



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



VITOR BOASORTE ALVES MOREIRA

**Análise do impacto de descargas de águas pluviais em um corpo receptor: Estudo de caso de um loteamento em São Carlos – SP**

SÃO CARLOS - SP

Dezembro/2025

VITOR BOASORTE ALVES MOREIRA

**Análise do impacto de descargas de águas pluviais em um corpo receptor: Estudo de caso de um loteamento em São Carlos – SP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.º Erich Kellner

São Carlos - (SP)

2025

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a minha formação, e conseqüentemente, para a realização do meu trabalho de conclusão de curso. Meus pais, Ivanete Boasorte Moreira e Sérgio Antônio Alves Moreira, sempre me acompanharam na minha jornada acadêmica, me proporcionando tudo de melhor, e a educação sempre foi uma prioridade na minha formação como pessoa.

Na graduação fiz parte do Centro Acadêmico de Engenharia Civil, onde pude me desenvolver tanto em aspectos técnicos, como de relações interpessoais. Tive a oportunidade de ocupar cargo de Diretor de Marketing, Presidente e Diretor de Gestão de Pessoas. Por isso, agradeço imensamente a todos que fizeram parte desse grupo enquanto estive lá.

Não posso deixar de agradecer à todas as empresas que abriram as suas portas para que eu pudesse ter as minhas primeiras experiências no mercado de trabalho como estagiário. Então, agradeço à Soleteto, Hidrosan e Afonso França, por me proporcionarem experiências que jamais serão esquecidas. Dedico esse trabalho à memória de Sérgio Ruzzante Geraldês, que foi um professor profissional e de vida, e essencial para a formação desse trabalho.

Por fim, agradeço aos meus amigos e pessoas especiais que estão à minha volta desejando meu bem, disponibilizando tempo de apoio, descontração, divertimento e aprendizado. Em especial, aos meus amigos que dividiram seus lares comigo na República Sem Arrastar, proporcionando mais um ambiente de desenvolvimento pessoal.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

Este trabalho tem como tema o aumento da vazão de um corpo receptor causado por águas de chuvas. Os impedimentos ambientais enfrentados pela sociedade na implementação da engenharia ainda são muito recorrentes, mesmo com os avanços tecnológicos. Situações como essas ficam estampadas, por exemplo, na transformação do solo natural em loteamentos para usos diversos, já que a ocupação do solo e expansão territorial são eminentes, mesmo alterando a situação natural do escoamento de águas pluviais. Sendo assim, torna-se necessário analisar o impacto de novos empreendimentos imobiliários para a ordem natural do escoamento de águas de chuva, assim como a eficácia de métodos de redução das vazões adicionais, como bacias de retenção. Para isso, será estudado um córrego localizado na cidade de São Carlos que é o destino final da drenagem de um loteamento vizinho, com população inferior a limite.

**Palavras-chave:** Águas Pluviais. Vazão. Corpo Receptor. Empreendimento Imobiliário. Bacia de Detenção.

## **ABSTRACT**

This study addresses the increase in peak discharge in a receiving watercourse resulting from stormwater runoff. Despite technological advancements, environmental restrictions encountered during the implementation of engineering solutions remain significant. These challenges become evident in the conversion of natural terrain into urban developments, as land occupation and territorial expansion modify the hydrological response of the watershed and alter natural runoff patterns. Given this context, it is essential to evaluate the hydrological impacts generated by new urban developments on downstream drainage systems, as well as the effectiveness of mitigation measures aimed at controlling additional flows, such as detention basins. The analysis focuses on a stream located in the municipality of São Carlos, which receives the stormwater drainage from an adjacent residential development with population density below regulatory limits.

**Key-words:** Stormwater. Peak Discharge. Receiving Watercourse. Urban Development. Detention Basin.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do ciclo hidrológico .....	17
Figura 2 - Bacia de detenção com vegetação .....	24
Figura 3 - Vegetação típica da região .....	30
Figura 4 - Bambuzal para isolamento de propriedade privada .....	30
Figura 5 - Vista jusante do corpo receptor .....	31
Figura 6 - Vista montante do corpo receptor .....	31
Figura 7 - Dispositivo de dissipação de energia .....	32
Figura 8 - Disposição final no corpo receptor .....	32
Figura 9 - Comparativo da área do empreendimento com a área da bacia ....	35
Figura 10 - Seção transversal do córrego .....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes "C" de Runoff .....	18
---	----

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Tempo de concentração DAEE.....	19
Equação 2 - Equação de Chuva de São Carlos de Barbassa.....	19
Equação 3 - Equação de Chuva de São Carlos de Brito e Kellner.....	20
Equação 4 - Índice de compacidade.....	20
Equação 5 - Índice de conformação.....	21
Equação 6 - Densidade de drenagem.....	21
Equação 7 - Vazão, área e velocidade.....	22
Equação 8 - Método racional.....	22
Equação 9 - Equação de manning.....	23

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

LID - Low Impact Development

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

PV - Poço de Visita

CP - Caixa de Passagem

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>3 OBJETIVO</b> .....	<b>15</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
4.1 <b>ÁGUA PLUVIAL</b> .....	16
4.1.1 <b>Ciclo Hidrológico</b> .....	<b>16</b>
4.1.2 <b>Escoamento Superficial</b> .....	<b>17</b>
4.1.3 <b>Tempo de Concentração</b> .....	<b>18</b>
4.1.4 <b>Intensidade de Precipitações</b> .....	<b>19</b>
4.1.5 <b>Bacias Hidrográficas</b> .....	<b>20</b>
4.1.5.1 <b>Forma das Bacias Hidrográficas</b> .....	20
4.1.5.2 <b>Capacidade de Drenagem</b> .....	21
4.2 <b>CARACTERÍSTICAS DE UM CORPO RECEPTOR</b> .....	21
4.2.1 <b>Vazão</b> .....	<b>21</b>
4.3 <b>TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS</b> .....	23
4.3.1 <b>Bacias de Detenção</b> .....	<b>23</b>
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
5.1 <b>ANÁLISE VISUAL DA REGIÃO ESTUDADA</b> .....	25
5.2 <b>SIMULAÇÃO DO PROJETO DE DRENAGEM DO EMPREENDIMENTO</b> .....	25
5.2.1 <b>Coeficiente de Runoff</b> .....	<b>25</b>
5.2.2 <b>Intensidade de precipitação na bacia</b> .....	<b>26</b>
5.2.3 <b>Determinação da área da bacia</b> .....	<b>26</b>
5.2.4 <b>Vazão de projeto</b> .....	<b>26</b>
5.3 <b>ANÁLISE DE RESULTADO E COMPARAÇÃO COM O PROJETO EXECUTADO</b> .....	27
5.4 <b>ANÁLISE DO IMPACTO DO EMPREENDIMENTO NA BACIA</b> .....	27

<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
6.1 ANÁLISE VISUAL DA BACIA.....	29
6.2 PROJETO DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS .....	33
<b>6.2.1 Intensidade da chuva.....</b>	<b>33</b>
<b>6.2.1 Vazão.....</b>	<b>34</b>
6.3 DIMENSIONAMENTO DO TANQUE DE DETENÇÃO .....	34
6.4 IMPACTO DO EMPREENDIMENTO NA BACIA AFETADA.....	35
<b>7 ANÁLISES E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral o impacto ambiental causado pela engenharia civil. A expansão da sociedade gera a demanda de novas áreas de ocupação, e assim torna-se inevitável a impermeabilização do solo com asfalto, concreto e outros materiais.

Dessa forma, há uma alteração na quantidade de água que escoar em relação a quantidade que infiltra no solo. Conclui-se então, que com a implantação de novos empreendimentos traz um aumento na vazão de águas pluviais dentro de uma bacia hidrográfica. Segundo Lourenço (2014), esse novo uso do solo, ainda influencia diretamente na redução do tempo de concentração das águas de chuva, que os corpos receptores podem não estar preparados para absorver essa nova vazão, e assim, gerando enchentes e inundações.

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) (2016) entende que a inundação é “o processo em que ocorre a submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas”, e assim apontando o fenômeno em si, sem buscar as causas e consequências disso. Por outro lado, a Defesa Civil (2017) já explica a inundação como um fenômeno causado diretamente pela drenagem deficiente, que pode ter sofrido o efeito antrópico ou não.

No entanto, com a evolução da engenharia, também há um impulsionamento com as questões ambientais, havendo cada vez mais estudos para reduzir o impacto na ordem natural. Exemplo disso são as bacias de retenção ou tanques de retenção. Essas técnicas são empregadas para compensar as alterações anteriormente causadas pela impermeabilização do solo e conseqüentemente no tempo de concentração. Sendo assim, mesmo com o aumento da vazão pluvial, há uma contenção da água que chega no corpo receptor para não alterar de forma bruta as características hidráulicas e geométricas do corpo receptor.

Apesar da popularização de práticas como *low impact development* (LID), ou seja, desenvolvimento de baixo impacto ou técnicas compensatórias ao redor do mundo, como células de biorretenção, telhado verde e pavimentos impermeáveis, no Brasil ainda se faz uso em grande escala do método mais tradicional. O surgimento dos primeiros reservatórios de retenção começou por volta dos anos de 1950, em Minas Gerais, e são funcionais até hoje, segundo Nascimento e Baptista (*apud* FRANCO, 2004).

São Carlos, um município do interior paulista, sofre constantemente com a inundação de seus córregos, e por anos consecutivos, as chuvas críticas vem trazendo prejuízos materiais e humanos para a sociedade. Já em 2011, foi elaborado o primeiro plano para atender as demandas de microdrenagem e macrodrenagem da cidade. No entanto, esse projeto não foi atendido, a cidade de São Carlos precisaria de 13 barragens já que a cidade não tem galerias e bueiros que suportam chuva, segundo o especialista Swami Marcondes Vilela durante fala na prefeitura em apresentação do plano diretor de drenagem urbana (2007).

## **2 JUSTIFICATIVA**

Levando em consideração os fatos apontados, se torna necessário analisar o volume de água causado pela implantação de novos empreendimentos imobiliários que é lançado nos corpos receptores, haja vista que técnicas compensatórias são empregadas com o intuito de mitigar as alterações no ciclo hidrológico. Sendo assim, o trabalho se justifica na contribuição do entendimento da problemática da drenagem urbana na cidade de São Carlos.

### **3 OBJETIVO**

Por meio da análise da microdrenagem de parte da Bacia hidrográfica do Mogi Guaçu, avaliar se o sistema adotado para compensar a ocupação urbana está sendo eficaz, mantendo as características hidráulicas e geométricas do corpo receptor durante condições chuvosas de antes da instalação do empreendimento em questão.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

De início é importante estabelecer alguns conceitos que serão abordados ao longo do trabalho, e ainda, serão utilizados na metodologia do estudo de caso.

### 4.1 ÁGUA PLUVIAL

À medida que a sociedade evoluiu, ocupando novas áreas e locais diversos, as cidades foram se aglomerando em torno de rios, devido a necessidade do uso na agricultura, para consumo, higiene, transporte e energia. Sendo assim, a convivência ao redor de cursos d'água levou ao enfrentamento de situações não costumeiras, causadas principalmente pelas chuvas, como as enchentes, inundações e modificações nas características de escoamento.

Sendo assim, é necessário entender o funcionamento das águas das chuvas, também conhecidas como águas pluviais, que acabam escoando e sendo levadas naturalmente aos rios devido à topografia. Com isso, o impacto ambiental poderá ser estudado e analisado a viabilidade de mitigação dos efeitos negativos.

#### 4.1.1 Ciclo Hidrológico

O termo ciclo hidrológico compreende a ideia da circulação fechada da água, se movimentando entre a superfície terrestre e a atmosfera. Esse fenômeno ocorre no globo inteiro e tem como principais impulsionadores a energia solar, a rotação da terra e a gravidade.

De acordo com Erich Kellner (2022), o ciclo hidrológico pode ser dividido nas seguintes fases a depender do estado físico da água e localização da atmosfera ou superfície:

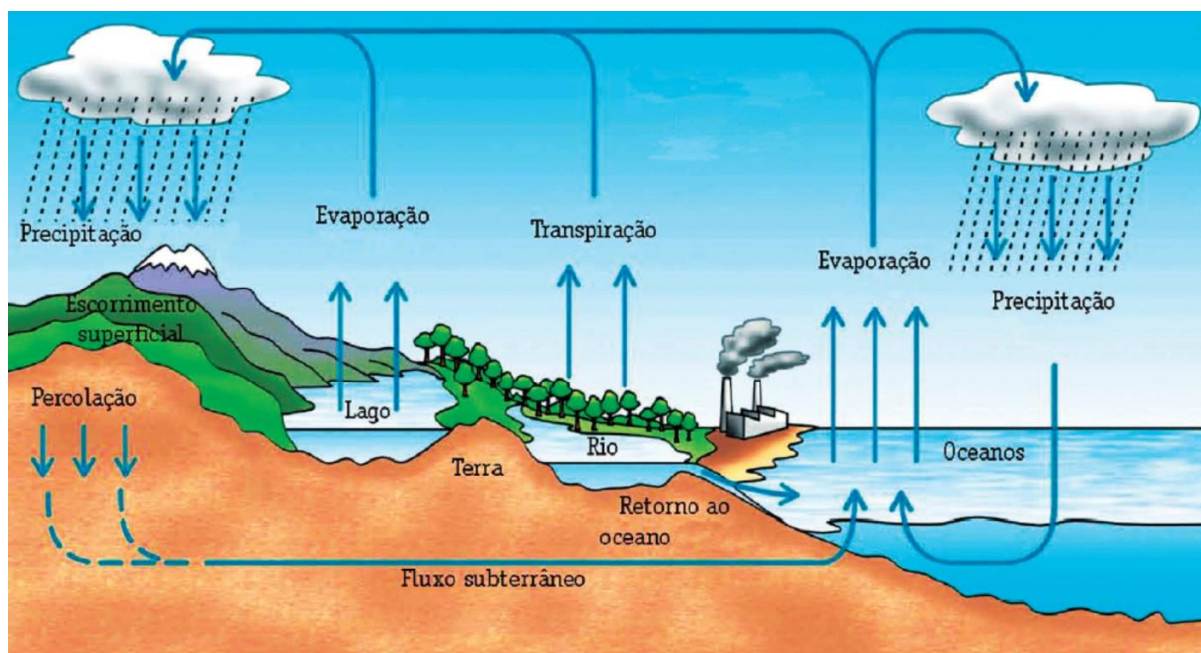
- a) Evaporação: é um processo natural, em que a água presente na superfície da terra passa do estado líquido para o estado gasoso, através do aumento de sua temperatura, seja pela ação do sol ou induzido pelo ser humano.
- b) Evapotranspiração: é a evaporação da água que é liberada na transpiração dos vegetais que absorve a água presente no solo e a transporta até as folhas em que ocorre a transpiração.
- c) Condensação: é o processo físico em que a água passa do estado gasoso para o líquido, estando presente na atmosfera e se acumulando na formação de nuvens.
- d) Precipitação: refere-se ao volume de água acumulado na atmosfera que

retorna à superfície terrestre por meio de chuvas, granizos, orvalhos, etc.

- e) Escoamento superficial: trata-se da parcela da água precipitada que cai sobre a superfície e se desloca buscando um ponto baixo graças à gravidade.
- f) Infiltração: é a parcela da água precipitada que cai sobre a superfície e é absorvida pelo solo, e é armazenada nos lençóis freáticos, ou reabsorvida pela vegetação.

O ciclo é bem ilustrado na Figura 1 a seguir, contemplando todas as etapas, com exceção da condensação que é o processo de formação de nuvens.

Figura 1 - Representação do ciclo hidrológico



(Fonte: SEESP, 2004)

#### 4.1.2 Escoamento Superficial

O escoamento superficial necessita de mais atenção, já que é fator determinante para o aumento da vazão e características de um corpo receptor. Sendo assim, é necessário identificar a parcela da água precipitada que será escoada.

Desde os primórdios, o desafio foi entender a quantidade de água que seria escoada, iniciando-se com Pierre Perrault e Edmé Mariotte, no século XVII, que estimaram que a vazão de água escoada é de 16% da precipitação (TUCCI, 2007). A precisão começou a aumentar quando nos séculos XIX e XX foram surgindo medições

sistemática de precipitação e vazão escoada, com toda metodologia, desenvolvimento teórico e experimental da hidráulica, e assim se aproximando da realidade dos dados.

Hoje em dia, entende-se que a depender das condições de ocupação, a vazão escoada será diferente. Então, adota-se um coeficiente “C” de runoff, que é estimado com base de dados empíricos. A tabela 1 a seguir são valores estimados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Tabela 1 - Coeficientes “C” de Runoff

Descrição da área	Valores de C
<b>Áreas residenciais</b>	
Residências isoladas	0,35 a 0,50
Unidades múltiplas (separadas)	0,40 a 0,60
Unidades múltiplas (conjugadas)	0,60 a 0,75
Lotes com área igual ou superior a 2000 m <sup>2</sup>	0,30 a 0,45
<b>Áreas comerciais</b>	
Central	0,70 a 0,95
Bairros	0,50 a 0,70
<b>Áreas industriais</b>	
Indústrias leves	0,50 a 0,80
Indústrias pesadas	0,60 a 0,90
<b>Outras áreas</b>	
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Pátios de estradas de ferro	0,20 a 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10 a 0,30

Fonte: CETESB (1986)

#### 4.1.3 Tempo de Concentração

O tempo de concentração nada mais é, de forma simplificada, o tempo que demora para toda a água que cai sobre a área da bacia, contribua para o escoamento superficial no ponto de interesse, ou um exutório.

Esse parâmetro é importante para se determinar o tempo que leva para a vazão de um corpo receptor atingir seu maior valor durante uma chuva de longa duração. O Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) estabeleceu em suas diretrizes o uso da equação de California Culverts Practice, para as características de cobertura da superfície do estado de São Paulo (Equação 1).

$$t_c = 57 * \left( \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad \text{Equação 1}$$

Tal que:

$t_c$  = tempo de concentração (min)

$L$  = comprimento do talvegue (km)

$\Delta H$  = desnível máximo da bacia (m)

#### 4.1.4 Intensidade de Precipitações

O estudo pluviométrico consegue estimar a intensidade das precipitações por meio de análises estatísticas correndo um banco de dados com informações pluviométricas de vários anos, relativo a uma região.

Para realizar essa análise é necessário informações de projeto como o período de retorno, que é basicamente o tempo necessário para determinado evento ocorrer novamente, e a duração do evento. Sendo assim, determinam-se curvas características representando três parâmetros: frequência, duração e intensidade (DAEE, 2005).

Essas curvas características, que são conhecidas como “Curvas I-D-F” de intensidade, duração e frequência, podem ser resumidas em equações e consequentemente em tabelas. Para a cidade de São Carlos, Barbassa (1991) desenvolveu uma equação compilando dados de 27 anos (expressa na Equação 2), e que foi revisada por Britto e Kellner (2016) resultando na Equação 3. Foi observada uma diferença de resultados de 80% a 1% nessa atualização de índices da equação.

$$i = \frac{28,03 \times T^{0,199}}{(t+16)^{0,936}} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo que:

$i$  = intensidade pluviométrica (mm/min)

$t$  = duração da chuva (min)

$T$  = período de retorno (anos)

$$i = \frac{15,534 \times T^{0,1092}}{(t+5)^{0,727}} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo que:

$i$  = intensidade pluviométrica (mm/min)

$t$  = duração da chuva (min)

$T$  = período de retorno (anos)

#### 4.1.5 Bacias Hidrográficas

Bacia hidrográficas por definição dos autores Viessman, Harbaugh e Knapp (1972) que foram citados por Villela e Mattos (1975),

é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída, o exutório.

Dessa forma, pode-se dizer que as bacias hidrográficas são definidas a partir de seu exutório escolhido, e a partir de então, pode-se retirar vários índices para ajudar a estudar e entender melhor a região em questão.

##### 4.1.5.1 Forma das Bacias Hidrográficas

A forma de uma bacia hidrográfica pode ajudar a deduzir alguns indicadores logo de cara, como tempo de concentração e a capacidade de pico de cheias ou enchentes elevadas.

O primeiro índice para o âmbito de forma é o índice de compacidade (Equação 4), que relaciona o perímetro da bacia, com o perímetro de um círculo, que seria a situação de maior capacidade de produção de enchentes.

$$k_c = P \div (2 \times \pi \times r) \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

$K_c$  = índice de compacidade

$P$  = perímetro da bacia

$r$  = raio médio da bacia

Ademais, o índice de conformação (Equação 5), também tem ligação com a forma da bacia, relacionando a área total da bacia com o quadrado do comprimento do talvegue. Sendo assim, quanto maior o índice, maior será a capacidade de produção de cheias intensas.

$$I_c = A \div (L^2) \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$I_c$  = índice de conformação

A = área total da bacia (km<sup>2</sup>)

L = comprimento do talvegue (km)

#### 4.1.5.2 Capacidade de Drenagem

Outro fator que impacta a intensidade das cheias e a frequência de inundações é a densidade de drenagem, que relaciona a extensão total de corpos receptores d'água a montante de um exutório e a área de drenagem da bacia, assim como evidenciado na Equação 6.

$$D_d = \frac{L}{A} \quad \text{Equação 6}$$

Tal que:

$D_d$  = densidade de drenagem

L = comprimento total dos cursos d'água

A = Área de drenagem

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DE UM CORPO RECEPTOR

Os corpos hídricos que recebem as águas pluviais tem características próprias e notórias para serem estudadas. É necessário observar que essas características não são imutáveis, sofrendo alterações com fatores naturais. No entanto, com o impacto do ser humano com a urbanização, essas características podem sofrer alterações.

Sendo assim, torna-se importante entender a variabilidade das características sem a ação humana, para poder avaliar de fato os efeitos após a urbanização e modificação do uso e ocupação do solo.

### 4.2.1 Vazão

A vazão é um parâmetro hidráulico determinante para a análise de um rio, tanto para entender sua capacidade de escoamento, quanto a função atribuída ao corpo hídrico. Essa característica nada mais é que o volume de água que passa em um espaço durante um tempo determinado.

Ainda, a vazão pode ser determinada usando características como área de escoamento e velocidade de escoamento, assim como na Equação 7. Sendo assim, entende-se que quando há um aumento na vazão no escoamento do corpo hídrico, naturalmente se altera a velocidade, mas principalmente, se altera a área de escoamento.

$$Q = A \times V \quad \text{Equação 7}$$

Tal que:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s)

A = Área de escoamento (m<sup>2</sup>)

V = Velocidade de escoamento (m/s)

Dessa forma, é possível entender por meios matemáticos que as descargas de águas pluviais, que intensificam a vazão de escoamento do rio, aumentam a área de escoamento do rio. Portanto, como as laterais e fundos dos rios são fixos, observa-se o aumento na profundidade do rio, ou o aumento da lâmina d'água, podendo chegar ao extremo de transbordar, e assim, causar as inundações.

Segundo recomendação do DAEE (2005), para se estimar a vazão de águas pluviais podem ser utilizadas diversas metodologias, a depender de extensão territorial da área. Para pequenas áreas, bacias de até 2km<sup>2</sup>, se utiliza o método racional, que leva em consideração que a precipitação se inicia e termina simultaneamente em toda a sua área (DAEE, 2005).

Pelas recomendações do DAEE (2005), a equação utilizada no método racional é expressa da seguinte forma:

$$Q = 0,2778 \times c \times i \times AD \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

Q = vazão de águas pluviais (m<sup>3</sup>/s)

c = coeficiente de runoff (adimensional)

i = intensidade de precipitação (mm/h)

AD = área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>)

Com isso, se torna palpável o acréscimo na vazão de escoamento do rio com as precipitações em uma bacia.

Para compreender o escoamento superficial livre da água, com suas características geométricas e hidráulicas, há a Equação 9 de formulada por Manning (1891). Essa equação só é válida para escoamentos onde a pressão na superfície é igual a pressão atmosférica.

$$Q = \frac{1}{n} \times Am \times Rh^{2/3} \times \sqrt{I} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

Q = vazão de escoamento (m<sup>3</sup>/s)

Am = área molhada da seção transversal (m<sup>2</sup>)

Rh = raio hidráulico (m)

n = coeficiente de manning (s.m<sup>-1/3</sup>)

### 4.3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

Com o aumento da tecnologia, não veio somente a expansão territorial e a urbanização intensa, mas também as formas de mitigar os danos causados na natureza durante a evolução da sociedade. Para evitar os transtornos que a impermeabilização do solo causa, foram desenvolvidas técnicas compensatórias, que tem como premissa a melhoria de retenção ou retardo e infiltração das águas pluviais, e assim, diminuindo a vazão de água escoada para os vales de rios.

Essas técnicas compensatórias ainda podem ser divididas em estruturais e não estruturais, utilizando-se de diferentes meios para o mesmo objetivo. As técnicas estruturais fazem uso de revestimentos específicos, podendo ser vegetal ou não, e tem características rugosas para retardamento do escoamento superficial e aumento do tempo de concentração, que segundo Batista, Nascimento e Barraud (2005) promovem a otimização e racionalização do uso e ocupação do solo urbano. Já as técnicas não estruturais são ações de conscientização e educação que visam diminuir o volume de água que chega aos corpos hídricos.

#### 4.3.1 Bacias de Detenção

Essas estruturas são comumente utilizadas em loteamentos para controlar o impacto coletivo causado na implantação do empreendimento tanto com a

impermeabilização de ruas quanto com a construção de casas que se tornam áreas impermeáveis.

Ela tem uma característica de grande uso do espaço inicial da gleba para conter o grande volume de águas pluviais. Muitas vezes, utilizam-se do revestimento com vegetação na bacia de retenção para proporcionar além da contenção da água para o corpo receptor, uma maior infiltração da água no solo, assim como na figura 2 a seguir.

Figura 2 - Bacia de retenção com vegetação



Fonte: Rodriguez e Teixeira e Cardoso (2021)

## 5 METODOLOGIA

Neste capítulo será explicitado os procedimentos metodológicos para o estudo do aumento da vazão do corpo receptor das águas pluviais provenientes da implantação de um novo empreendimento na cidade de São Carlos, aplicando os conceitos apresentados nos capítulos anteriores.

### 5.1 ANÁLISE VISUAL DA REGIÃO ESTUDADA

Para o início de qualquer processo dentro do estudo é necessário ter um mínimo conhecimento acerca da região. Existem materiais e referências para a cidade de São Carlos, apontando diversas características, no entanto, são empíricas e podem sofrer alterações ao longo do tempo.

Sendo assim, com o propósito de obter conclusões e análises tátil visuais, aumentando cada vez mais a percepção e condições da bacia e até mesmo do córrego referido, a visita em campo será realizada.

Com a autorização devida para chegar até a região desejada, as características preferíveis para serem observadas serão:

- Condições de despejo das águas pluviais no corpo receptor;
- Condições da margem e leito do rio (existência de vegetação, erosão aparente);
- Vegetação existente na condição não alterada na bacia para verificação do coeficiente de *runoff*.

### 5.2 SIMULAÇÃO DO PROJETO DE DRENAGEM DO EMPREENDIMENTO

Com o intuito de verificar o aumento da vazão do corpo hídrico com a água proveniente das chuvas que escoam sobre o loteamento, será realizado um projeto de manejo de águas pluviais, com uso do método de bacias de retenção utilizado nesse caso.

#### 5.2.1 Coeficiente de Runoff

Com a visita ao local estudado, será mais preciso a determinação de um coeficiente de escoamento comparando as características observadas na região com as características correspondentes a coeficientes empíricos da literatura.

Dessa forma, poderá ser calculada a vazão de água escoada em condições normais da bacia, antes mesmo da intervenção na região com a implantação do empreendimento.

### **5.2.2 Intensidade de precipitação na bacia**

A intensidade das precipitações na bacia determinada será estimada com o intuito de chegar a uma vazão de escoamento com o Método Racional. Para isso, será utilizada a equação de intensidade de chuva proposta por Barbassa e adaptada posteriormente, utilizando diferentes tempos de retorno.

Quando se tratar de microdrenagem, ou seja, galerias de águas pluviais, o tempo de retorno utilizado será de 10 anos. A galeria é composta por tubulações, normalmente feitas de concreto, que tem como objetivo transportar as águas coletadas pelo sistema e levar até o despejo no corpo hídrico.

No entanto, para a macrodrenagem, que no projeto será representada pela bacia de retenção implantada no local, o tempo de retorno utilizado será de 100 anos.

Com isso, será importante comparar com os índices de chuva dos últimos anos para verificar a precisão dos dados adotados para o projeto, que será utilizado para a vazão final de escoamento.

### **5.2.3 Determinação da área da bacia**

A bacia poderia ser determinada com o software AutoCAD de maneira a traçar o perímetro em escala, utilizando mapas da cidade de São Carlos, no entanto, pode-se encontrar algum tipo de imprecisão dessa forma. Sendo assim, a área da bacia será estimada através do software QGIS, que possui dados em escala e até mesmo georreferenciados, assim, facilitando a obtenção da área mais precisamente.

### **5.2.4 Vazão de projeto**

Com o método racional, será de fato determinada a vazão com todos os parâmetros anteriormente estimados. Essa vazão será referente ao valor escoado na condição anterior a intervenção humana, que deverá ser igualada à vazão despejada no corpo hídrico com o auxílio da bacia de retenção.

### 5.2.5 Dimensionamento da bacia de retenção.

O método de retenção utilizado para igualar a vazão despejada com a vazão natural da bacia será a bacia de retenção. Essa estrutura será dimensionada com o intuito de armazenar a água coletada temporariamente, infiltrando no solo ou até mesmo evaporando a água com a grande superfície de contato exposta, e principalmente dissipando aos poucos para o corpo hídrico, reduzindo assim, a vazão de pico e as enchentes.

### 5.3 ANÁLISE DE RESULTADO E COMPARAÇÃO COM O PROJETO EXECUTADO

Após a projeção do projeto de drenagem do empreendimento e métodos compensatórios do empreendimento, resta comparar com o que foi de fato executado e está causando impactos no corpo receptor.

É importante determinar também se com as características de escoamento e características geométricas do corpo hídrico em questão há capacidade de drenagem suficiente para não causar impactos catastróficos na região.

Além disso, utilizando o QGIS, é possível estimar a seção transversal do córrego, em um ponto desejado, para que seja utilizada a Equação 9 de Manning (1891). Com isso, a lâmina d'água da condição anterior e posterior à implantação do empreendimento será avaliada, para entender de fato o efeito da ocupação.

### 5.4 ANÁLISE DO IMPACTO DO EMPREENDIMENTO NA BACIA

Através da fonte de dados do Modelo Digital de Terreno disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANADEM), é possível extrair informações georreferenciadas da bacia, tais como a área total da bacia a partir de um ponto exutório determinado, elevações dentro da área delimitada e o comprimento do talvegue. O software QGIS será ferramenta essencial para manusear a base de dados da ANADEM.

Dessa forma, um coeficiente de escoamento médio da bacia após a implantação desse empreendimento poderá ser determinado, realizando uma média ponderada, com o C do empreendimento antes da intervenção sendo 0,3 e após a ocupação do solo sendo 0,8. Com isso, o aumento da vazão escoada ficará evidente.

Além disso, ainda utilizando o QGIS com a base de dados da ANADEM, será extraído uma seção transversal média de um ponto de possível transbordo, a fim de

entender a geometria local, e constatar através da Equação 9 qual o aumento da lâmina d'água em situações chuvosas com a ocupação do empreendimento

## 6 RESULTADOS

A análise e avaliação do que foi proposto na metodologia no capítulo anterior será explicitado nesse capítulo, baseando-se em visitas de campo e avaliação de projeto disponibilizado pela empresa responsável.

### 6.1 ANÁLISE VISUAL DA BACIA

Assim como já explicado anteriormente, a visita ao local é imprescindível para se entender a realidade do local e adotar valores para o coeficiente de runoff, por exemplo. Além disso, com a visita foi possível identificar as estruturas existentes no local e também a condição do córrego receptor.

Em um primeiro momento, verificou-se que a bacia não possui um relevo muito acidentado, as áreas sem ocupação permitem essa visualização de baixa declividade. Além disso, a vegetação existente é rasteira, apenas como grama e poucas árvores, o que normalmente caracteriza uma área de maior escoamento superficial em detrimento de florestas densas.

A Figura 3 e a Figura 4 corroboram com essa avaliação visual, onde há poucas árvores na gleba, observando apenas a vegetação de bambu utilizada para isolamento de propriedade privada, além de um rebanho bovino que se alimenta da vegetação rasteira da região. Na mesma imagem é possível observar até a coloração do solo da região, que é mais avermelhada, típico de um solo argiloso. A partir dessas informações, já é possível estimar que o valor de 0,3 para o coeficiente de runoff é compatível para a região anteriormente à ocupação do empreendimento. Em conversa com a empresa, nos foi passado que o “C” utilizado antes da implantação foi de 0,3 e após a habitação foi de 0,72.

Figura 3 - Vegetação típica da região



Fonte: Autoria própria

Figura 4 - Bambuzal para isolamento de propriedade privada



Fonte: Autoria própria

Quanto ao corpo receptor e a estrutura existente de descarga das águas pluviais coletadas ao longo do empreendimento, foi possível observar um ponto crítico, já que as condições do córrego evidenciam uma baixa vazão de escoamento no seu fluxo natural.

A margem do córrego possui bastante vegetação, o que é um bom indicador, já que evita erosão e o arraste de sedimentos. Porém, nota-se que em épocas de chuvas, com aumento de vazões, a largura do leito do rio aumenta significativamente, pois a declividade do talude da margem do rio é pequena. Essas observações podem ser verificadas tanto na Figura 5 quanto na Figura 6.

Figura 5 - Vista jusante do corpo receptor



Fonte: Autoria própria

Figura 6 - Vista montante do corpo receptor



Fonte: Autoria própria

O dispositivo de lançamento das águas pluviais no corpo receptor encontra-se funcional (ver Figura 7), com redução da velocidade do escoamento através de barreiras físicas que formam chicanas, até o depósito no corpo receptor. Apesar da presença de plantas no interior, ressaltando uma ausência de limpeza ou retirada desse material presente, o funcionamento do dispositivo não se altera.

Figura 7 - Dispositivo de dissipação de energia



Fonte: Autoria própria

Como ponto de melhoria, o trecho final antes da disposição no corpo receptor poderia estar angulado em  $45^\circ$  em relação ao eixo do córrego. Dessa maneira, diminuiria o impacto com erosão das margens, mesmo que os dissipadores já reduzem bem essa problemática. Na Figura 8 é possível ver a disposição final no corpo receptor.

Figura 8 - Disposição final no corpo receptor



Fonte: Autoria própria

Em razão dessas análises, entende-se a importância da necessidade de dispositivos de redução de dissipação de energia cinética da água drenada do empreendimento, assim como as técnicas compensatórias para manter a vazão de escoamento mesmo após intervenção humana.

## 6.2 PROJETO DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS

É importante iniciar do pressuposto adotado em projeto para que cada sub-bacia do empreendimento tivesse sua vazão de escoamento coletada para a rede, sem que tenha água de chuva escoando dentre sub-bacias pela sarjeta.

Partindo do conhecimento de que há uma descarga inicial na rede de drenagem provido de um tanque de detenção a montante, o tempo de concentração inicial do sistema foi o tempo total de escoamento do tanque de 50,96 min. Após o primeiro trecho, o tempo de concentração utilizado é o inicial acrescido do tempo de percurso na galeria no trecho determinado.

Além disso, como tempo de retorno do projeto, foi utilizado  $T_r = 10$  anos para o projeto de galerias, enquanto no projeto de tanque de detenção foi utilizado  $T_r = 100$  anos.

Para fins comparativos, a simulação foi feita utilizando todo o traçado de rede e elementos já existentes e disponibilizados pela empresa responsável. Na concepção inicial, foram colocados 23 poços de visita (PV) nomeados de PV21 até PV43, além de 7 caixas de passagem (CP) nomeadas de CP06 até CP12, e um dissipador de energia final. A galeria totaliza 1762,9 metros de tubulação com diâmetros de 100, 120 e 150 centímetros.

### 6.2.1 Intensidade da chuva

Substituindo os valores na Equação 2 de Britto e Kelner (2016), obtêm-se valores de 64,31 mm/min a 59,76 mm/min. No entanto, para esse projeto foi utilizado a primeira equação de intensidade de chuva da cidade de São Carlos, proposta por Barbassa (1991), chegando no resultado de 56,58 mm/min a 52,21 mm/min.

Essa variação do parâmetro de intensidade de chuva impacta diretamente na vazão escoada. Sendo assim, apesar de maiores valores de intensidade de chuva ao desconsiderar a vazão a montante, deve-se considerar a contribuição da descarga do tanque de detenção na galeria do novo empreendimento.

### 6.2.1 Vazão

A vazão de entrada em uma boca de lobo foi determinada com o método racional de cada sub-bacia que tem sua vazão de escoamento superficial captada e encaminhada para a galeria. A vazão total do trecho calculado é a vazão captada somada a vazão do trecho a montante. Além disso, outra consideração feita é que a taxa de escoamento superficial da bacia após ocupação é de 0,8 para o cálculo das galerias.

A galeria do novo empreendimento inicia com a contribuição de 1,14 m<sup>3</sup>/s decorrente do tanque de detenção a montante, ao final fica com uma vazão acumulada de 3,96 m<sup>3</sup>/s.

## 6.3 DIMENSIONAMENTO DO TANQUE DE DETENÇÃO

Com a área total do empreendimento sendo 249530 m<sup>2</sup> ou 0,249 km<sup>2</sup>, ainda pode-se considerar o método racional para chegar na vazão de contribuição para o tanque de detenção. Sendo assim, foi utilizado o coeficiente “C” da Equação 7 conforme descrito no Item 6.1, a área total de 0,249 km<sup>2</sup> e intensidade de chuva de 168,8 mm/h.

O valor de intensidade de chuva diferir do que foi utilizado para dimensionamento da galeria é por conta tanto do tempo de retorno do projeto ser de 100 anos invés de 10 anos, além do tempo de concentração utilizado ser diferente. O  $t_c$  da primeira sub-bacia do empreendimento é de 10,96 minutos, e o tempo de percurso da água ao longo da galeria é de 6,50 minutos, e com isso, a duração de chuva utilizada para a tanque de detenção que fica no final da galeria é a somatória do  $t_c$  inicial com o tempo de percurso.

Sendo assim, a vazão total após a implantação do empreendimento é de 8,42 m<sup>3</sup>/s e a vazão anterior à habitação é de 3,51 m<sup>3</sup>/s. Isso leva a determinação do pré-dimensionamento do tempo total de extravasão do tanque é de 41,89 minutos. Com isso é possível determinar o volume necessário do tanque para reter essa vazão excedente. Com a diferença de áreas do gráfico de vazão x tempo, o volume de detenção calculado é de 6175,76 m<sup>3</sup>. Ao fim, foi adotado um volume efetivo do reservatório de 3292,47 m<sup>3</sup>, que resulta no tempo efetivo de detenção de 22,33 minutos.

#### 6.4 IMPACTO DO EMPREENDIMENTO NA BACIA AFETADA

Realizando-se o levantamento da área da bacia a partir do exutório determinado, foi possível determinar a representatividade do impacto da implantação do empreendimento na região.

O exutório analisado foi escolhido estrategicamente em um ponto em que houve uma inundação no dia 28 de dezembro de 2022 derivado das fortes chuvas e transbordamento do córrego em questão. Na Figura 9 é possível visualizar a área da bacia gerado no QGIS a partir do modelo digital de terreno ANADEM, em que foi extraído a área total de 2.917.545 m<sup>2</sup>, o desnível máximo da bacia de 117,51 metros e o comprimento do talvegue de 3.283 metros.

Figura 9 - Comparativo da área do empreendimento com a área da bacia

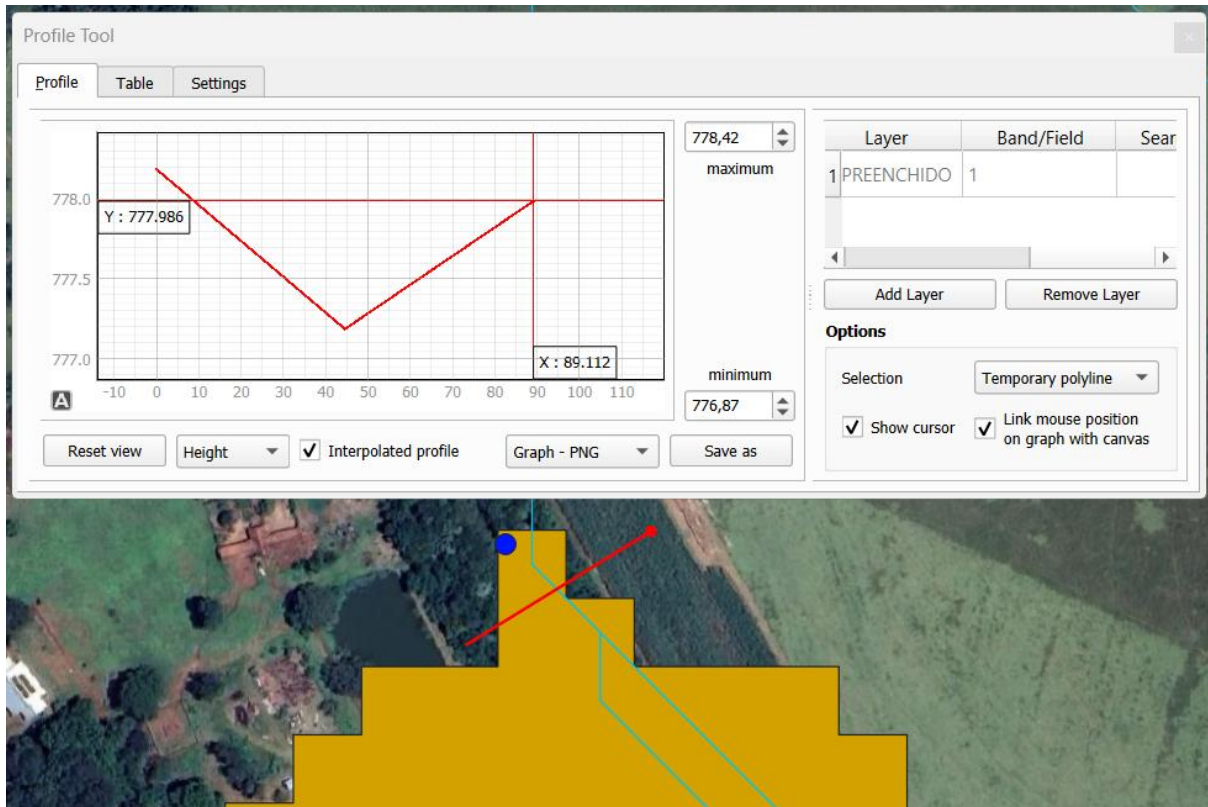


Fonte: Autoria própria

A área do empreendimento de 249530 m<sup>2</sup> representa 8,55% da área da bacia, sendo assim, o coeficiente de runoff da bacia após a implantação do empreendimento foi de 0,3 para 0,34. Conseqüentemente, com os mesmos parâmetros, o aumento direto na vazão escoada na bacia é de 11,97%.

Considerando uma simplificação da seção transversal do rio (Figura 10) como uma forma triangular, em que a largura do canal é de 44,55 metros e altura de 0,80 metros, foi possível, utilizando a Equação 9, determinar a lâmina d'água do escoamento.

Figura 10 - Seção transversal do córrego



Fonte: Autoria própria

A vazão calculada para a bacia anterior ao empreendimento foi de 19,62 m<sup>3</sup>/s, enquanto que a vazão calculada para a mesma bacia após a implantação foi de 22,24 m<sup>3</sup>/s. Com isso, a lâmina d'água em situação de chuva passa de 0,403 metros para 0,423 com a implantação do empreendimento, ou seja, teve um aumento de 2 centímetros na lâmina d'água após a ocupação da área estudada.

## 7 ANÁLISES E DISCUSSÕES

As diretrizes de projeto foram estabelecidas pela prefeitura da cidade de São Carlos, e alguns parâmetros foram adotados a partir da experiência do projetista, seja a favor da segurança, ou para viabilidade financeira.

Em um primeiro momento, nota-se que o coeficiente de runoff de 0,3 para uma área de vegetação não é comumente utilizado, sendo o mais comum o intervalo entre 0,1 e 0,2. No entanto, esse coeficiente é uma generalização de dados empíricos, e para obter uma precisão maior para o projeto é necessário avaliar o solo em questão, realizando um teste de infiltração. Com isso, entende-se que seria necessária uma determinação de um procedimento de adoção desse coeficiente por parte do governo, visto que os novos empreendimentos causam grandes impactos na geração de vazão escoada.

No dimensionamento da galeria de águas pluviais, o tempo de concentração do trecho inicial utilizado foi o tempo base efetivo do tanque de detenção a montante. Esse tempo de concentração alto acaba diminuindo a intensidade de chuva calculado pela Equação 2. Segundo a literatura, o tempo de concentração nesse caso poderia ser calculado utilizando os 10 minutos iniciais, acrescido do tempo de percurso da água nos trechos da galeria e o tempo de percurso da água do início do tanque de detenção até o início da galeria do novo empreendimento.

Além disso, no projeto como um todo foi utilizado a equação de chuva elaborada por Barbassa (1991), pois ainda é aceita na cidade de São Carlos. No entanto, em estudos levantados por Britto e Kellner (2016), a diferença entre a intensidade de precipitação calculada pela Equação 2 e a equação do Barbassa pode variar entre 80% a 1% a depender do tempo de concentração utilizado. Isso mostra que é necessário a constante atualização da equação da chuva, não apenas no meio acadêmico com novos estudos com os dados pluviométricos, mas também em diretrizes de projetos da cidade de São Carlos.

A implantação e ocupação total da área do empreendimento, com um novo coeficiente de runoff de 0,72, representa um aumento efetivo de 11,97% da vazão de escoamento gerada na bacia. Diante do fato, o aumento de 2 centímetros na lâmina d'água após a ocupação, não é um fator determinante para inundações e alagamentos na região.

Mesmo assim, com a construção da técnica compensatória em questão, a água excedente gerada pelo empreendimento é armazenada e liberada aos poucos para o córrego receptor. Ainda assim, urge a discussão da metodologia de cálculo do volume de detenção e os parâmetros de aceitação, e assim, chegar no entendimento se as técnicas compensatórias estão atendendo a demanda esperada, com a atual situação do uso e ocupação do solo das cidades.

## REFERÊNCIAS

BARBASSA, A. **Simulação do Efeito da Urbanização sobre a Drenagem Pluvial da Cidade de São Carlos**. Tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento – EESC/USP, São Carlos, 1991.

BATISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH – 2.a Edição, Porto Alegre, 2005.

BRITO, L. N.; KELLNER, E. Procedimento para Construção da Equação de Chuva a partir das máximas precipitações diárias obtidas de séries anuais: **Atualização da Equação de Chuva da cidade de São Carlos (SP)**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 04, n. 26, 2016, pp. 45-61.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Inundação**. Cachoeira Paulista, SP. 06 mai. 2016. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/inundacao>. Acesso em 18 dez. 2023.

DAEE. **Guia prático para os projetos de pequenas obras hidráulicas** - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005, p. 128.

DEFESA CIVIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Prevenção e Preparação. **Glossário de proteção e defesa civil** / Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Prevenção e Preparação. - Brasília : Ministério da Integração Nacional, 2017.

FRANCO, E. J. **DIMENSIONAMENTO DE BACIAS DE DETENÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS COM BASE NO MÉTODO RACIONAL**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

KELLNER, E. **Ciclo Hidrológico**. Curso de Hidrologia. 2022. Notas de Aula. Universidade Federal de São Carlos.

LOURENÇO, R. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis**. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014.

MANNING, R. ***On the flow of water in open channels and pipes***. Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland, v. 20, p. 161–207, 1891.

NASCIMENTO, N. O. et al. **Estudo de caso de uma bacia de retenção em meio urbano** – O caso do reservatório Santa Lúcia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XII, 1997, Vitória. Anais ABRH , CD-ROM, 1997. p. 1-9.

PELISSARI, M. H. D. **ANÁLISE DO MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS - ESTUDO DA BACIA DO CÓRREGO SANTA MARIA DO LEME**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

SEESP. **Secretaria de Estado da Educação de São Paulo - Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas - Água Hoje e Sempre: Consumo Sustentável**, São Paulo, 2004. 256 p.

VILELLA, S. M. **Apresentação de plano diretor**. São Carlos, 09 mar. 2017. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/noticias-2017/170840-sao-carlos-precisa-fazer-6-barragens-para-minimizar-o-problema-das-enchentes-diz-especialista.html>. Acesso em 19 dez. 2023.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A (1975). **Hidrologia aplicada**. São Paulo: MccGraw-Hill do Brasil.

WRIGHT, K. R.; ZEGARRA, A. V.; LORAH, W. L. Ancient Machu Picchu Drainage Engineering. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 125, n. 6, p. 360 – 369, 1999.