura 4 — Esquema de funcionamento de sistema de aproveitamento de água de chuva



Fonte: Bella Calha (2007)

### 3.6 TELHADOS VERDES

Os telhados verdes são compostos por uma cobertura verde de vegetação e solo. A vegetação utilizada nos telhados verdes são de porte pequeno e médio plantada sobre uma base impermeável (HENEINE, 2008). As raízes, o sistema de drenagem e o uso de um sistema de irrigação conseguem reduzir o escoamento superficial, evitando assim as “enxurradas”, bem como trazem benefício à fauna e ajudam a amenizar o calor nas edificações (COSTA et al., 2011). Conforme Araujo (2007), a estrutura do telhado verde pode ser distribuída da seguinte forma (Figura 5):

- Telhado: Elemento estrutural onde devem ser consideradas as cargas permanentes e as cargas acidentais.

- Camada impermeabilizante: proteção do elemento estrutural evitando infiltrações. Como material para essa camada podem ser usados diversos materiais: betuminosos e sintéticos.
- Isolante térmico: depende da incidência de energia solar que o local absorve, um exemplo de material isolante térmico é o isolante térmico.
- Camada drenante: evita o alagamento indesejável dando vazão ao excesso de água no solo e retém parte da água pluvial. Importante função para plantas durante período de estiagem. Pode ser composta de argila expandida, brita ou seixos.
- Camada filtrante: impede o arraste de partículas pela água da chuva. Evita que a água das chuvas e das regas arraste as partículas de solo do telhado verde, constituída geralmente por uma manta geotêxtil.
- Solo: Composto orgânico que possua boa drenagem, como solos não argilosos, que apresente um bom suporte para fixação de plantas e contenha nutrientes para o crescimento da vegetação.
- Vegetação: a sua escolha vai depender do clima do local, o tipo de substrato escolhido e tipo de manutenção. Auxilia a interceptar água através da evapotranspiração que acaba liberando água para atmosfera, desse modo evita que parte da água chegue ao solo.

Figura 5 — Estrutura telhado verde



Fonte: Site ambiente Brasil (2019)

Os telhados verdes podem ser classificados em dois sistemas, o extensivo e o intensivo. Os sistemas com coberturas mais leves, ou seja, que possuem pouco solo e plantas de menor porte, como rasteiras e gramados, são classificados como extensivos. Já os sistemas intensivos são aqueles com plantas maiores e que demandam um solo mais profundo (COSTA et al., 2011).

Segundo Spangenberg (2004), o telhado verde é um aliado na redução da temperatura no interior das moradias, reduzindo a temperatura das coberturas em 15° C.

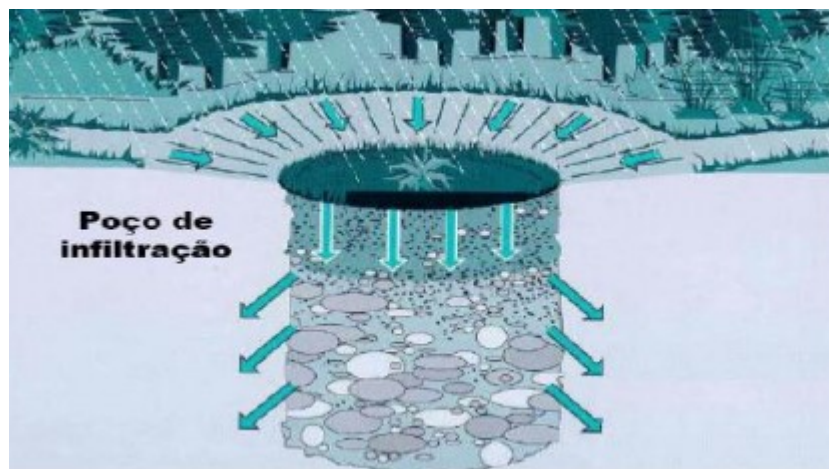
### 3.7 POÇOS DE INFILTRAÇÃO

Os poços de infiltração são equipamentos subterrâneos, como pequenos fossos, que armazenam e facilitam a infiltração da água no solo. Geralmente a sua estrutura é constituída por um preenchimento com brita envolta por tubos em concreto perfurados

ou tijolos assentados em crivo, revestida por uma manta geotêxtil para a troca entre solo e tubo (Figura 6).

As vantagens desse sistema são a possibilidade de se instalar câmaras de armazenamento, sendo um dispositivo conveniente ao contexto urbano, visto que não ocupa muito espaço, além de auxiliar no reabastecimento do lençol freático e o baixo custo de execução.

**Figura 6 — Poço de infiltração**



Fonte: Ballard, et al. (2015)

### 3.8 TRINCHEIRAS INFILTRAÇÃO

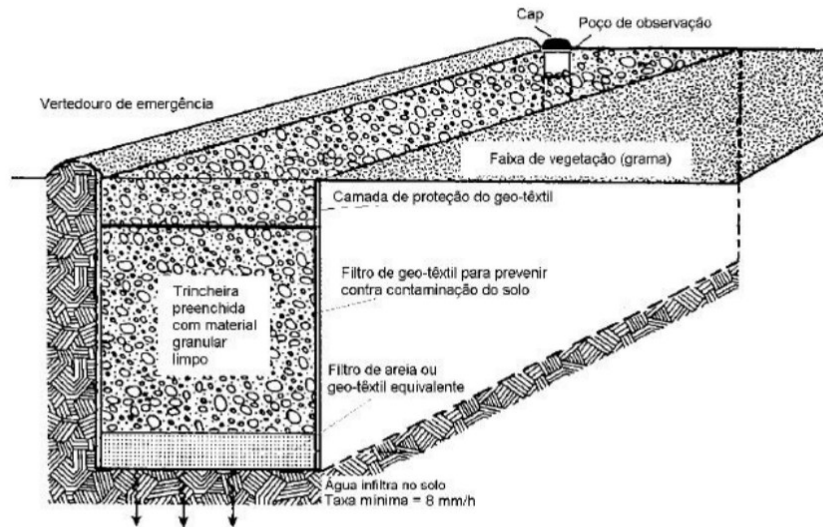
As trincheiras de infiltração são valas de formato retangular que armazenam a água pluvial por determinado tempo até que ocorra a sua infiltração no solo, esse procedimento promove também a recarga de aquíferos (Figura 7). Esse mecanismo é muito eficiente, visto que a sua ação auxilia na redução de volume do “runoff” e o amortecimento da vazão de enchente máxima.

Segundo Almeida (2020), esses dispositivos são preenchidos total ou parcialmente com material granular e revestidas com geotêxtil o que evita a passagem de detritos e a colmatção, logo essa função promove a filtração da água pelos meios de infiltração no solo. Seu custo é bem baixo, dado que a sua implementação depende



basicamente do preço da escavação e dos materiais utilizados, como brita e geo-têxtil (AGOSTINHO e POLETO, 2012).

**Figura 7 — Trincheira de Infiltração**



**Fonte: Schueler (1987)**

A Figura 8 demonstra o funcionamento de um sistema com pavimentos permeáveis, faixa de infiltração e a trincheira de infiltração.

Figura 8 – Trincheira de infiltração com pavimento drenante.

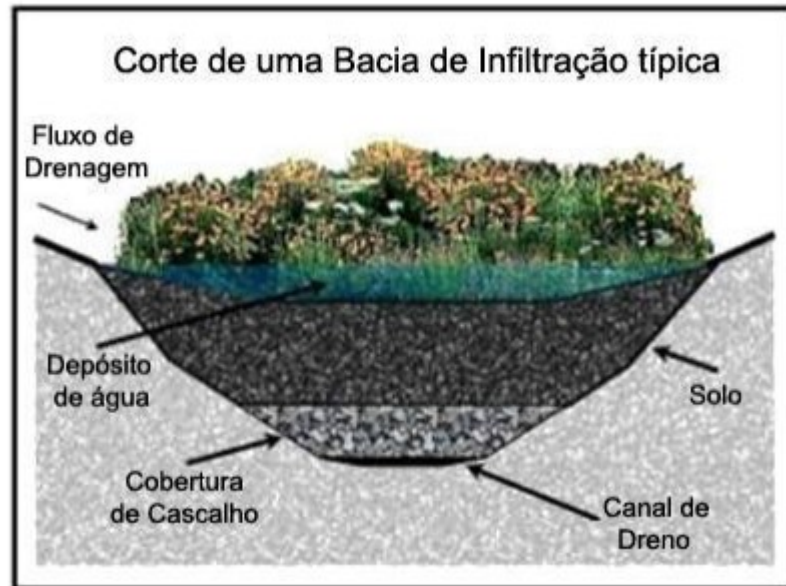


Fonte: Site Ecodebate (2011)

### 3.9 BACIAS DE INFILTRAÇÃO

São zonas planas ajardinadas que retêm a água de chuva até que estas infiltrem no solo por meio da sua base e dos seus lados (BEUX e OTTONI, 2015). A água acumulada acaba infiltrando de forma natural, impedindo que resíduos e poluentes sejam levados pelo escoamento, por se tratar de uma zona verde, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Bacia de infiltração



Fonte: UFJF (2011)

### 3.10 PAVIMENTO PERMEÁVEL E SEMIPERMEÁVEL

É uma alternativa de sistema de captação de água pluvial “in loco”. Como o próprio nome sugere, é um material permeável que possibilita a infiltração e o armazenamento da água de escoamento para um reservatório situado sob a superfície do pavimento.

Esse dispositivo é vantajoso, pois ajuda a reduzir as zonas impermeáveis nos centros urbanos, ideias para estacionamentos, praças e vias de tráfego leve, além de promoverem a recarga de aquíferos subterrâneos.

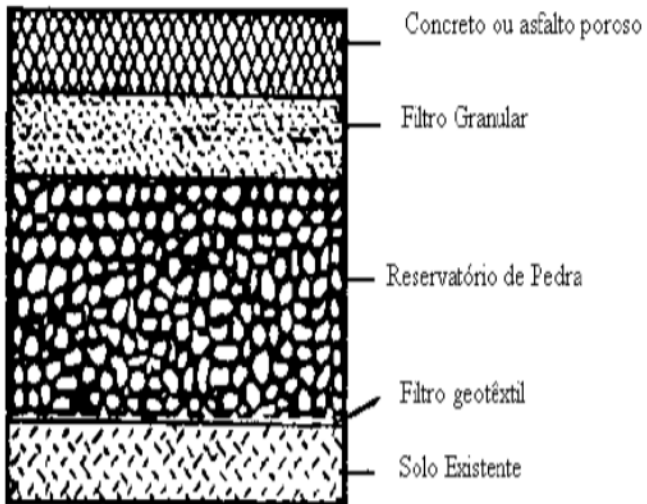
Segundo Urbonas e Stahre (1993), os pavimentos são divididos em três classificações: pavimento de concreto poroso, pavimento semipermeável (Figura 10) e pavimento asfalto poroso (Figura 11).

**Figura 10 — Diferentes modelos de pavimentos semipermeáveis**



**Fonte: Agostinho e Poletto (2012)**

**Figura 11 — Pavimento poroso**



**Fonte: Araujo et al. (2000)**

Outra opção é o Pisograma, Figura 12, também conhecido como pavigrama ou concregrama, é geralmente em formato de grelha e feito de concreto. Especialmente utilizado para áreas verdes em residências, calçadas e passagens devido seu espaço para o plantio de grama (BERALDO, 2016).

**Figura 12 – Exemplo de piso grama na calçada**



**Fonte: Dranaltec (2021)**



**Tabela 1 – Marcação das ruas**

Quadra	Rua (1)	Rua (2)	Rua (3)
1	Av. Souza Naves	R.Alagoas	R.Espírito Santo
2	Av. Rio de Janeiro	R.Alagoas	R.Espírito Santo
3	Av. Sao Paulo	R. Alagoas	R. Espirito Santo
4	Av. Prof Joao Candido	R. Alagoas	R. Espirito Santo
5	R. Pernambuco	R. Alagoas	R. Espirito Santo
6	R. Pref. Hugo Cabral	R. Alagoas	R. Espirito Santo
7	R. Pref. Hugo Cabral	R. Espirito Santo	R. Goias
8	R. Pernambuco	R. Espirito Santo	R. Goias
9	Av. Prof Joao Candido	R. Espirito Santo	R. Goias
10	Av. Sao Paulo	R. Espirito Santo	R. Goias
11	Av. Rio de Janeiro	R. Espirito Santo	R. Goias
12	Av. Souza Naves	R. Espirito Santo	R. Goias

**Fonte: Autoral (2021)**

Essa área foi escolhida em decorrência do acúmulo de água das chuvas causado pela alta impermeabilização do local. Esse fato pode ser atribuído à concentração de prédios, comércios e a existência de instalações públicas, como o cemitério que possui poucas superfícies para promover a infiltração (Figura 14).

**Figura 14 – Alagamento centro de Londrina**

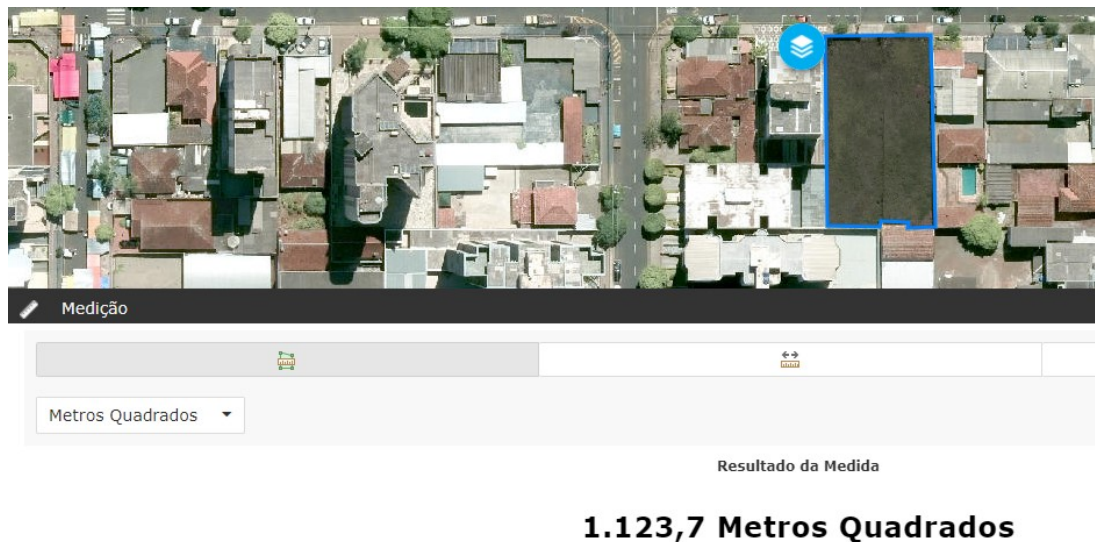
**Fonte: Gustavo Carneiro (2018)**

Optou-se por incluir o cemitério na área em estudo por se tratar de um local com um grande território urbano com área impermeável e com poucos espaços possíveis de infiltração. Porém, observa-se a possibilidade de propostas de drenagem ecológica passível de ser utilizada em áreas de serviço público.

### 3.2 LEVANTAMENTO DAS ÁREAS

A seleção das regiões permeáveis e impermeáveis foi realizada a partir do Sistema de Informação Geográfica de Londrina (SIGLON). Esse portal reúne informações dos aspectos físicos e socio-econômicos, em um banco de dados geográfico. Com a utilização da camada Ortofoto Infraero – 2019/2020 foi possível obter a visualização da cidade de Londrina com fotos de alta resolução tiradas por processos associados a *drones* e de certa forma, atualizadas. A partir da ferramenta de medição executou-se a aproximação das áreas em metros quadrados (Figura 15).

**Figura 15 – Cálculo da área selecionada (SIGLON)**



**Fonte: Siglon (2021)**



Para o cálculo da área impermeável das quadras utilizou-se a Equação 1:

$$\text{Área impermeável} = \text{Área total da quadra} - \text{Área de total permável} \quad \text{Equação-1}$$

### 3.3 CALCULO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Após reunir as áreas desejadas realizou-se o cálculo do coeficiente de escoamento superficial antes e depois da proposta das soluções sustentáveis, desse modo optou-se por fazer o cálculo da média ponderada (Equação 2).

$$C = \frac{C1.A1 + C2.A2 + C3.A3 + \dots + Ci.Ai}{A1 + A2 + A3 + \dots + Ai} \quad \text{Equação-2}$$

Sendo:

C1, C2, C3...Ci = coeficientes de escoamento superficial para as áreas A1+A2+A3+...Ai, respectivamente, adimensional;

A1, A2, A3,...Ai = áreas que possuem coeficientes C1, C2, C3...Ci (m<sup>2</sup>) .

C = coeficiente de escoamento superficial obtido pela média ponderada efetuada, adimensional.

Para o cálculo da média ponderado utilizou-se como referência os valores na Tabela 2, tabela do manual de drenagem urbana do município de Toledo- PR.

**Tabela 2 – Valores de coeficiente de escoamento (C) para superfícies urbanas**

Tipo de Superfície	Valor Recomendado	Faixa de Variação
Concreto, asfalto e telhado	0,95	0,90-0,95
Paralelepípedo	0,70	0,85-0,81
Blockets	0,78	0,70-0,89
Concreto e asfalto poroso	0,03	0,02-0,05
Solo compactado	0,66	0,59-0,79
Matas, parques e campos de esporte	0,10	0,05-0,20
Gramma solo arenoso	0,10	0,08-0,18
Gramma solo argiloso	0,20	0,15-0,30

**Fonte: Manual de Drenagem Urbana – Toledo-Pr**

### 3.4 FÓRMULA DO MÉTODO RACIONAL

A fim de determinar caudais de ponta de cheia na bacia hidrográfica para os períodos de retorno de 2,5 e 10 anos utilizou-se a Equação 3.

$$Q = C \times i \times A$$

**Equação-3**

Sendo:

Q = caudal de ponta de cheia (m<sup>3</sup>/s) para o período de retorno T (anos);

i = intensidade média de precipitação (m/s);

A = área da bacia (m<sup>2</sup>);

C = coeficiente adimensional.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ÁREAS PERMEÁVEIS E IMPERMEÁVEIS

As tabelas 3 e 4 foram organizadas pela sequência das quadras e pela classificação das áreas. As colunas “Área \* (C)” indicam a multiplicação da área da coluna anterior pelo seu coeficiente de escoamento, o qual foi selecionado com o uso da Tabela 1 com os coeficientes de *runoff*.

A área identificada como área verde se refere a todas as superfícies encontradas com vegetação, como jardins e espaços arborizados. Logo, foi adotado o coeficiente de grama de solo argiloso (Tabela 2) para essa categoria. Estacionamentos identificados com brita também foram classificados como áreas permeáveis devido sua capacidade de infiltração.

Assim, para as áreas de estacionamento de brita e solo desnudo que são terrenos aonde o solo não apresenta vegetação, utilizou-se o coeficiente de solo compactado (Tabela 2).

Visando um cálculo mais realístico considerou-se a área do terreno vazio como ocupada, devido sua localização numa região central onde existe grandes possibilidade de sua utilização num futuro próximo. Dessa forma, para estimação de um coeficiente efetivo calculou-se uma média ponderada, imaginando-se que a área do terreno vazio seria ocupada por uma porcentagem 60% de área impermeável com coeficiente igual a 1 e o restante como uma área permeável de coeficiente de 0,66, resultando-se numa média ponderada de 0,86. A Tabela 3 expõe as zonas classificadas como permeáveis após estimativa feita com a ferramenta SIGLON.

**Tabela 3 – Áreas permeáveis das quadras na área de estudo**

Quadra	Área verde (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,20	Solo desnudo (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,66	Estacionamento Brita (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,66	Terreno vazio (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,86	Área total de permeável (m <sup>2</sup> )
1	1205,38	241,08	0,00	0,00	0,00	0,00	396,60	341,08	1601,98
2	394,70	78,94	0,00	0,00	0,00	0,00	571,30	491,32	966,00
3	527,80	105,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	527,80
4	43,00	8,60	1143,00	754,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1186,00
5	444,82	88,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	444,82
6	400,70	80,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,70
7	981,85	196,37	0,00	0,00	221,00	145,86	0,00	0,00	1202,85
8	166,14	33,23	0,00	0,00	0,00	0,00	610,70	525,20	776,84
9	840,84	168,17	0,00	0,00	1178,20	777,61	0,00	0,00	2019,04
10	186,28	37,26	394,10	260,11	0,00	0,00	0,00	0,00	580,38
11	382,30	76,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	382,30
12	399,80	79,96	0,00	0,00	0,00	0,00	1530,00	1315,80	1929,80
Soma	5973,61	1194,72	1537,10	1014,49	1399,20	923,47	3108,60	2673,40	12018,51

Fonte: Autoral (2021)

Com os resultados obtidos da Tabela 3 notou-se que existem quadras com áreas permeáveis que passam de 1500 m<sup>2</sup>, como é o caso da quadra 1, 9 e 12. A quadra 9 apresenta a maior área total permeável de 2019,04 m<sup>2</sup> e a quadra 11 contém a menor áreas com apenas 382,30 m<sup>2</sup> de área infiltrante.

A Tabela 4 expõe a área de cobertura impermeável de cada quadra, as quais assumiu-se o coeficiente de escoamento superficial de 0,95, indicado para concreto, asfalto e telhado. Para a estimacão das áreas impermeáveis buscou-se medir superfícies específicas para a proposição de melhorias posteriormente com os SUDS, assim identificou-se como estacionamento, os estacionamentos acimentados, ou seja, não apresentam um solo drenante, como foi o caso da brita na tabela anterior. Laje para a cobertura dos prédios. E área de piso (quintal de casa, corredor) que seria os fundos das casas e corredores de prédios e comércios como extensão não drenante, como pode-se observar na tabela, essa classificação é mais difícil de ser identificada pela ferramenta SIGLON, diante disso não são todas as quadras que possuem esse dado.

**Tabela 4 – – Áreas impermeáveis das quadras na área de estudo**

Quadra	Estaciona- mento (m <sup>2</sup> )	Laje (m <sup>2</sup> )	Área de piso (quintal de casa, corredor) (m <sup>2</sup> )	Área imper- meavel (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,95	Área total da quadra (m <sup>2</sup> )	Área Total Calçada (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,95	Área total impermeável (m <sup>2</sup> )
1	1326,40	1705,30	0,00	10647,92	10115,52	12249,90	1327,50	1261,13	13577,40
2	1954,90	1411,10	0,00	11537,70	10960,82	12503,70	1340,40	1273,38	13844,10
3	1151,50	2396,90	0,00	11429,40	10857,93	11957,20	1339,50	1272,53	13296,70
4	1516,00	693,70	0,00	10903,50	10358,33	12089,50	1339,50	1272,53	13429,00
5	485,80	2137,80	0,00	11618,08	11037,18	12062,90	1341,30	1274,24	13404,20
6	1675,70	1780,60	0,00	13292,90	12628,26	13693,60	1420,50	1349,48	15114,10
7	2821,47	1945,10	323,60	12472,15	11848,54	13675,00	1428,30	1356,89	15103,30
8	1302,50	1028,00	179,30	11147,76	10590,37	11924,60	1346,10	1278,80	13270,70
9	789,40	1577,60	458,60	10054,46	9551,74	12073,50	1347,00	1279,65	13420,50
10	1751,10	2352,60	106,10	11701,02	11115,97	12281,40	1348,50	1281,08	13629,90
11	1108,90	2059,30	678,10	11676,60	11092,77	12058,90	1342,50	1275,38	13401,40
12	1802,40	575,30	0,00	10270,40	9756,88	12200,20	1352,40	1284,78	13552,60
Soma	17686,07	19663,30	1745,70	136751,89	129914,30	148770,40	16273,50	15459,83	165043,90

**Fonte: Autoral (2021)**

Na quarta coluna da Tabela 4, é possível notar como os valores são maiores para as áreas impermeáveis tendo a quadra 6 com a maior área impermeável sem contar com a área da calçada de 13292,90 m<sup>2</sup> e a quadra 9 com o menor valor de 10054,46 m<sup>2</sup>.

A Tabela 5 contém a porcentagem da área de impermeabilização total para área total de cada quadra. A partir dessa tabela é possível observar que a quadra 6, referida anteriormente, possui 97% de área impermeabilizada, o que representa apenas 3% de região filtrante. Já para a quadra 9, que apresenta o menor valor de área impermeável, seu valor em porcentagem é menor de 83,28%.

**Tabela 5 –Porcentagem de impermeabilização na área de estudo**

Quadra	Porcentagem Impermeabilizada (%)
1	86,92%
2	92,27%
3	95,59%
4	90,19%
5	96,31%
6	97,07%
7	91,20%
8	93,49%
9	83,28%
10	95,27%
11	96,83%
12	84,18%
Média	91,88%

**Fonte: Autoral (2021)**

A Tabela 6 exibe o coeficiente médio de escoamento superficial obtido pela média ponderada (Equação 2), que expõe valores bem altos para sistemas de drenagem urbana, sendo a maioria maior que 0,90, com um valor médio de 0,92. Tendo em vista, que o coeficiente varia de 0 a 1, sendo 0 uma infiltração de 100%, o valor de 0,92 significa que a infiltração bem baixa. O valor mais alto foi da quadra 8 com 0,94 de coeficiente médio de escoamento superficial e os menores valores foram das quadras 1 e 9 de 0,88.

**Tabela 6 – Coeficiente de escoamento superficial médio**

Quadra	C Médio total
1	0,88
2	0,93
3	0,92
4	0,92
5	0,93
6	0,93
7	0,90
8	0,94
9	0,88
10	0,93
11	0,93
12	0,92
Soma	10,99
C médio total	0,92

**Fonte: Autoral (2021)**

A Tabela 7 exibe as extensões coletadas no perímetro do cemitério, que é uma região bem crítica, visto que se comparada com as áreas das quadras, possui a maior superfície não permeável de 54895,60 m<sup>2</sup> e apenas 183,40 metros quadrados de área infiltrante. Por consequência, seu coeficiente médio é de 0,95, valor não alcançado por nenhuma quadra na tabela anteriormente vista.

**Tabela 7 – Áreas do cemitério na área de estudo**

Área verde (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,20	Caminho (m <sup>2</sup> )	Praças de acimentadas (m <sup>2</sup> )	Área das covas (m <sup>2</sup> )	Área total do cemitério impermeavel (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,95	C médio Cemitério
183,40	36,68	5630,70	1208,90	48056,00	54895,60	52150,82	0,95

**Fonte: Autoral (2021)**

## 4.2 PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DOS SUDS

Após análise dos dados levantados, constatou-se a importância de propor um projeto com sistemas sustentáveis de drenagem na região em estudo com a intenção de reduzir as superfícies impermeáveis, logo diminuindo o coeficiente médio de escoamento superficial das quadras e do cemitério.

Para as zonas identificadas na Tabela 4 como estacionamento a solução proposta foi utilizar um sistema de pavimentos permeáveis, trincheira de infiltração (separação de bolsões) e canteiros de arborização (Figura 16).

**Figura 16 – Combinação entre blocos vazados, pisos intertravados e trincheira de infiltração.**



Fonte: Site Ecodebate (2011)



Como denotado na Tabela 4, a zona em estudo incluiu uma vasta extensão de estacionamentos sem infiltração. A Figura 17 mostra dois exemplos, onde a solução sugerida poderia ser empregada na área de estudo.

**Figura 17 – Estacionamentos na área de estudo**



**(a) Estacionamento Mc Donald's**



**(b) Estacionamento farmácia**

**Fonte: Siglon (2021)**

Para as lajes observadas nos topos dos prédios, sugere-se a implantação dos telhados verdes, que além de colaborar com a infiltração da água das chuvas, também é uma estratégia que ajuda na diminuição da temperatura do local devido a presença da vegetação e de sistemas de isolamento da laje.

Na Figura 18 verifica-se um prédio na Rua Espírito Santo esquina com a Rua Pref. Hugo Cabral, o qual poderia ser aplicado um projeto semelhante ao do edifício da *City Hall* de Chicago (Figura 19).

**Figura 18 – Edifício na Rua Espírito Santo**



**Fonte: Siglon (2021)**

**Figura 19 – Telhado verde *City Hall* de Chicago**



**Fonte: Site Oglobo (2015)**

Em todo território em estudo as calçadas não possuem zona permeável, desse modo visando alterar esse cenário para uma opção de drenagem mais sustentável, sugere-se a aplicação de faixa drenante (Figura 20). Esse sistema também será proposto para as áreas classificadas como Área de piso (quintal de casas, corredores etc.).

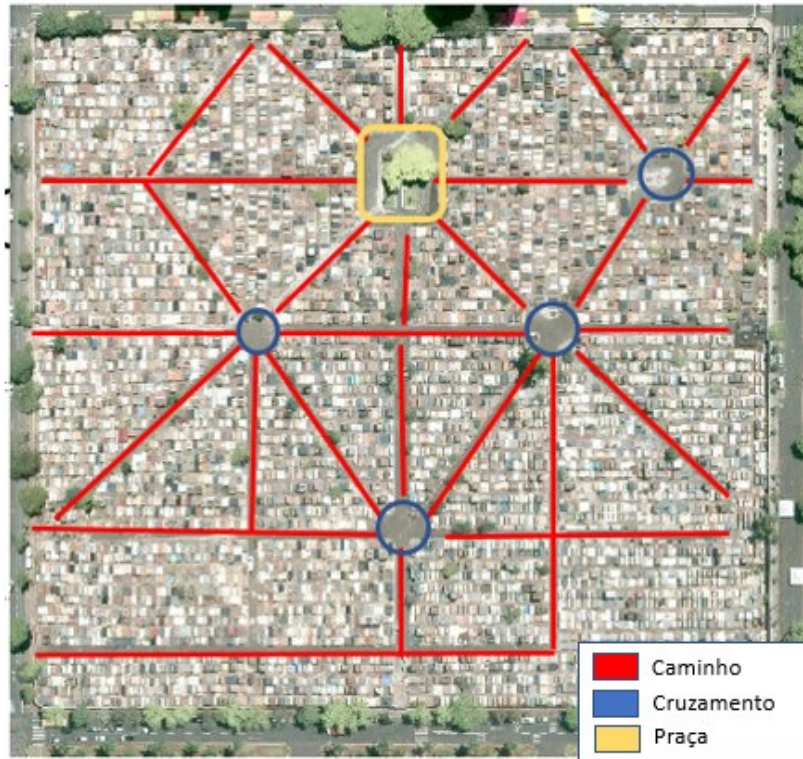
**Figura 20 – Pisograma**



**Fonte: TERACON (2017)**

Recomenda-se a utilização desse sistema na zona do cemitério configurada por meio de caminhos e cruzamentos (Figura 21).

Figura 21 – Imagem área do cemitério



Fonte: Autoral (2021)

#### 4.3 ÁREAS PERMEÁVEIS E IMPERMEÁVEIS DEPOIS DAS PROPOSTAS DE SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS

Para as áreas com sugestões de modificações para sistemas sustentáveis de drenagem urbana foram recalculadas as médias ponderadas com novos coeficientes de escoamento superficial.

Para as áreas permeáveis iniciais reduziu-se somente o coeficiente de escoamento dos terrenos vazios, tendo em vista a situação crítica da região como um todo, assim, sugere-se uma alteração nas exigências de construção dessa zona no futuro. A porcentagem da área impermeável foi reduzida para 40% do total, por consequência o uso de 60% da área como permeável com um coeficiente de escoamento menor do que o inicial de 0,50, resultando-se no valor de 0,70 usado como coeficiente dos terrenos vazios (Tabela 8).

**Tabela 8 – Áreas permeáveis das quadras na área de estudo após proposta**

Quadra	Área verde (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,20	Solo desnudo (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,66	Estacionamento Brita (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,66	Terreno vazio (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,70
1	1205,38	241,08	0,00	0,00	0,00	0,00	396,60	277,62
2	394,70	78,94	0,00	0,00	0,00	0,00	571,30	399,91
3	527,80	105,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	43,00	8,60	1143,00	754,38	0,00	0,00	0,00	0,00
5	444,82	88,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	400,70	80,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	981,85	196,37	0,00	0,00	221,00	145,86	0,00	0,00
8	166,14	33,23	0,00	0,00	0,00	0,00	610,70	427,49
9	840,84	168,17	0,00	0,00	1178,20	777,61	0,00	0,00
10	186,28	37,26	394,10	260,11	0,00	0,00	0,00	0,00
11	382,30	76,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	399,80	79,96	0,00	0,00	0,00	0,00	1530,00	1071,00
<b>TOTAL</b>	<b>5973,61</b>	<b>1194,72</b>	<b>1537,10</b>	<b>1014,49</b>	<b>1399,20</b>	<b>923,47</b>	<b>3108,60</b>	<b>2176,02</b>

**Fonte: Autoral (2021)**

Para as áreas de estacionamento, área de piso e calçada assumiu-se o coeficiente de solo compactado. A proposta para essas três áreas são a utilização de pavimentos permeáveis. Mas para a sua construção, o solo é compactado antes da inserção, seja para o pavimento permeável ou para o piso grama, sendo essa a explicação do coeficiente de escoamento superficial de 0,66 (Tabela 9).

**Tabela 9 – Novas áreas permeáveis na área de estudo após proposta**

Quadra	Estaciona- mento (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,66	Laje (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,60	Área de piso (quintal de casa, corredor) (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,66	Área Total Calçada (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,66	Área de permeável (m <sup>2</sup> )
1	1326,40	875,424	1705,30	1023,18	0,00	0,00	1327,50	876,15	4359,20
2	1954,90	1290,234	1411,10	846,66	0,00	0,00	1340,40	884,66	4706,40
3	1151,50	759,99	2396,90	1438,14	0,00	0,00	1339,50	884,07	4887,90
4	1516,00	1000,56	693,70	416,22	0,00	0,00	1339,50	884,07	3549,20
5	485,80	320,628	2137,80	1282,68	0,00	0,00	1341,30	885,26	3964,90
6	1675,70	1105,962	1780,60	1068,36	0,00	0,00	1420,50	937,53	4876,80
7	2821,47	1862,1702	1945,10	1167,06	323,60	213,58	1428,30	942,68	6518,47
8	1302,50	859,65	1028,00	616,8	179,30	118,34	1346,10	888,43	3855,90
9	789,40	521,004	1577,60	946,56	458,60	302,68	1347,00	889,02	4172,60
10	1751,10	1155,726	2352,60	1411,56	106,10	70,03	1348,50	890,01	5558,30
11	1108,90	731,874	2059,30	1235,58	678,10	447,55	1342,50	886,05	5188,80
12	1802,40	1189,584	575,30	345,18	0,00	0,00	1352,40	892,58	3730,10
Soma	17686,07	11672,81	19663,30	11797,98	1745,70	1152,16	16273,50	10740,51	55368,57

**Fonte: Autoral (2021)**

Já para as áreas classificadas como Laje, que seriam o topo dos edifícios com a proposta de implementação de telhados verdes, o coeficiente utilizado foi originado de um estudo realizado por Araújo et al. (2014), em que se trabalhou com telhados verdes constatando-se uma infiltração variável entre 33% à 54%, logo a média de infiltração foi de 44%. Desse modo, a taxa de escoamento utilizada está associada a aproximadamente uma infiltração de 56%, aproximando-se um coeficiente de 0,60. A tabela 10 mostra os valores das áreas impermeáveis, que para melhor análise foi criado a Tabela 11 de comparação em porcentagem.

**Tabela 10 - Áreas impermeáveis na área de estudo após proposta**

Quadra	Área da quadra (impermeável) (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,95	Área total da quadra (m <sup>2</sup> )
1	7616,22	7235,41	12249,90
2	8171,70	7763,12	12503,70
3	7881,00	7486,95	11957,20
4	8693,80	8259,11	12089,50
5	8994,48	8544,76	12062,90
6	9836,60	9344,77	13693,60
7	7381,98	7012,88	13675,00
8	8637,96	8206,06	11924,60
9	7228,86	6867,42	12073,50
10	7491,22	7116,66	12281,40
11	7830,30	7438,79	12058,90
12	7892,70	7498,07	12200,20
Soma	97656,82	92773,98	148770,40

**Fonte: Autoral (2021)**

A porcentagem de área impermeabiliza antes e depois das propostas dos sistemas sustentáveis de drenagem urbana resultou na diminuição da porcentagem inicial de 91,88% para 65,72%, representando uma redução de 26,16%. Tendo em vista esse resultado, pode-se considerar-se uma diminuição significativa, pois no cenário final a porcentagem de permeabilização já é maior que 20% que é a porcentagem normalmente recomendada como limite mínimo (Tabela 11).

Tabela 11 – Comparação da percentagem de impermeabilização

<b>Percentagem de área impermeável (Inicial)</b>		<b>Percentagem de área impermeável (Final)</b>	
Quadra	Percentagem Impermeabilizada (%)	Quadra	Percentagem Impermeabilizada (%)
1	86,92%	1	62,17%
2	92,27%	2	65,35%
3	95,59%	3	65,91%
4	90,19%	4	71,91%
5	96,31%	5	74,56%
6	97,07%	6	71,83%
7	91,20%	7	53,98%
8	93,49%	8	72,44%
9	83,28%	9	59,87%
10	95,27%	10	61,00%
11	96,83%	11	64,93%
12	84,18%	12	64,69%
<b>Média</b>	<b>91,88%</b>	<b>Média</b>	<b>65,72%</b>

Fonte: Autoral (2021)

A partir dos resultados da Tabela 8,9 e 10, recalculou-se o C médio para cada quadra, obtendo-se um novo C médio total com as diferentes propostas de drenagem urbana ecológica associada as soluções propostas (Tabela 12).



Tabela 12 – Comparação do coeficiente de escoamento superficial total

C Médio total (Inicial)		C Médio total (Final)	
Quadra	C Médio	Quadra	C Médio
1	0,88	1	0,78
2	0,92	2	0,81
3	0,92	3	0,80
4	0,92	4	0,84
5	0,93	5	0,83
6	0,93	6	0,83
7	0,90	7	0,76
8	0,94	8	0,84
9	0,88	9	0,78
10	0,93	10	0,80
11	0,93	11	0,81
12	0,92	12	0,82
Soma	10,99	Soma	9,71
C médio total	0,92	C médio total	0,81

Fonte: Autoral (2021)

Comparando-se o C médio da primeira tabela inicial com o C médio do resultado após a proposta, é possível analisar uma diminuição no coeficiente de escoamento superficial de 0,11 unidades, o que já pode ser considerado bastante significativo. A quadra 4 e 8, apesar das propostas implementadas, apresentaram valor mais alto de impermeabilização igual a 0,84, porém, continua mais baixo do que a média dos coeficientes no cenário inicial. Essa melhora no sistema de drenagem urbana superficial pode ser alcançada pela aplicação de soluções ecológicas de drenagem urbana.

Para o cenário do cemitério, as mudanças propostas foram para as zonas identificadas como caminhos e cruzamentos. A Tabela 13 mostra a comparação dos valores antes e depois da proposta da implementação dos SUDS. O seu coeficiente médio apresentou uma redução de apenas 0,04, comparada com a diminuição do coeficiente de escoamento superficial médio das quadras não é muito significativo. Essa

menor redução é em razão do cemitério conter na maior parte da sua extensão áreas impermeáveis aonde não é possível a implementação de técnicas como a dos SUDS, como é o exemplo das áreas das covas. Visto esse resultado, sugere-se a investigação de outros sistemas sustentáveis de drenagem urbana para as áreas possíveis de modificação, tendo como objetivo a maior redução do coeficiente de escoamento superficial.

**Tabela 13 – Comparação das áreas do cemitério na área de estudo**

Área Cemitério (Inicial)								
Área verde (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,20	Caminho (m <sup>2</sup> )	Praças de acimentadas (m <sup>2</sup> )	Área das covas (m <sup>2</sup> )	Área total do cemitério impermeavel (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,95	C médio Cemitério	
183,40	36,68	5630,70	1208,90	48056,00	54895,60	52150,82	0,95	
Área Cemitério (Final)								
Área verde (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,20	Caminho (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,66	Praças de acimentadas (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,66	Área das covas (m <sup>2</sup> )	Área * (C) 0,95	C médio Cemitério
183,40	36,68	5630,70	3716,26	1208,90	797,87	48056,00	45653,20	0,91

**Fonte: Autoral (2021)**

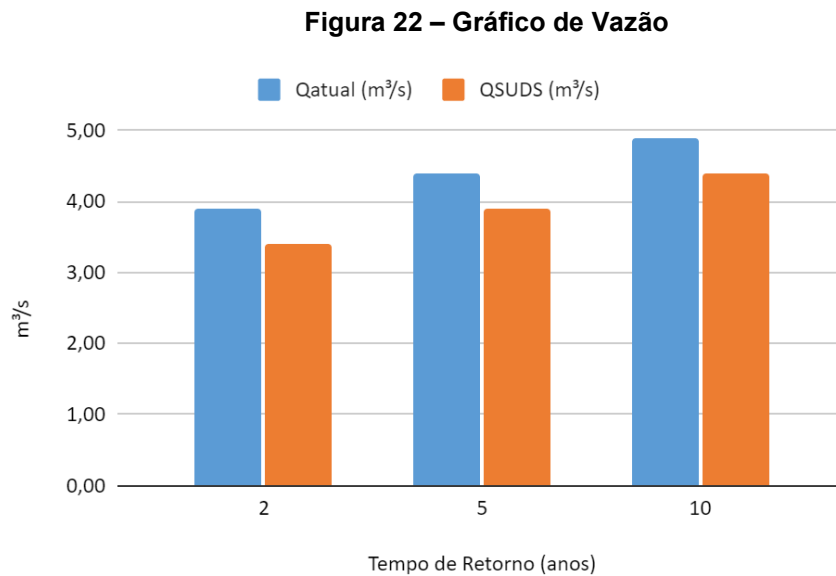
Utilizando o método racional e os dados da Tabela 14, calculou-se o caudal de ponta de cheia para o período de retorno de 2, 5 e 10 anos.

**Tabela 14 – Vazão da área de estudo**

TR (anos)	I (mm/h)	Qatual (m <sup>3</sup> /s)	QSUDS (m <sup>3</sup> /s)
2	92,69	3,90	3,40
5	106,15	4,40	3,90
10	117,62	4,90	4,40

**Fonte: Autoral (2021)**

Dessa forma, o gráfico (Figura 22) expõe uma previsão da vazão para um tempo de duração de chuva próximo de 15 minutos em dois cenários. Em azul, a vazão com o sistema atual de drenagem urbana e em laranja com a implementação dos SUDS, que durante os três períodos de retorno apresentou os menores valores.



**Fonte: Autoral (2021)**

## 5. CONCLUSÕES

Ao analisar o contexto da região utilizando a ferramenta do SIGLON, foi possível estimar as áreas impermeáveis e permeáveis do local, em que se calculou uma média de 91,88% de terrenos impermeáveis nas quadras estudadas. Esse resultado comprova a insustentabilidade do sistema de drenagem atual, visto que a área para infiltração da água da chuva é menor que 10% por quadra.

Após análise dos cálculos das tabelas, estimou-se uma redução do escoamento superficial antes e depois das soluções de drenagem ecológica equivalente a 0,11, nas quadras. Da mesma forma, ao analisar o caudal de cheia para os três períodos de retorno, os SUDS mostraram os menores valores, o que demonstra a eficiência e a vantagem de implantar os sistemas sustentáveis de drenagem urbana em regiões de pouca permeabilidade.

Porém no cemitério a redução foi de apenas 0,04, por apresentar na sua maior parte uma área impermeável aonde não é possível a implementação de alternativas sustentáveis. Assim sugere-se a investigação de outras técnicas dos SUDS mais efetivas para aumentar a drenagem no local.

Diante disso, compreende-se que, para amenizar as ocorrências de alagamentos em Londrina, as medidas mostradas nesse estudo se mostram positivas. Entretanto, para maior incentivo da implantação desses sistemas que podem ocasionar a diminuição do coeficiente de escoamento é necessária a adoção de políticas de revitalização do solo e do ecossistema hídrico a partir do ciclo hidrológico natural.

## 6. REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, M. S. P.; POLETO, C. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. **HOLOS Environment**, v. 12, n. 2, p. 121-131, 2012.

AGRA, S.; SILVA JÚNIOR, O. 1999a. Caracterização da problemática das cheias na bacia do Tabuleiro dos Martins - Maceió/ AL. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13, 199, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte 13p. cd-rom.

ALMEIDA, I. C. **Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: uma proposta para a bacia hidrográfica do córrego São Pedro, em Juiz de Fora – MG**. 2020. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Faculdade de Engenharia Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora – Mg, 2020.

ARAÚJO, A. P. C. S. *et al.* Balanço hídrico de sistema modular para telhado verde. **Enciclopédia Biosfesra**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 636-642, jul. 2014. Disponível em:

<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/BALANCO%20HIDRICO.pdf>.

Acesso em: 28 nov. 2021

ARAÚJO, S. R. **As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. 2007. 21 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Florestal, Ufrj, Seropédica-Rj, 2007. Disponível em: <https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2015/03/Funcoes-dos-Telhados-Verdes-no-Meio-Urbano.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2021.

BARROS, M. T. L. de. **Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento**. In: PHILIPPI JR, A. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005.

BERALDO, A. C. **Parque Urbano Em Buritama** – Sp. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Arquitetura e Urbanismo). Centro Universitário Toledo Araçatuba .55 p, 2016.

BEUX, F. C.; OTTONI, A. B. Métodos alternativos de drenagem a partir da retenção e infiltração das águas de chuva no solo, visando a redução das enchentes urbanas. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 17, p. 01-13, 2015.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações hidráulicas e projeto Dearquitetura**. 3° ed; São Paulo. Editora Blucher. 2010, p.159.

COSTA, J.; ALEANDRI, G.A.; POLETO, C. **Esperimental Studies of Green Roof Systems as part of Sustainable Urban Wetershed in order to minimize the problems of flooding**. In: 12nd lternational Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/ Brazil. 2011.

IBGE, **População Rural e Urbana. 2015**. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>. Acesso em: 11 julho. 2021.

IBGE, **Cidades e Estados. 2020**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/londrina.html>. Acesso em: 16 de agosto. 2021.

GARRIDO NETO, P. S.; VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G.. Sistemas de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil. **Brazilian Journal Of Development**. Curitiba, p. 18743-18759. out. 2019.

GONÇALVES, F. T.; NUCCI, J. C. **Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): propostas para a bacia do Rio Juvevê**, Curitiba-PR. **Ra'e Ga**, Curitiba, v. 42, p. 192-209, dezembro 2017.

HENEINE, M. C. A.S. **Cobertura Verde**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 49 p., 2008.

JONES, P.; MACDONALD, N. Making space for unruly water. Sustainable drainage systems and the disciplining of surface runoff. **Geoforum**, n 38. p. 534-544, 2007.

LOURENÇO, R. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis**. 2014. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. Introdução à hidrogeografia. São Paulo: Cengage Learning, 2012. MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente**. 2012

OLIVEIRA, D. B.; RODRIGUES, T. **Sistema de captação de águas pluviais em habitação popular para reutilização em bacia sanitária e torneira de serviços**. 2014. 53 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, Caratinga, 2014.

OLIVEIRA, L. F. G. S. **Dimensionamento e Análise de desempenho Hidráulico de Estacionamentos com Drenagem Convencional e Pavimento Permeável, Apoiado por Modelagem Computacional**. 2018. 79 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Ufrj, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024938.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

PÔMPEO C. A. Drenagem Urbana Sustentável. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 5 n. 1 Jan/Mar 200, 15-23.

POLETO, C. SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica. **Revista Thema**, v. 8, n. 1, 2011.

SANTOS JÚNIOR, V. J. *et al.* A Evolução da Urbanização e os Processos de Inundações Urbanas. **Estação Científica (Unifap)**, Macapá, v. 3, n. 1, p. 20-30, jun. 2013. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/estacao/article/view/734>. Acesso em: 25 jul. 2021.

SILVA, N.C. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. 2011. 60 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Ufmg, Belo Horizonte, 2011.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO MUNICÍPIO DE TOLEDO DO ESTADO DO PARANÁ. *Manual de drenagem urbana*. Toledo -PR, 2017. 37 p. v. 1.

SOUZA, V. C. B. Gestão urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 1, p. 57-72, 2013. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7105>. Acesso em: 31 jul. 2021.

SPANGENBERG, J. **Melhoria do clima urbano nas metrópoles tropicais - Estudo de caso**. Disponível em: [http://www.basis.id.de/site2006/science/01\\_Spangenberg\\_IMPROVEMENT%20OF%20URBAN%20MICROCLIMATE%20IN%20TROPICAL%20METROPOLIS.pdf](http://www.basis.id.de/site2006/science/01_Spangenberg_IMPROVEMENT%20OF%20URBAN%20MICROCLIMATE%20IN%20TROPICAL%20METROPOLIS.pdf) – Site traduzido. Acesso em: 29 novembro de 2021.

TELES, C. H. S. **Impactos do Planejamento no Custo Final de Uma Obra**. 2006. 76 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.



TOMAZ, P. **Curso de Manejo de águas pluviais**. Guarulhos: Livro Eletrônico, 2010. 1300 p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/20948920-Curso-de-manejo-de-aguas-pluviais.html>. Acesso em: 28 nov. 2021.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: Tucci C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. - Porto Alegre: Editora da UFRS: ABRH, 2004. cap. 11, p. 391-441 (Coleção ABRH de recursos hídricos; v.4).

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007, 393p.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. Porto Alegre: Estudos Avançados 22 (63), 2008, 122p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. CEPAL, Brasília, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48).

TUCCI, C. E. M. Parâmetros do Hidrograma Unitário para bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Porto Alegre**: RBRH, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 195-199. 2003. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/arthu03.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2021.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. (Org.) ; BARROS, M. T. (Org.) . **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) e ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995.

URBONAS, B.; STAHR, P. 1993. **Stormwater**: best management practices and detention for water quality. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 450p.

VASCO, J.R.J. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2016.

WOODS-BALLARD, B. et al. **The SuDS Manual**. 5. ed. London: CIRIA, 2015.

WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; JEFFERIES, C.; BRAY, R.; SHAFFER, P. **The SuDS Manual**. Londres: CIRIA, 2007.