

NIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CCET – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Vinícius de Moraes Valentim

ALTERNATIVAS EM MICRODRENAGEM PARA SOLUCIONAR A  
INTERRUPÇÃO DE UM RAMAL COLETOR DE ÁGUA PLUVIAL

SÃO CARLOS -SP

2021

VINÍCIUS DE MORAES VALENTIM

ALTERNATIVAS EM MICRODRENAGEM PARA SOLUCIONAR  
A INTERRUPTÃO DE UM RAMAL COLETOR DE ÁGUA PLUVIAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira

São Carlos-SP

2021

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pelas diversas proteções no meu caminho. Aos meus pais, Paulo e Nicélia, pelo amor, pela confiança e apoio ao longo de toda minha trajetória até aqui.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre me deu proteção, força, coragem e sabedoria para superar cada obstáculo.

Aos meus pais, Paulo e Nicélia, pilares da minha formação, por todo amor, dedicação, apoio e incentivo, e por sempre confiarem no meu potencial.

Agradeço ao Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira, quem me orientou, pelo conhecimento compartilhado, pela confiança e paciência.

Finalizo meus agradecimentos, a todos os amigos que tive o prazer de conhecer e conviver durante todo o meu percurso na cidade de São Carlos, os quais moldaram e construíram boa parte da minha bagagem de conhecimento e de desenvolvimento pessoal durante o período de estudos na Universidade.

## RESUMO

Entre os principais fenômenos naturais do planeta está o ciclo hidrológico. Este ciclo possibilita a circulação da água pela superfície, pelo subsolo e pela atmosfera da terra em seus diferentes estados físicos. O processo de crescimento urbano acelerado causa interferências nesta dinâmica. Inúmeras inundações ocorrem devido ao processo de impermeabilização dos solos, que eleva o volume do escoamento superficial da água e reduz a taxa de infiltração. Diante desta perspectiva, se torna necessário a implementação de estruturas de drenagem das águas da chuva ao longo da extensão de áreas urbanas. Essas estruturas captam as águas provenientes das precipitações e direcionam para os córregos, rios e oceanos. Entretanto, a alteração de quaisquer sistemas já implementados pode incorrer em uma falha na eficiência do sistema, fazendo-se necessários a utilização de instrumentos de engenharia para evitar a incidência deste problema. O presente trabalho teve o objetivo de realizar um estudo de levantamento quantitativo a respeito do impacto causado pela interrupção de um ramal em um loteamento da cidade de Ourinhos-SP. Para o desenvolvimento, foi levantado os parâmetros hidrológicos do local, utilizou-se o mapa de galerias de águas pluviais e da planta topográfica da região, disponibilizados pela secretaria de desenvolvimento urbano da prefeitura da cidade. A partir dos dados obtidos, foram realizados os cálculos de acordo com a literatura pertinente, nos quais possibilitou então que fosse definido a técnica de drenagem compensatória mais adequada para a situação. Dessa forma, foi realizado um pré-dimensionamento desta estrutura através de conceitos tradicionais, possibilitando uma solução para o problema.

Palavras-chave: Hidrologia. Drenagem Urbana. Sistema de microdrenagem.

## **ABSTRACT**

Among the main natural phenomena on the planet is the hydrological cycle. This cycle allows the circulation of water through the surface, the subsoil and the earth's atmosphere in its different physical states. The accelerated urban growth process interferes with this dynamic. Numerous floods occur due to the process of waterproofing the soil, which increases the volume of surface water runoff and reduces the infiltration rate. From this perspective, it is necessary to implement structures for rainwater drainage along the extension of urban areas. These structures capture water from precipitation and direct it to streams, rivers and oceans. However, the alteration of any systems already implemented may incur a failure in the system's efficiency, making it necessary to use engineering instruments to avoid the incidence of this problem. The present work had the objective of carrying out a quantitative survey study regarding the impact reflected by the interruption of a branch in a subdivision in the city of Ourinhos-SP. For development, the hydrological parameters of the site were surveyed, using the map of stormwater galleries and the topographic plan of the region, provided by the urban development department of the city hall. From the data obtained, calculations were performed in accordance with the relevant literature, in which it was possible to define the most appropriate compensatory drainage technique for the situation. Thus, a pre-dimensioning of this structure was carried out using traditional concepts, enabling a solution to the problem.

**Keywords:** Hydrology. Urban Drainage. Microdrainage system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática das etapas do ciclo hidrológico.....	13
Figura 2 – Balanço hídrico em bacia urbana .....	14
Figura 3 – Geometria transversal do escoamento nos leitos de rios.....	15
Figura 4 – Dinâmica de gestão de águas superficiais.....	17
Figura 5 – Esquema de representação de uma bacia de detenção.....	19
Figura 6 – Esquema de representação de uma bacia de retenção.....	20
Figura 7 – Disposição de reservatórios on-line e off-line.....	20
Figura 8 – Localização do município na região sudoeste do estado de São Paulo...	35
Figura 9 – Planta de identificação do dispositivo interrompido na área de estudos...	35
Figura 10 –Exemplo de execução de sarjeta.....	40
Figura 11 – Esquema de boca de lobo do tipo simples.....	41
Figura 12 – Identificação da área verde disponível no loteamento.....	43
Figura 13 – Identificação das áreas contribuintes da microbacia em estudo.....	44
Figura 14 – Medidas das bocas de lobo no local do estudo.....	47
Figura 15 – Direcionamento das vazões das áreas a montante A1-10.....	49
Figura 16 – Região disponível para implementação da bacia de retenção.....	50
Figura 17 – Análise tátil-visual do solo do local do estudo.....	52
Figura 18 – Definição da Tabela de restrições da Capacidade de Infiltração no Solo.....	52
Figura 19 - Exemplo de escoamento pela superfície.....	55
Figura 20 - Esquema em planta da bacia de retenção.....	56
Figura 21 - Esquema de corte transversal da bacia de retenção.....	57
Figura 22 - Esquema de corte longitudinal da bacia de retenção.....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tempo de retorno em função do tipo de ocupação.....	24
Quadro 2 – Características de ocupação dos lotes da cidade .....	36
Quadro 3 – Coeficiente de escoamento superficial / Run-Off.....	37
Quadro 4 – Precipitações de máximas intensidades de chuvas em mm/h.....	39
Quadro 5 – Esquema de boca de lobo do tipo simples.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Definição de áreas da microbacia contribuinte.....	45
Tabela 2 – Definição da vazão em cada área de contribuição da microbacia.....	47

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	09
2 OBJETIVOS .....	10
2.1 Objetivos específicos .....	10
3 JUSTIFICATIVA .....	11
4 REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
4.1 Consequências da urbanização sobre o ciclo hidrológico .....	13
4.2 Gestão de águas pluviais no meio urbano .....	16
4.3 Legislação de uso e ocupação do solo .....	21
4.4 Sistemas de drenagem superficial .....	22
4.4.1 Parâmetros de dimensionamento .....	23
4.4.1.1 Tempo de retorno .....	23
4.4.1.2 Tempo de concentração .....	24
4.4.1.3 Coeficiente de deflúvio e vazão.....	25
4.4.1.4 Intensidade média máxima de precipitação .....	26
4.4.1.5 Vazão de escoamento superficial .....	26
4.4.1.6 Infiltração de águas pluviais.....	27
4.4.2 Microdrenagem .....	27
4.4.2.1 Elementos de um sistema de microdrenagem .....	27
4.4.3 Macrodrenagem .....	29
4.4.3.1 Elementos de um sistema de microdrenagem .....	30
4.5 Técnicas compensatórias de drenagem urbana.....	31
4.5.1 Poços de infiltração.....	32
4.5.2 Reservatórios individuais.....	33
4.5.3 Trincheira.....	33

4.5.4 Valas e valetas de infiltração.....	34
5 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	34
6 MATERIAL E MÉTODOS .....	36
6.1 Caracterização da bacia contribuinte.....	36
6.2 Definição do coeficiente Runoff (C).....	36
6.3 Definição do tempo de concentração (Tc).....	37
6.4 Definição do tempo de retorno (Tr).....	38
6.5 Definição da curva de intensidade, duração e frequência de chuva (IDF).....	38
6.6 Vazão superficial de escoamento.....	39
6.7 Capacidade de escoamento das sarjetas.....	40
6.8 Capacidade de engolimento das bocas de lobo.....	40
6.9 Dissipador de energia do tipo escada hidráulica.....	41
6.10 Definição da área disponível para implantação do sistema compensatório.....	42
6.11 Escolha do sistema compensatório.....	43
7 RESULTADOS.....	44
7.1 Área de contribuição da bacia.....	44
7.2 Cálculo do coeficiente equivalente (Ceq).....	46
7.3 Vazão superficial de escoamento.....	46
7.4 Capacidade de engolimento das bocas de lobo.....	47
7.5 Contribuição de vazão em função das áreas de contribuição.....	48
7.6 Vazão de projeto a ser contemplada pela técnica compensatória definida.....	48
7.7 Pré-dimensionamento da bacia de retenção.....	50
7.7.1 Definição do tipo de solo.....	51
7.7.2 Capacidade de infiltração.....	52
7.7.3 Volume mínimo de reservação da bacia de retenção.....	53

7.7.4 Dimensionamento da geometria da bacia de retenção.....	53
7.7.5 Verificação do tempo de esvaziamento.....	53
7.7.6 Intercepção para o armazenamento.....	54
7.7.7 Extravasor.....	54
7.7.8 Esquema ilustrado da bacia de retenção.....	55
8 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS.....	59

## 1 INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico é um dos mais importantes fenômenos da terra para a sobrevivência humana, pois é fundamental para a vida no planeta. Movido pela energia solar e pela influência da força gravitacional, a água segue seu ciclo de movimento pela superfície, subsolo e na atmosfera terrestre.

Contudo, a crescente urbanização proveniente do crescimento da população vem alterando continuamente a dinâmica deste ciclo, pois a superfície perde as características do seu estado natural se tornando cada vez mais impermeável por conta das pavimentações e edificações presentes, resultando na diminuição da capacidade de infiltração do solo e aumentando significativamente o escoamento superficial das águas pluviais, podendo causar inundações e alagamentos de algumas áreas urbanas.

Em vista disso, torna-se essencial o desenvolvimento de estruturas de drenagem devidamente dimensionadas para coletar e direcionar as águas das chuvas para um local de despejo, evitando a ocorrência de eventuais problemas. Para tanto, é necessário que se conheça alguns parâmetros de dimensionamento, como: vazão das bacias consideradas, intensidades de precipitação, tempo de retorno, tempo de concentração, entre outros.

Para cada situação existe uma forma mais adequada de se promover o escoamento ideal, dependendo da topografia do local, distâncias até o ponto de evacuação, além de estimativas de custo para implantação das soluções. E uma vez implantado, quaisquer alterações do sistema podem causar impactos na rede coletora remanescente.

A alteração de um sistema qualquer deve, portanto, gerar um levantamento quantitativo das alterações nos cálculos das vazões do projeto e, observando as implicações, oferecer uma solução mais conveniente gerando menor impacto socioeconômico e ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

Realizar um estudo de alternativas em microdrenagem para interrupção do ramal de drenagem em uma galeria de água pluvial e propor uma solução conveniente.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Determinar as bacias de contribuição e o volume de escoamento a ser compensado;
- Determinar e/ou adotar os parâmetros hidrológicos necessários para definir a vazão excedente do ramal interrompido, tais como: tempo de retorno, intensidade média e máxima de precipitação, tempo de concentração e vazão de escoamento superficial; e
- A partir dos parâmetros obtidos, estudar as possíveis soluções considerando o uso de técnicas tradicionais e técnicas compensatórias de drenagem, propondo um pré-dimensionamento para a técnica definida.

### 3 JUSTIFICATIVA

O crescente e exponencial processo de urbanização que ocorre em território nacional a partir no século passado tem sido o principal responsável pela impermeabilização das superfícies naturais. Dessa forma, ocorre uma diminuição relevante da capacidade de infiltração do solo, promovendo um aumento da vazão do escoamento superficial nas áreas urbanas, impedindo o fluxo natural da água para os corpos d'água. Além disto, a coleta inadequada pode gerar enchentes e poluição da água, acarretando em problemas de saneamento básico ao torná-la um vetor de doenças sanitárias. Portanto, faz-se necessário uma rede coletora adequada para direcionar este volume de água.

A rede coletora de água deve considerar no dimensionamento das estruturas de drenagem um volume específico de água para uma determinada região de coleta, calculada através de parâmetros como topografia e hidrograma da área em questão, e dessa forma evitar a incidência das cheias.

A interrupção de um ramal da rede coletora, posterior a sua execução, pode causar uma sobrecarga dos outros ramais, ou ainda impossibilitar o escoamento do volume na área, acarretando em um possível alagamento. O cálculo, considerando esta alteração, assegura se existirá sobrecarga do sistema na área e possibilita a proposição de uma alternativa sustentável ao escoamento caso haja excesso de volume.

A iniciativa da investigação surgiu a partir da interrupção de algumas bocas de lobo, que após a solicitação de desvio de um ramal de drenagem que passava por dentro de lotes particulares, foi atendido pela prefeitura, que o fez desativando o ramal através do fechamento da entrada das bocas de lobo. Neste sentido, foram levantados os parâmetros de projeto para chegarmos a uma conclusão quantitativa de um problema real.

#### 4 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Gribbin (2009), o ciclo hidrológico se constrói por ser um processo ativo, sendo a natureza a grande responsável por seu reuso. O volume que escoar pela superfície vem dos mares e oceanos e retorna para eles. Este ciclo recorrente chama-se ciclo hidrológico e está ligado ao movimento de água nos seus diversos estados físicos, induzido pela energia de calor do sol, que aquece e promove a evaporação da água dos lagos, rios e oceanos, pela velocidade e pressão dos ventos, responsável por transportar o vapor de volta para os continentes e pela força gravitacional, que promove a precipitação das chuvas, a infiltração no solo e o deslocamento dos corpos d'água.

Quando se analisa esse fenômeno em nível global, pode-se considerá-lo um ciclo fechado, já em menor escala é possível conceituar os subciclos em diferentes regiões, onde a água evapora, condensa e precipita até voltar ao oceano. Porém, devido ao movimento natural da atmosfera e da superfície da terra, a parcela que evapora em um local não necessariamente precipita no mesmo lugar (SILVEIRA, 2000; COLLISCHONN; DORNELLES, 2015)

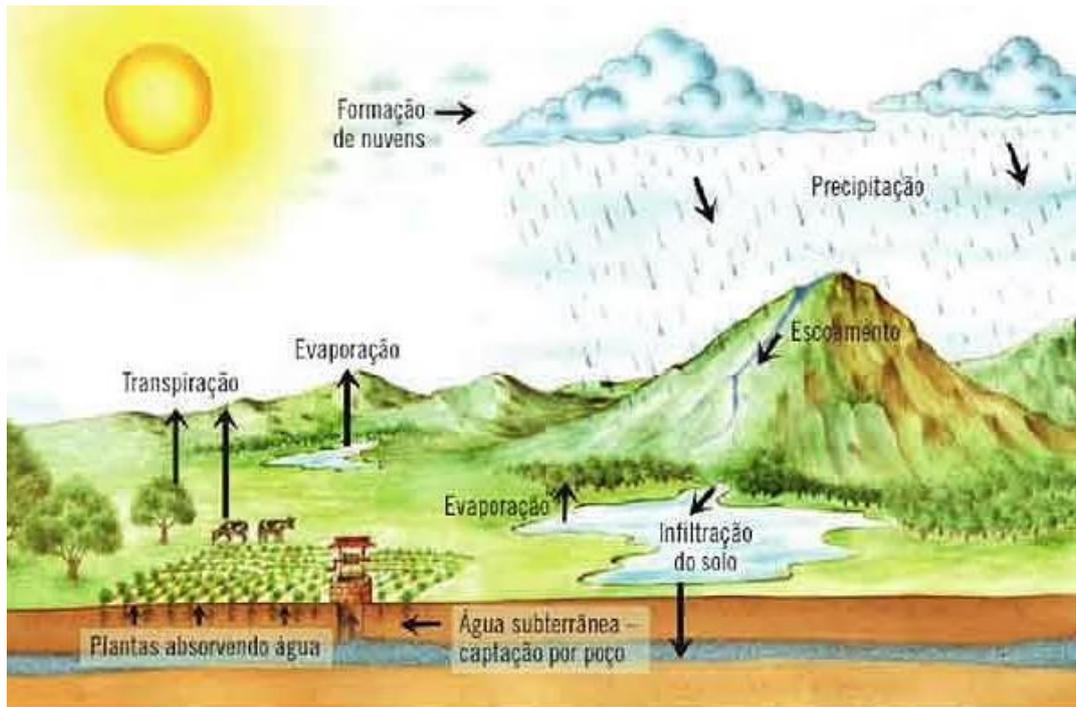
A energia térmica proveniente do sol é responsável por movimentar o ciclo hidrológico, promovendo a evaporação de água dos lagos, rios e oceanos, além de outros fenômenos de menor relevância como a evapotranspiração de animais e plantas (VIOLA, 2008).

Ao atingir maiores elevações e menores temperaturas, ocorre a condensação, propiciando formação de gotículas, que juntas formam as nuvens e quando densa o suficiente, sofre a precipitação em forma de chuva, neve ou granizo, em função das condições climáticas da região. (GRIBBIN, 2009).

A água precipitada, quando alcança a superfície, percorre diversos caminhos pela superfície até encontrar um corpo d'água ou percolando nos solos e rochas através das fissuras e poros até atingir o fluxo subterrâneo. A água infiltrada pode voltar a superfície pelas nascentes ou cair em lagos, rios e oceanos novamente. Nada obstante, parte da água de chuva é retida já na camada vegetal, evaporando antes mesmo de atingir o solo (MELLO; SILVA, 2013).

Pode-se observar o funcionamento do ciclo hidrológico através da representação na Figura 1.

Figura 1 – Representação esquemática das etapas do ciclo hidrológico



Fonte: PLANETA BIOLOGIA (2021)

Pode-se considerar que existe um equilíbrio no ciclo hidrológico, nas suas condições naturais, mas, devido ao gradativo processo de urbanização, ocorrem mudanças antrópicas significativas na sua dinâmica, podendo gerar impactos no meio urbano (FRITZEN; BINDA, 2011).

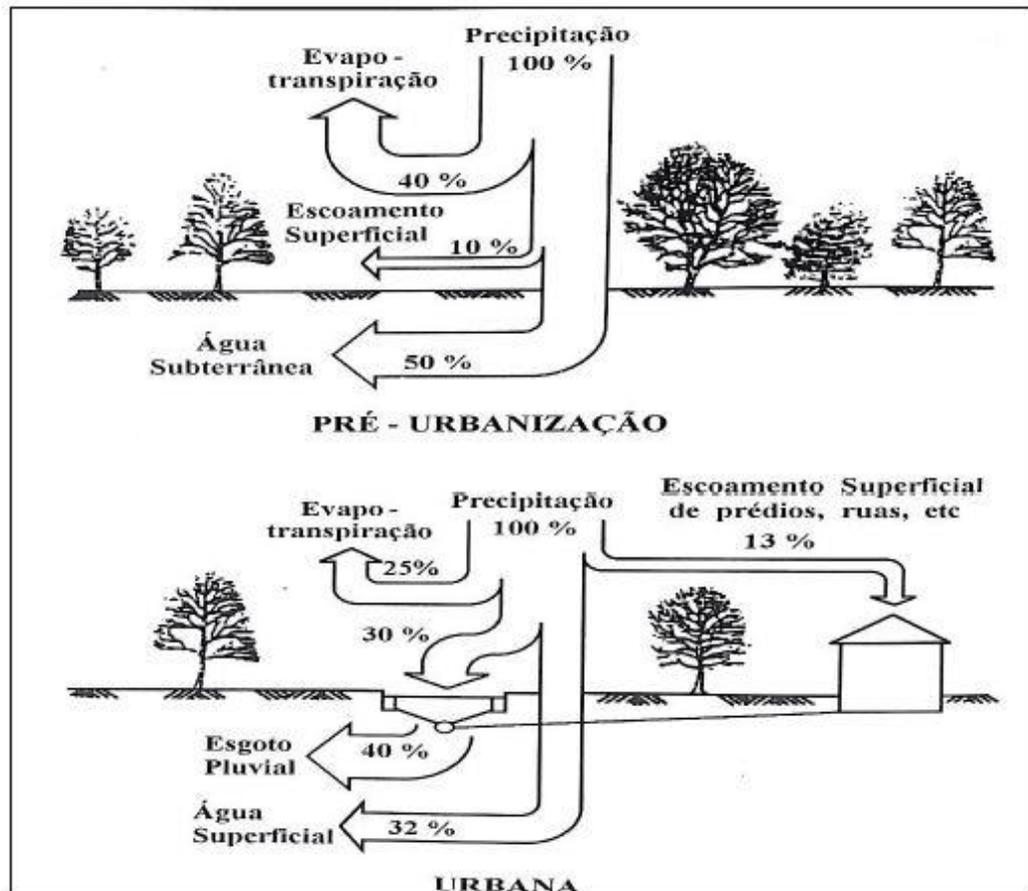
#### 4.1 Consequências da urbanização sobre o ciclo hidrológico

Segundo Tucci (2003), houve no país no início da segunda metade do século 20, um processo marcante de urbanização, instigado por estímulos fiscais que visavam expansão dos setores industriais e agrícolas, promovendo o êxodo rural. Portanto, a rápida urbanização ocorreu de forma não planejada, alcançando pouco mais de 50% de população urbana na década de 1970, chegando a 83% na virada do século. Como resultado deste ligeiro processo de crescimento das cidades, existe o impacto na dinâmica do ciclo hidrológico.

A superfície vegetal e permeável foi tornando-se pavimentada, com novas edificações, resultando na redução da permeabilidade do solo, reduzindo o escoamento subterrâneo, o reabastecimento dos lençóis freáticos e aumentando o escoamento superficial, (Figura 2). Canais e condutores pluviais foram construídos

para encaminhar o escoamento superficial, para reduzir o tempo e aumentar a velocidade do escoamento, aumentando em até 6 vezes a máxima de cheia quando comparado a uma bacia hidrográfica em condições naturais, culminando em maiores chances de surgirem inundações e alagamentos (TUCCI, 2000; MELLO; SILVA. 2013)

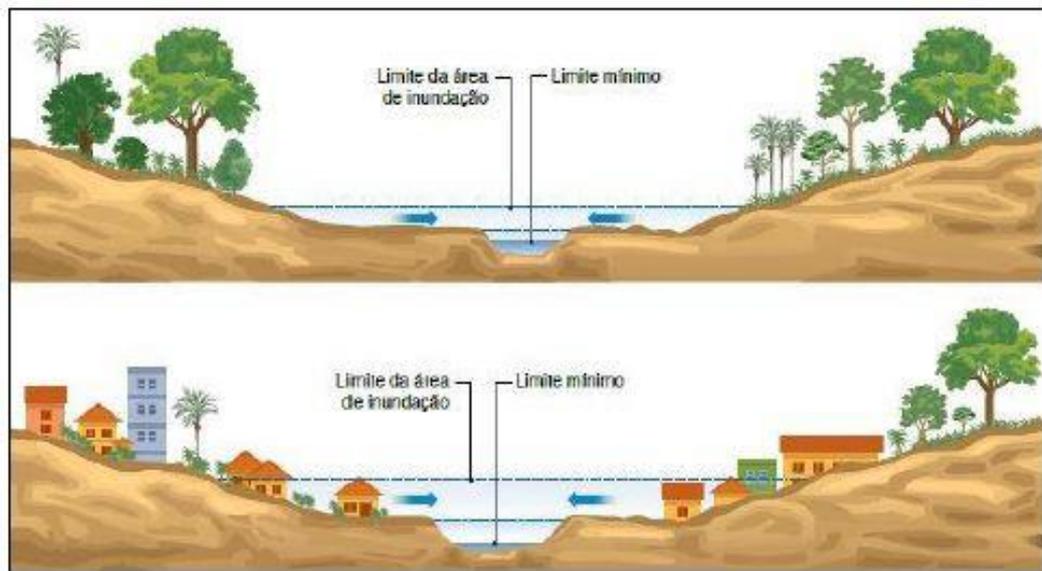
Figura 2 – Balanço hídrico em bacia urbana



Fonte: TUCCI; BRAGA (2003).

Tucci (2015) explica que as enchentes urbanas advêm de duas formas, individualmente ou de forma integrada, sendo segmentada em enchentes em áreas urbanas e enchentes em áreas ribeirinhas. As decorrentes da urbanização acontecem por conta da ocupação indevida e a falta de planejamento, promovendo superfícies impermeáveis, aumentando o escoamento superficial e diminuindo o tempo de concentração. Já as ocasionadas em regiões ribeirinhas são ocasionadas naturalmente, já que os rios, em situações extremas, ocupam o seu leito maior, atingindo a população destes locais, exemplificado na Figura 3.

Figura 3 – Geometria transversal do escoamento nos leitos de rios



Fonte: PRÊMIO JOVEM CIENTISTA (2013).

O crescimento urbano também resulta na redução da evapotranspiração, devido a troca de cobertura natural por superfície impermeabilizada, que por sua vez não consegue reter a água superficial, impossibilitando a evapotranspiração que é feita pelas folhas e pelo solo. Além disso, existe um aumento significativo de resíduos sólidos depositados na superfície por conta do lixo produzido nas cidades, transporte de resíduos sólidos, falta de manutenção da rede, podendo provocar o perecimento da qualidade de água (TUCCI, 2005).

Ainda de acordo com o autor, a urbanização causa o aumento da temperatura nas superfícies impermeáveis, pois devido a sua cor e composição, como por exemplo o asfalto e o concreto, absorvem a energia térmica do sol e irradiam de volta para o ambiente, culminando nas chamadas ilhas de calor dos centros urbanos. Esse fenômeno aumenta ainda mais a velocidade de evaporação, provocando a formação de núcleos de condensação local, que, portanto, aumenta as precipitações nestas regiões.

Conforme estes desenvolvimentos econômicos e de infra-estrutura avançam, as consequências na qualidade de água e no próprio ciclo hidrológico são alteradas, promovendo alterações diversas, de acordo com as características prévias do local alterado, como geologia, topografia, pluviosidade, tipo do solo, entre outros. No caso de locais onde a cobertura é pouco permeável e rochosa, tem-se variações menores, já em situações onde antes havia uma cobertura vegetal e com maior permeabilidade,

as mudanças com relação ao escoamento se tornam mais abruptas. (TUNDISI, 2006; TUCCI, 2015).

## 4.2 Gestão de águas pluviais no meio urbano

A vida no planeta depende substancialmente da água, ela está presente em quase todas as necessidades humanas. Isso faz com que a demanda por água cresça proporcionalmente com o aumento da população na terra, além do consumo que também tem aumentado na média por conta da variedade de usos dos recursos hídricos, gerando dessa maneira a necessidade de um gerenciamento eficiente da água para propiciar o bem-estar da sociedade (LANNA, 2000; VIOLA, 2008).

De acordo com Miranda, Gomes e Silva (2006), o gerenciamento hídrico busca preservar e recuperar a qualidades destes recursos nas bacias hidrográficas aliado ao uso mais sustentável de água, garantindo as necessidades gerais hoje em dia e também no futuro, para que as gerações futuras tenham água de boa qualidade. E dessa forma, criando um ecossistema saudável entre o ser humano e o meio ambiente.

Viola (2008) cita que os setores públicos direcionam suas preocupações com relação a recursos hídricos principalmente a área de saneamento, onde a drenagem de águas pluvias está contemplada, pois a falta de eficiência nessa área desdobra-se em problemas instantâneos, causando grande prejuízo aos cofres públicos por conta de inundações, alagamentos e deterioramento da qualidade das águas, tornando-se fundamental que haja uma gestão eficiente e que integre as disciplinas de recursos hídricos, uso e ocupação do solo e saneamento.

Segundo Martins (2012), em geral as bacias hidrográficas são constituídas, conforme a vegetação, o tipo de solo, a declividade e demais particularidades, por elementos de drenagem naturais como córregos, riachos, rios, várzeas e pântanos, concebidos e alimentados pelas características do terreno somado as precipitações no local. A exorbitante ocupação urbana do solo proporcionou alterações relevantes neste sistema natural de drenagem, sobretudo pela inserção de elementos impermeabilizantes artificiais, gerando aumento da vazão de descarga. Assim, é necessário então um sistema capaz de manter o sistema viário em pleno funcionamento e o acesso aos loteamentos e habitações dos indivíduos, garantindo a qualidade de vida adequada.

O gerenciamento da água pluvial se dá através de legislações competentes,

respaldada em princípios e diretrizes de planejamento, que tem a função de propor a configuração administrativa e funcional por um sistema de controle que é composto por um conjunto de organizações públicas e privadas, com propósito de se fazer cumprir a lei, para que haja disponibilidade hídrica e um sistema de drenagem adequado, garantindo ainda que haja um desenvolvimento sustentável com a preservação do meio físico e de todos os grupos sociais (SILVA; PRUSKI, 2005; VIOLA, 2008). A dinâmica deste funcionamento é representada na Figura 4.

Figura 4 – Dinâmica de gestão de águas superficiais



Fonte: VIOLA (2008).

Segundo Tucci (2012), a dinâmica da gestão da água pluvial urbana pode ser detalhada deste modo:

- Planejamento urbano: O uso e ocupação do solo fica a critério dos elementos de infraestrutura;
- Saneamento: Inclui os serviços de drenagem urbana, abastecimento de água potável, captação de esgoto sanitário e coleta de resíduos sólidos;
- Metas: Preservação do meio ambiente e melhoria de qualidade de vida nos meios urbanos, reduzindo inundações e diminuindo doenças sanitárias
- Institucional: Engloba a gestão dos serviços, legislações, treinamentos para qualificação e fiscalização.

Tucci (2012, 2015) relata que as políticas de controle dos problemas relacionados ao mal escoamento das águas pluviais contemplam as medidas necessárias para minimizar os impactos de inundações, classificadas conforme sua origem em medidas estruturais e não estruturais, podendo ser executadas em

conjunto ou isoladas, conforme a necessidade de cada caso.

Os projetos e obras de engenharia tem o objetivo de corrigir ou prevenir os impactos das enchentes, com modelos estruturais de controle. Para a realidade atual, as medidas estruturais buscam modelos sustentáveis, buscando reter o escoamento por meio de infiltração ou armazenamento, adotando medidas de acordo com o cenário e problemática desenvolvida em cada área.

As regras de controle são exercidas nas fases iniciais de desenvolvimento do projeto, abrangendo os loteamentos, parques, praças, estacionamentos e passeios, controlando a máxima vazão por meio de micro reservatórios ou com áreas permeáveis, que recebem e absorvem o excesso de água que corre de áreas impermeáveis, recuperando a capacidade de infiltração do solo e, dessa maneira, viabilizando o abastecimento dos reservatórios naturais subterrâneos (TUCCI, 2003).

Para o aspecto de microdrenagem, as medidas para controle compreendem a captação de águas de escoamento superficial, advindas dos loteamentos, e encaminhando-a através de ramais condutores até um coletor principal ou córrego urbano. Entretanto, esta medida acaba colaborando para o problema de aumento do volume e velocidade do escoamento superficial, pois acarreta na redução do tempo de concentração devido aos aspectos físicos do projeto, podendo provocar sobrecarga ao sistema ou até a macrodrenagem (TUCCI, 2015).

Com relação a macrodrenagem, a realização de controle de vazão pode ser realizado por medidas estruturais ou não estruturais. Na primeira, são realizadas através de obras hidráulicas como os pôlderes, que são sistemas compostos por muros, reservatórios, dutos e bombas, responsáveis por acelerar a taxa de escoamento e a aumentar a capacidade de descarga dos rios, também com reservatórios de retenção, utilizados para retardar este escoamento, ou ainda, com as canalizações para desviar o caminho do escoamento. Já as medidas não estruturais, configuram a elaboração de regulamentos, normas e programas por meio da legislação de uso e ocupação do solo, da educação da população e da instalação de sistemas de alerta e previsão de enchentes (TUCCI, 2015).

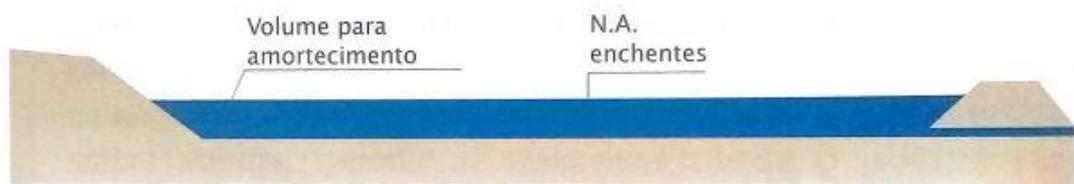
Segundo Tucci (2005), o aumento da impermeabilização causa um aumento direto da vazão máxima, sendo necessário o uso de estruturas de amortecimento do volume total, através de tanques e reservatórios, sejam de retenção ou detenção da água, impedindo que este aumento de vazão não seja levado para a jusante. Portanto, o principal objetivo destas estruturas é diminuir o impacto gerado pela redução da

capacidade natural de armazenamento da bacia.

Para Canholi (2005), os reservatórios podem ser separados da seguinte forma:

- **Bacia de detenção:** O local deste tipo de reservatório mantém-se completamente vazio nos períodos de seca, pois estes são projetados para reter certa quantidade de água superficial durante e após as chuvas, representado pela (Figura 5), sendo o tempo total de detenção geralmente abaixo de 24 horas, verificando-se diminuição do valor de volume no pico de saída comparado ao de entrada, atenuando o potencial erosivo nos corpos d'água receptores. Nos períodos em que essa área não está em atividade de uso para o qual foi designado, podem ser usada para fins diversos como áreas recreativas, promovendo maior eficiência pública desta área.

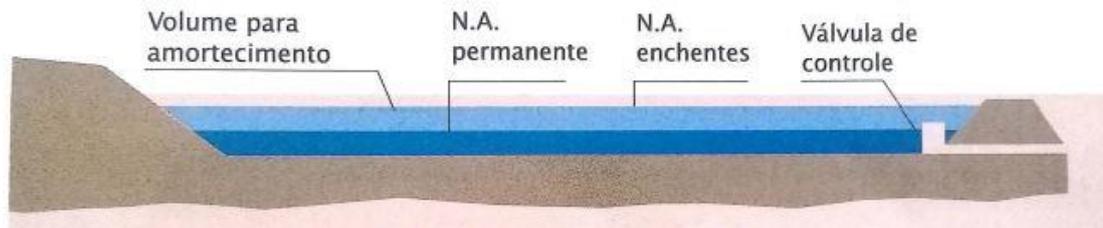
Figura 5 – Esquema de representação de uma bacia de detenção



Fonte: CANHOLI (2005).

- **Bacia de retenção:** Estes são reservatórios com um pequeno volume permanente de água, para impedir o crescimento de uma camada de vegetação, reduzindo a quantidade de matéria orgânica e poluição que é escoada para a jusante, possibilitando o tratamento e controle de qualidade das águas superficiais. Durante as enchentes ou logo após, o nível da água aumenta temporariamente acima dos seus níveis normais (Figura 6). São utilizadas com bastante frequência em zonas rurais, como meio de armazenamento de água para fins agropecuários e projetos de drenagem. Nas cidades, a área é bastante utilizada para o abastecimento de água, para paisagismo ou em atividades recreacionais.

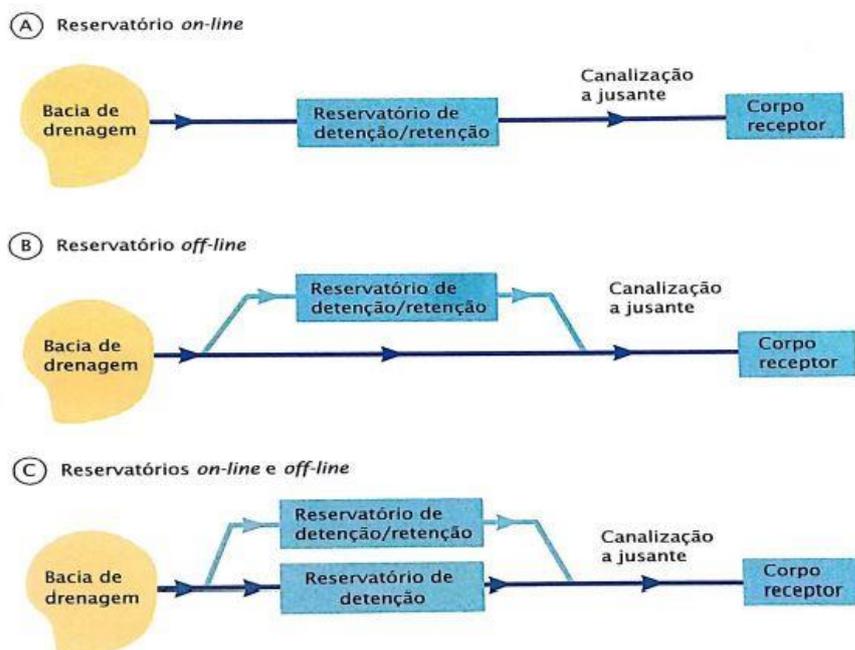
Figura 6 – Esquema de representação de uma bacia de retenção



Fonte: CANHOLI (2005).

Ainda de acordo com o autor, estes tipos principais de estruturas podem ser classificados como: reservatórios on-line e off-line, podendo funcionar de forma integrada (Figura 7). Geralmente acionados por gravidade, os reservatórios on-line são colocados na linha principal do sistema de drenagem, para retornar o escoamento de forma moderada e mais lenta. Já no tipo off-line, os reservatórios são colocados paralelos ao sistema, captando o excesso de água da rede principal durante as enchentes, devolvendo este volume excessivo posteriormente através de bombas ou válvulas controladoras assim que tiver cumprido o objetivo de reduzir os picos de vazão.

Figura 7 – Disposição de reservatórios on-line e off-line



Fonte: CANHOLI (2005).

As estruturas citadas podem também abranger outras finalidades, como ajustar o controle da qualidade da água, utilizando ambos os tipos de reservatórios, conectando os reservatórios, restando dessa forma os volumes iniciais do escoamento, os quais possuem geralmente maior carga de poluentes, oriundo do carregamento de resíduos das ruas e edificações (CANHOLI, 2005).

Além desta modalidade de estrutura para controle estrutural, tem-se também o sistema polder, que é formado por diques de proteção, sistemas de bombeamento, e redes de drenagem, com o intuito de proteção as áreas ribeirinhas próximas as margens e cotas abaixo do nível da lâmina d'água nos períodos de alagamento. Nos períodos de precipitações intensas, os diques ficam responsáveis por isolar áreas que provavelmente seriam condenadas, e o volume retido na superfície é escoado até as redes de drenagem e direcionados aos reservatórios, que por sua vez, bombeiam novamente a água para o corpo receptor após passado o pico de vazão (CANHOLI, 2005; TUCCI, 2005).

### **4.3 Legislação de uso e ocupação do solo**

As políticas de uso e ocupação do solo são importantes para o desenvolvimento adequado e uma boa qualidade de vida urbana, diminuindo os efeitos do aumento significativo do escoamento superficial gerado pela acentuada taxa de impermeabilização e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, que compromete a capacidade natural de armazenamento e no fluxo de escoamento das calhas dos rios, ocasionando enchentes e alagamentos (CANHOLI, 2005).

Segundo Tucci (2005), é de responsabilidade do município definir as regras e regulamentações de uso e ocupação do solo através do plano diretor, que é o instrumento técnico legal que tem como objetivo planejar e organizar o desenvolvimento socioeconômico dos meios urbanos de maneira sustentável, promovendo a segurança e o bem-estar da população, a proteção do meio ambiente, evitando de tal maneira prejuízos socioeconômicos.

No desenvolvimento das regulamentações incluídas no plano diretor, fica estabelecido as taxas de permeabilidade, que se referem a proporção de área restrita de edificação nos lotes, para permitir a redução do escoamento superficial, melhorando a infiltração de água no solo, possibilitando maior infiltração nos corpos subterrâneos e diminuindo os efeitos gerados pelas cheias, que causam os problemas

ambientais e socioeconômicos (PREFEITURA MUNICIPAL DE OURINHOS, 2018).

#### **4.4 Sistemas de drenagem superficial**

A definição de drenagem urbana é dita como um conjunto de medidas com as quais o objetivo é prover segurança e qualidade de vida da população, diminuindo quaisquer riscos e possíveis prejuízos causados por inundações e alagamentos, proporcionando dessa maneira, um desenvolvimento harmonioso e sustentável (PORTO, 2000)

Para Azevedo Neto e Fernández (2015), é imprescindível que haja conscientização da população para promover a redução de custos, sejam os causados por enchentes ou pelo projeto e execução das estruturas do sistema de drenagem, sendo necessário espaços para retenção/acumulação, infiltração natural e escoamento das águas superficiais, comprovando a importância econômica e ambiental de áreas verdes como os parques, jardins e margens de corpos d'água.

Invariavelmente existirá escoamento de água pluviais pela superfície, existindo ou não um sistema de drenagem competente, sendo a falta deste um agravante, aumentando significativamente as chances de que as águas provenientes de chuva se acumulem nas superfícies impermeabilizadas, ocasionando inundações e alagamentos (TOMINAGA, 2013).

A drenagem urbana pode ser dividida em dois grupos de sistemas: a microdrenagem e a macrodrenagem, onde na maioria das vezes a distinção entre as duas não é tão explícito. A macrodrenagem abrange a recepção das águas por uma série de coletores, que são compreendidas no conjunto de elementos da microdrenagem, que por sua vez, são os elementos responsáveis por captar e direcionar o escoamento das águas, conduzindo então para os corpos d'água naturais (TUCCI, 2000)

Os sistemas de drenagem abrangem as guias e sarjetas das vias públicas, bocas de lobo, galerias de drenagem, escadarias, e todos os outros elementos que fazem parte da estrutura deste sistema até o ponto final do percurso, onde ocorre o deságue do volume coletado nos corpos receptores. O objetivo destas estruturas é evitar erosão dos solos ao longo do trajeto, diminuindo o acúmulo de água nas calhas viárias nos níveis inferiores, ordenando a chegada da água no seu destino (SANTOS JÚNIOR, 2014)

#### 4.4.1 Parâmetros de dimensionamento

O conhecimento técnico adquirido por estudos e pesquisas na área da hidrologia são indispensáveis para o entendimento correto e profundo dos problemas reais de águas pluviais no meio urbano, sendo fundamental levantamento dos parâmetros e ensaios dos eventos hidrológicos, conhecendo abordagens que permitem um entendimento descomplicado e moderno do ambiente urbano, permitindo um sistema bem dimensionado e eficiente para a drenagem pluvial (RIGHETTO, 2009).

O projeto estrutural inicia-se com o estudo da bacia de drenagem como um todo, definindo os parâmetros hidrológicos necessários, como: tempo de retorno, tempo de concentração, coeficiente de deflúvio e vazão, intensidade média máxima de precipitação e vazão do escoamento superficial, e por conseguinte, dimensionar os elementos que constituem o sistema (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 1999).

##### 4.4.1.1 Tempo de retorno

Em hidrologia, o conceito de tempo de retorno é empregado com muita frequência no estudo de eventos máximos anuais, já que é definido como o tempo em que um evento pode ser igualado ou superado ao menos uma vez em um determinado período, compondo dessa forma um parâmetro muito relevante no dimensionamento das estruturas de drenagem, impossibilitando que estes fenômenos isolados apresentem qualquer risco para o sistema (DNIT, 2006).

O tempo de retorno ou período de recorrência, reflete o nível de proteção em um sistema, mas a escolha adequada acarreta certa complexidade, por conta da individualidade de cada local, portanto, na maior parte dos casos a escolha acaba sendo os postulados na literatura, que defini um tempo fixo em função de cada modalidade de edificação (Quadro 1). Faz-se importante ressaltar que, quanto maior for o período de retorno escolhido, mais robusta poderá ser a estrutura, implicando em um possível aumento de custos nas obras (PORTO, 2000; DNIT, 2006).

Quadro 1 – Tempo de retorno em função do tipo de ocupação

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2 – 5
	Áreas comerciais artérias de tráfego	5 – 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: TOMINAGA (2013)

Entretanto, a garantia de segurança da obra não esbarra apenas na escolha do período de recorrência, tornando importante também o cálculo do risco hidrológico, que exprimi a chance e falha da estrutura pelo menos uma vez ao longo da sua vida útil, mas este conceito também leva em consideração que ao projetar a obra com um dado tempo de retorno TR, em anos, esta será submetida a uma probabilidade 1/TR de falha todos os anos (MELLO; SILVA, 2013; PORTO, 2000). Assim, define-se o risco hidrológico conforme a fórmula expressa abaixo.

$$R = 100 * \left(1 - \left(1 - \left(\frac{1}{TR}\right)\right) * N\right) \quad (1)$$

Onde:

R – Risco hidrológico (%); TR – Tempo de retorno (anos); e N - Vida útil da estrutura (anos).

#### 4.4.1.2 Tempo de concentração

É dado o nome de tempo de concentração ao intervalo de tempo em que, a água leva para percorrer o caminho do ponto mais distante até o ponto da seção principal, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para a vazão a ser considerada na seção de saída correspondente (CANHOLI, 2005).

Para Collischon e Dornelles (2015), na definição do tempo de concentração,

são considerados o percurso total e a velocidade no qual a água escoar, portanto, quanto maior o tamanho da bacia, maior deverá ser o tempo de concentração, à vista disso, será menor em bacias pequenas e com maior declínio e maior em regiões de bacia plana, por conta da variação da velocidade.

São diversos os cálculos de tempo de concentração em função de cada tipo de bacia, que variam de acordo com os diferentes parâmetros de cada situação, como: área, inclinação, rugosidade do material e comprimento do talvegue, além da intensidade da chuva. Dessa forma, são originadas as fórmulas, partindo-se de estudos empíricos, realizados em campo ou reproduzidos em laboratório, se aproximando ao máximo das condições reais para que foram determinados (TUCCI, 2000).

Portanto, ainda conforme os autores supracitados, existe uma imprecisão relevante atrelada ao cálculo do tempo de concentração por conta da forma empírica como são definidos, já que cada fórmula busca exprimir um determinado tipo de escoamento conforme determinadas particularidades.

#### 4.4.1.3 Coeficiente de deflúvio e vazão

Este coeficiente, também conhecido como coeficiente de *runoff*, ou apenas coeficiente de escoamento superficial, é determinado como sendo a razão entre o volume total de um escoamento em dada superfície e o volume de precipitação total da bacia, concernindo uma precipitação específica ou a todas em um dado período de tempo. Dessa forma, o coeficiente é tão maior quanto maiores são a intensidade e a duração da precipitação (PINTO, 2008).

O aumento da superfície impermeável devido a urbanização implica proporcionalmente no coeficiente *runoff*, pois um dos aspectos para obtenção deste coeficiente é o reconhecimento e a medição de áreas que tiveram algum tipo de alteração da sua cobertura vegetal original, sendo assim, este parâmetro varia conforme o percentual de área impermeável da bacia (PACHECO, 2017)

O coeficiente de escoamento superficial, por sua vez, é utilizado para o cálculo de vazão máxima de escoamento, no chamado método racional, quanto multiplicado pela área da bacia e pela intensidade média máxima de precipitação da mesma (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004)

#### 4.4.1.4 Intensidade média máxima de precipitação

Este parâmetro é estabelecido como uma unidade de volume de água precipitada por unidade de tempo, sendo o tempo definido como equivalente ao próprio tempo de concentração em um determinado período de retorno e duração de chuva, que são estabelecidos durante a concepção do projeto de estruturas de drenagem pluvial (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004)

Como afirma Carvalho (2008), a intensidade de uma precipitação está ligada a extensão da bacia de contribuição pela qual ocorre uma chuva de maior intensidade, em uma área pequena e num menor espaço de tempo, ou também, uma chuva de pouca intensidade, que ocorre em uma área maior e em um maior intervalo de tempo.

Para Pruski, Brandão e Silva (2004), utiliza-se para relacionar a duração, frequência e intensidade de precipitação a Equação 2, na região desejada:

$$I = (K * TR^a) / (t + b)^c \quad (2)$$

Onde:

I – Intensidade média máxima de precipitação (mm/h);

TR – Tempo de retorno (anos);

t – Duração da precipitação (min); e

a, b, c, K – Parâmetros empíricos de ajuste (adimensional)

Para o cálculo de estruturas hidráulicas como galerias, sistemas de drenagem, canais, entre outros, é indispensável que se conheça estes parâmetros empíricos de ajuste (a, b, c, K), que variam de acordo com cada região, além da duração, frequência e intensidade de precipitação, que são as grandezas que representam uma precipitação (PEREIRA, 2007).

#### 4.4.1.5 Vazão do escoamento superficial

O cálculo da vazão é válido para realizar a previsão de enchentes, sendo esse um parâmetro essencial na concepção e nos cálculos de projeto das estruturas hidráulicas como os canais, as calhas, ramais, dentre outros. No cálculo de

dimensionamento, as vazões de escoamento superficial necessitam ser ponderadas nas circunstâncias mais desfavoráveis, para que o risco do projeto fique em conformidade com os seus objetivos, verificando as piores situações possíveis para que o sistema seja eficaz e não possibilite enchentes e inundações (TUCCI, 2000).

#### 4.4.1.6 Infiltração de águas pluviais

No solo, o processo de infiltração é definido como o escoamento da água presente na superfície na direção do interior do solo (TUCCI, 2000).

De acordo com Barbosa (2013), o solo comporta espaços vazios por onde a água permeia, e se acomoda, portanto, existe uma associação entre a capacidade de infiltração e as características da composição da estruturado solo. Existe uma relação proporcional entre a porosidade, a capacidade de infiltração, o tamanho das partículas e a distribuição granulométrica do solo, além do nível de saturação presente no local.

#### 4.4.2 Microdrenagem

Esta parte do sistema global de drenagem é composto por uma série de canais e condutores pluviais, de onde se inicia a coleta da água superficial nos níveis dos loteamentos ou ainda da rede urbana primária, encaminhando para o sistema de macrodrenagem. Esta etapa da drenagem é projetada para atender à drenagem de eventos hidrológicos com risco baixo á moderado (TOMINAGA, 2013).

Assim, o dimensionamento correto do projeto de microdrenagem junto a sua manutenção e limpeza regular, garantem um ótimo funcionamento da rede, garantindo uma boa qualidade de saneamento para a população, diminuindo a intensidade de ocorrência das inundações e alagamentos nas cidades (FCTH, 2012; TOMINAGA, 2013).

##### 4.4.2.1 Elementos de um sistema de microdrenagem

O sistema microdrenagem compreende um agrupamento de elementos essenciais, cada um com sua característica e terminologia própria (TUCCI, 2000; FCTH, 2012; TOMINAGA, 2013):

- Sarjeta: Trata-se de um canal no sentido longitudinal, situado entre o

meio fio e a via pública, feita para captar a água do escoamento superficial que recaem sobre as vias, e carrega-la até as bocas coletoras.

- Guia: Comumente conhecida como meio fio, as guias são estruturas, de concreto simples, feitas *in-loco* ou pré-moldadas, paralela ao eixo da via pública, e tangente ao passeio, sendo sua parte superior em nível com o passeio;
- Boca de lobo: São os dispositivos hidráulicos alocados no rebaixo da sarjeta, ou em nível com a guia, empregada para captar a água proveniente do escoamento superficial advindas da sarjeta. Podem ser classificadas entre boca coletora simples ou lateral, com grelha ou combinada;
- Galeria: Trata-se do sistema de condutos subterrâneos, designados a encaminhar as águas pluviais captadas pelos dispositivos de coleta;
- Trecho de galeria: São parcelas de canalizações, que formam as galerias, alocadas entre duas caixas de passagem ou poços de visita;
- Conduto de ligação: Os condutos de ligação são os responsáveis por direcionar a água pluvial captada pelas bocas coletoras até as galerias, ou ainda para os poços de visita;
- Caixa de passagem: São pontos estratégicos do sistema, que permitem a mudança de direção, declividade e diâmetro dos dutos.
- Poço de visita: São os instrumentos localizados em pontos planejados no sistema, que assim como as caixas de passagem, permitem a mudança de direção, diâmetro e declividade, porém, com a vantagem de possibilitar a manutenção e limpeza das canalizações
- Conduto forçado: Também como os elementos de escoamento superficial, são destinados a direcionar as águas superficiais, porém, a pressão de escoamento neste caso é dirente da pressão atmosférica;
- Estação elevatória: Também conhecida como estação de bombeamento, é um conjunto de estruturas e equipamentos hidráulicos, responsáveis por transvasar a água de um nível de drenagem inferior para um nível mais elevado, em situações que não permitem a condição de escoamento com uso da ação gravitacional, sendo necessário um sistema de bombeamento; e
- Elementos de dissipação de energia: São estruturas posicionadas à jusante dos corpos receptores, que dissipam a carga hidráulica através da redução de velocidade de escoamento, diminuindo o efeito erosivo da água. Como exemplo de

elementos dissipadores são as escadas hidráulicas, rampas, vertedor em degraus, escadas hidráulicas, entre outras.

Assim, conforme Tucci (2000), o projeto adequado de um sistema de microdrenagem eficiente, deve contar com planta de localização do sistema dentro do município, juntamente a planta geral da bacia contribuinte, percentual de taxa de ocupação, levantamento topográfico, permeabilidade e as áreas verdes citadas no plano diretor, além de projetos complementares que possam interferir na área de projeto, como redes de esgoto, redes pluviais ou outros serviços existentes no local.

#### **4.4.3 Macrodrenagem**

A macrodrenagem trata do sistema constituídos por elementos de dimensões maiores que as da microdrenagem, além de estruturas auxiliares, que podem ser naturais como rios, riachos e córregos, no formato de canais responsáveis pelo direcionamento final do escoamento superficial das águas pluviais captadas por todo o sistema de microdrenagem, buscando diminuir o impacto de erosões, assoreamentos e inundações de toda extensão do talvegue principal, melhorando as condições de escoamento globais das águas (FUNASA, 2007).

Conforme o aumento de escoamento superficial gerado pela urbanização, existe um maior controle sendo feito na macrodrenagem para evitar os impactos gerados pelo crescente volume de água escoada, através de canalizações dimensionadas com tempo de retorno que variam de 10 até 100 anos. Para impedir que enchentes ocorram, apenas pelo sistema de drenagem, teria de haver um redimensionamento dos elementos de toda a bacia, o que torna a medida impraticável economicamente, alternando a solução para um arranjo de medidas de controle atreladas com a combinação de aumento da capacidade de estruturas de amortecimento (SUDERHSA 2002).

No entanto, da mesma forma que no sistema antecedente, a manutenção da macrodrenagem é do mesmo modo importante, para manter o funcionamento adequado das estruturas que o integram, para evitar riscos de enchentes e problemas de poluição hídrica. Entre os serviços de manutenção principais, tem-se o desassoreamento e a limpeza de canais e estruturas de armazenamento (TOMINAGA, 2013).

#### 4.4.3.1 Elementos de um sistema de macrodrenagem

Entre os elementos que compõe o sistema de macrodrenagem, tem-se principalmente as estruturas de maiores dimensões, como os canais naturais ou artificiais, as galerias e os reservatórios de retenção e detenção (TOMINAGA, 2013).

Os canais livres apresentam, habitualmente, o mesmo nível de profundidade ao longo do seu percurso, não implicando diferença de pressão nos diferentes pontos, que é a responsável pela força impulsora do movimento do volume da água, entretanto, a inclinação deve ser suficiente para superar o atrito gerador de perda de carga no escoamento, matendo assim uma velocidade média adequada ao longo do trajeto, sendo assim, formando uma dinâmica de escoamento que se dá exclusivamente pela força da gravidade, procedendo na conjuntura de condutos livres (PERES, 2015).

Os canais abertos são sistematicamente utilizados no contexto de macrodrenagem, pois apresentam diversos tipos de vantagens, facilitando a limpeza e manutenção, possibilitando o escoamento de vazões maiores que as de projeto, além de uma integração com a paisagem, respeitando as áreas ribeirinhas. Porém, na contramão de seus aspectos positivos, estes canais tem limitações em relação a sua implantação em locais onde o espaço é restrito, como por exemplo em regiões de grande densidade urbana (FCTH, 2012).

As regiões de grande densidade urbana, frequentemente limitam o tamanho das obras que exigem maiores espaços, principalmente por conta do sistema viário, assim, na maioria das vezes são utilizadas as galerias de grandes dimensões, que podem apresentar dificuldade de limpeza, manutenção e, ainda, redução da sua capacidade de volume de escoamento, muitas vezes não satisfazendo as demandas necessária (PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE, 2011).

Em função do aumento do escoamento, devido a crescente impermeabilização urbana, a vazão máxima também é amplificada, carecendo de estruturas cooperantes, que provocam o amortecimento dessa vazão por meio do armazenamento intermitente de uma parcela do volume escoado, racionando-o em um período maior de escoamento, reduzino a vazão de pico em situações de enchentes, melhorando a qualidade da água e aumentando a taxa de recarga nos aquíferos, no caso de

armazenamento que possibilite a permeabilidade no solo. Estes reservatórios podem ser definidos como bacias de retenção e detenção (CANHOLI, 2005; GRIBBIN, 2009).

As bacias de retenção contêm um volume de água permanente na sua superfície, que se elevam em determinados períodos, durante ou após uma cheia, amortecendo assim o picos da vazão, podendo assumir outras finalidades urbanas como paisagísticas, recreacionais ou de abastecimento de água. (TUCCI, 2003; CANHOLI, 2005)

No caso das bacias de detenção, os reservatórios são utilizados como armazenamento durante um tempo, podendo contar com superfície de infiltração, e são responsáveis por manter parte da água acumulada durante ou após a ocorrência de precipitações, recolocando o volume na rede de forma mais lenta. Estas estruturas, diferentemente das bacias de retenção, ficam secas durante os períodos de estiagem, e podem ser utilizadas para fins recreativos, promovendo maior usabilidade da área, e ainda, melhorando a qualidade de água, já que os detritos são sedimentados, decantado e removidos para aterros sanitários. (PORTO, 2000; CANHOLI, 2005).

#### **4.5 Técnicas compensatórias de drenagem urbana**

Os sistemas de drenagem convencionais, adotados e implementados em áreas urbanas, frequentemente sofrem com algum tipo de alteração ao longo do tempo e acabam sobrecarregados devido a um aumento não previsto de áreas de contribuição, maiores taxas de impermeabilização do solo, entre outros. Para tanto, existe a busca no sentido de melhorar a integração das áreas urbanas com os ciclos naturais, utilizando-se de sistemas inovadores que promovem integração da tecnologia com os meios legais e sociais na melhoria dos sistemas de drenagem urbana (PORTO, 2015).

Dessa forma, são desenvolvidas alternativas ao sistema convencional conhecido, denominadas técnicas compensatórias, que tem como foco reduzir os impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos, contemplando os espaços urbanos com usos socioambientais em favor da população, presando pela a preservação dos recursos naturais do meio. (BAPTISTA, 2015).

As técnicas compensatórias muitas vezes não são aplicáveis em áreas já urbanizadas devido a dificuldade de implementação, como a incompatibilidade com a infraestrutura já instalada, com as ocupações existentes, dentre outros. Portanto, a identificação e superação destas barreiras trariam diversos benefícios previstos na

implementação de uma técnica compensatória adequada. Assim, como forma de amparo na escolha do tipo de técnicas compensatória a ser utilizada, são consideradas algumas variáveis, que podem ou não estar relacionadas com estas restrições em áreas já urbanizadas, e, portanto, é de suma importância que sejam identificados os limites e potencialidades no uso das técnicas em função das variáveis mais adequadas em cada situação (LOPES, 2021).

Pode-se ainda classificar os diferentes tipos de técnicas compensatórias em três grupos, as técnicas de controle lineares, as técnicas de controle pontuais e as técnicas de controle centralizado. As técnicas lineares são compostas por elementos longitudinais, aonde seu comprimento tem maior relevância do que a largura ou profundidade, sendo mais compatível com os direcionamentos dos sistemas viários, dentre as quais tem-se como exemplos: trincheiras, valas e valetas. As técnicas pontuais precisam de um menor espaço superficial para serem implementados, mas, em contrapartida necessitam geralmente de escavação profunda, exemplos: poços de infiltração e os reservatórios individuais. Já as técnicas de controle centralizado, são consideradas os tipos de bacia de retenção e detenção, que dependem de uma área de maior porte, porém com um layout de projeto bastante flexível, podendo ou não realizar o armazenamento temporário, minimizando dessa forma as enchentes do meio urbano, auxiliando na redução do volume de escoamento e da poluição de águas pluviais. (BAPTISTA, 2015).

#### **4.5.1 Poços de Infiltração**

Essa técnica é feita através da escavação de um poço no solo, geralmente revestido por tubos de concreto perfurados ou em tijolos de crivo, com uma manta geotêxtil fixada entre o solo e o revestimento. Na sua base é feita uma camada com agregados graúdos revestidos também pela manta geotêxtil, permitindo dessa forma que a água coletada seja infiltrada no solo (REIS, 2008).

Neste sistema, a água escoar diretamente para o poço por meio do sistema de microdrenagem. Entretanto, a sua capacidade é geralmente reduzida, o que o torna geralmente um dispositivo de auxílio complementar a outras obras de compensação. (BAPTISTA, 2015).

Com relação ao esgotamento do volume captado, pode ser feito simplesmente pela infiltração nos solos ou ainda com injeção no lençol freático, porém, geralmente

descartado esta última possibilidade devido aos riscos de contaminação da água. Portanto, o poço de infiltração auxilia na redução das vazões de pico e nos volumes de água excedentes no sistema de drenagem convencional (PERONI, 2018).

#### **4.5.2 Reservatórios individuais**

Nos reservatórios individuais o foco é a diminuição do impacto hidrológico através da detenção de água pluvial, permitindo inclusive que esta água seja utilizada para fins domésticos, para irrigação de plataformas, dentre outros. (TUCCI, 2000).

Seu abastecimento pode ser realizado pela coleta de água dos telhados através de um sistema de calhas, e o excesso pode ser encaminhado normalmente pela rede pluvial existente, necessitando manutenção e limpeza regularmente. (BAPTISTA, 2015).

Os principais pontos positivos deste dispositivo são a redução da vazão de pico, do volume de escoamento, da recarga de água subterrânea e flexibilidade de projeto, podendo se integrar com o sistema de drenagem já existente, não alterando o visual paisagístico do local.

#### **4.5.3 Trincheira**

As trincheiras de infiltração tem uma estrutura voltada para uma descarga de água realizada ao longo do seu trajeto, direcionando a água para o meio natural ou para o sistema convencional de drenagem. Sua estrutura permite uma redução da vazão de pico através de um revestimento permeável que garanta a infiltração de água no sistema. (BAPTISTA, 2015).

Ainda segundo o autor supracitado, as trincheiras permitem a redução das dimensões do sistema convencional, além de possibilitar uma recarga do lençol freático e reduzir a poluição de origem pluvial. Além disto, é uma estrutura de fácil implantação, principalmente em áreas com declividade menos acentuada, apesar de necessitar manutenção periódica e risco a poluição do lençol freático.

#### 4.5.4 Valas e valetas de infiltração

Estas estruturas são basicamente escavações realizadas no solo, que tem como objetivo promover uma redução das vazões de pico através da infiltração somada a retenção temporária ao longo de sua extensão, amenizando as curvas de vazão no tempo. O funcionamento consiste em uma entrada direta da água pluvial por meio do escoamento superficial e a sua evacuação se dá por meio de um sistema de infiltração no corpo da estrutura.

Da mesma maneira que ocorre do sistema de trincheiras, a manutenção deve ser periódica e deve-se observar a não ocorrência de uma declividade muito acentuada, pois neste cenário podem ocorrer erosões no solo ou ainda o surgimento de problematizações sanitárias. (BAPTISTA 2015).

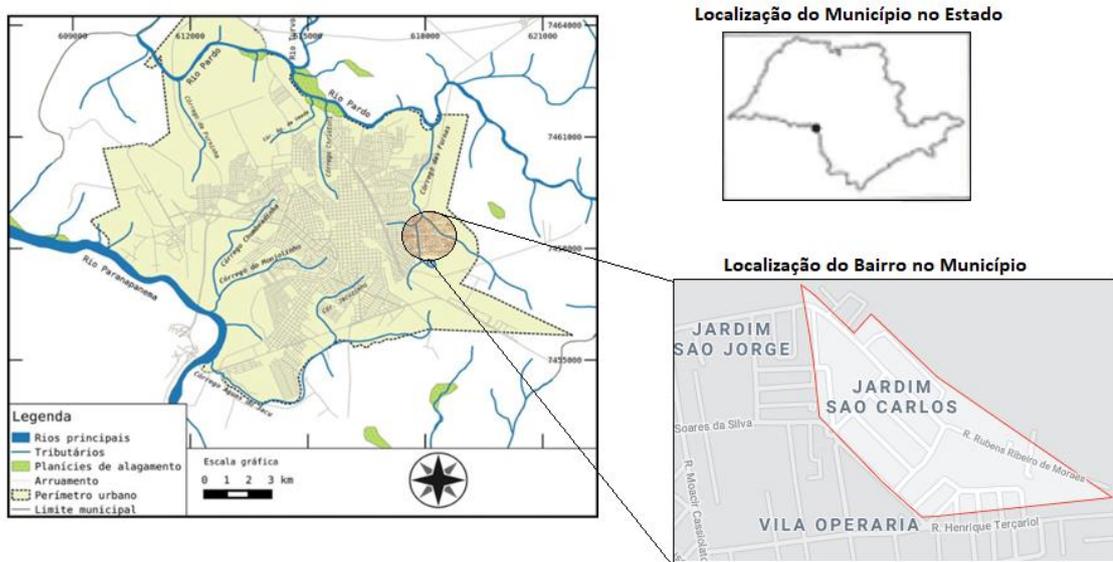
## 5 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

O local a ser estudado está situado no município de Ourinhos, a sudoeste do estado de São Paulo, pertencente a bacia hidrográfica do Paranapanema. A área total do município é de 295.818 km<sup>2</sup>, sendo 35 km<sup>2</sup> de área urbanizada, e sua população é estimada em 114352 habitantes, com uma densidade demográfica de 347,78 habitantes/km<sup>2</sup>, sendo o 75º mais populoso do estado de São Paulo. (IBGE, 2020)

Segundo EMBRAPA (1999), os solos da região do município são definidos como latossolos vermelhos, provenientes de um avançado processo de intemperismo do basalto, caracterizando um solo argiloso com alta condutividade hidráulica. Sendo ainda, conforme citado SIGRH (2000), esquadado em um grupo de clima controlado por massas de ar tropical e polar alternantes.

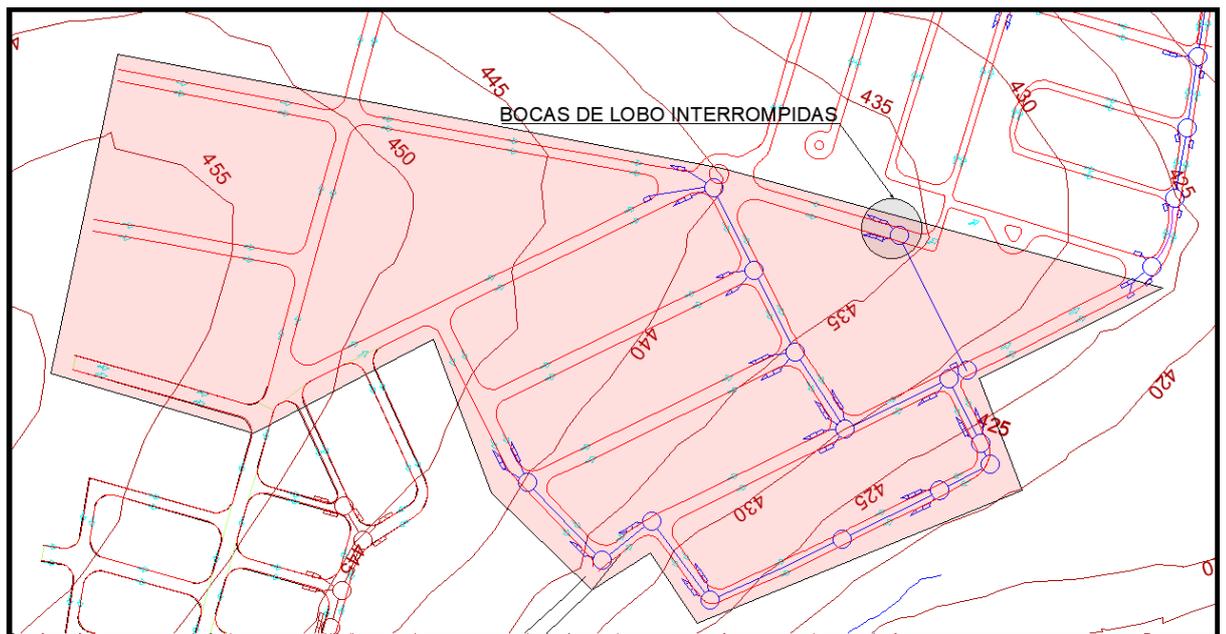
O local de estudo situa-se no loteamento na região leste do município (Figura 8), no bairro residencial da Vila Operaria, Jardim São Carlos. Este bairro possui uma área 0,1817 km<sup>2</sup>, composto por 09 quadras e 01 área verde, com altimetria íngreme, tendo um desnível máximo de 30 metros. O detalhamento do local é apresentado na (Figura 9).

Figura 8 – Localização do município na região sudoeste do estado de São Paulo



Fonte: Autoria própria, adaptado de Prefeitura Municipal de Ourinhos (2018)

Figura 9 – Planta de identificação do dispositivo interrompido na área de estudos



Fonte: Autoria própria, adaptado do Mapa de Galerias do plano diretor de Ourinhos-SP (2018)

## 6 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi dividido entre a etapa de definição dos parâmetros hidrológicos e o solucionamento proposto juntamente com o pré-dimensionamento do sistema.

### 6.1 Caracterização da bacia contribuinte

A primeira etapa de levantamento foi feita a partir da definição da microbacia contribuinte do local, que gera a vazão na qual será realizado o andamento do estudo. Assim, conforme o estabelecido no Quadro 2, considerando a utilização de um parâmetro médio, foi estabelecido a taxa mínima de área permeável como sendo 15% de área total dos lotes privados.

Quadro 2 – Características de ocupação dos lotes da cidade

PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE OURINHOS											
Quadro de Índices Urbanísticos do Zoneamento – Anexo 6											
zonas	denominação	coeficiente de aproveitamento	Características de Dimensionamento e Ocupação dos Lotes								
			básico (até)	lote mínimo (m <sup>2</sup> )	testada mínima (m)	recuos mínimos (m)				vagas p/ estacionamento/garagem	taxa máxima de ocupação do solo
					frente	esquina	lateral	fundos			
ZC	Zona de Centralidade	1,50	200(7)(8)	10	não exigido(3)	não exigido(3)	1,5(1)(3)	1,5(1)(3)	ver anexo 9	para terrenos com área até 100 m <sup>2</sup> – 90% (4)	para terrenos com área até 100 m <sup>2</sup> – 5% (9)
ZM	Zona Mista	1,50	200(7)(8)	10	não exigido(3)	não exigido(3)	1,5(1)(2)(3)	1,5(1)(2)(3)	ver anexo 9	para terrenos com área acima de 100 m <sup>2</sup> até 200 m <sup>2</sup> – 85% (4)	para terrenos com área acima de 100 m <sup>2</sup> até 200 m <sup>2</sup> – 10% (9)
ZPR	Zona Predominantemente Residencial	1,50	200(7)(8)	10	não exigido(3)	não exigido(3)	1,5(1)(2)(3)	1,5(1)(2)(3)	ver anexo 9	para terrenos com área acima de 200 m <sup>2</sup> até 500 m <sup>2</sup> – 80% (4)	para terrenos com área acima de 200 m <sup>2</sup> até 500 m <sup>2</sup> – 15% (9)
ZER-A	Zona Estritamente Residencial-A	1,50	300(7)(8)	10	não exigido	não exigido	1,5(1)	1,5(1)	ver anexo 9	para terrenos com área acima de 200 m <sup>2</sup> até 500 m <sup>2</sup> – 80% (4)	para terrenos com área acima de 200 m <sup>2</sup> até 500 m <sup>2</sup> – 15% (9)
ZER-B	Zona Estritamente Residencial-B	1,50	250(7)(8)	10	não exigido	não exigido	1,5(1)	1,5(1)	ver anexo 9	para terrenos com área acima de 200 m <sup>2</sup> até 500 m <sup>2</sup> – 80% (4)	para terrenos com área acima de 200 m <sup>2</sup> até 500 m <sup>2</sup> – 15% (9)
ZICS	Zona Industrial, Comercial e de	1,00	1.000	15	não exigido	não exigido	1,5(1)(3)	1,5(1)(3)	ver anexo 9		

Fonte: Plano Diretor Municipal de Ourinhos (2018).

### 6.2 Definição do coeficiente Runoff (C)

O coeficiente run-off é obtido como sendo a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado, portanto este coeficiente possui valores maiores para áreas impermeabilizadas.

Para diferentes tipos de superfície, tem-se o coeficiente conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Coeficiente de escoamento superficial / Run-Off

TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO "C"
<b>Ruas:</b>	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajetos de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
<b>Gramados; solos arenosos:</b>	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
<b>Gramados; solo compacto:</b>	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: DNIT – Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (2006)

Dessa forma foi adotado  $C(ai) = 0,95$  para áreas impermeáveis e  $C(ap) = 0,35$  para áreas permeáveis, optando pelos limites críticos superiores em razão de uma estimativa segura.

Afim de se encontrar um coeficiente equivalente a área, ponderando a proporção de áreas permeáveis e impermeáveis no local do estudo, utilizou-se a fórmula de média ponderada para encontrar um C equivalente, conforme Equação 3.

$$C_{eq} = \frac{\text{Área permeável total} * C(ai) + \text{Área impermeável total} * C(ap)}{\text{Área total}} \quad (3)$$

### 6.3 Definição do tempo de concentração (Tc)

O tempo de concentração é um fator que agrega uma imprecisão relevante por ser estimado através da definição de parâmetros empíricos e cada fórmula busca exprimir um tipo de escoamento em função de particularidades de cada região.

Dessa forma, optou-se por um tempo de concentração mínimo de 20 minutos,

mesmo se tratando de uma bacia pequena onde os valores, a depender da metodologia utilizada, seriam provavelmente inferiores a este.

#### 6.4 Definição do tempo de retorno (Tr)

A escolha do tempo de retorno pode variar conforme o tipo de ocupação da área de acordo com o Quadro 1. Entretanto será adotado, em função da segurança, um tempo de retorno de 25 anos.

#### 6.5 Definição da curva de intensidade, duração e frequência de chuva (IDF)

A região estudada não possui uma equação de chuvas intensas definida a partir de uma análise de dados histórica do local, portanto, a definição da curva IDF será definida pela cidade mais próxima a Ourinhos registrada no manual do DAEE (2018) sobre precipitações intensas no estado de São Paulo.

A cidade mais próxima é Salto Grande e fica a aproximadamente 10 quilômetros de distância de Ourinhos e apresenta uma disposição topográfica bastante parecida, além de estar no trajeto de ambos os Rios que passam pelas duas cidades Paranapanema e Pardo, o que traz uma aproximação pluviométrica satisfatória para o estudo.

O Quadro 4 exprime os valores das precipitações máximas em mm/h da cidade de Salto Grande, exprimidas a partir da Equação (4):

$$i, T = 26,46 (t+20)^{-0,8479} + 5,14(t+10)^{-0,8016} \cdot [-0,4713 - 0,8699 \ln [\ln (T/T-1)]] \quad (4)$$

Onde  $i$  é a intensidade da precipitação (mm/min),  $t$  é o tempo de precipitação (min) e  $TR$  é o período de retorno (anos).

Quadro 4 – Precipitações de máximas intensidades de chuvas em mm/h

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	84,5	112,1	130,3	140,6	147,8	153,3	170,4	187,4	204,3
20	66,5	86,4	99,6	107,0	112,2	116,2	128,6	140,8	153,0
30	55,1	70,9	81,4	87,3	91,4	94,6	104,4	114,2	123,9
60	37,1	47,2	53,9	57,6	60,3	62,3	68,6	74,8	81,0
120	23,1	29,2	33,3	35,6	37,2	38,4	42,3	46,0	49,8
180	17,1	21,6	24,6	26,3	27,5	28,4	31,2	34,0	36,8
360	9,9	12,6	14,3	15,3	16,0	16,5	18,2	19,8	21,5
720	5,6	7,2	8,2	8,8	9,2	9,5	10,4	11,4	12,3
1080	4,0	5,1	5,9	6,3	6,6	6,8	7,5	8,2	8,9
1440	3,2	4,0	4,6	5,0	5,2	5,4	5,9	6,5	7,0

Fonte: DAEE (2018).

Sendo assim, a intensidade utilizada nos cálculos de vazão superficial será de  $i = 116,20 \text{ mm/h}$  ou  $0,032 \text{ mm/s}$  ou ainda  $3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

## 6.6 Vazão superficial de escoamento

Existem diversas maneiras de se calcular uma estimativa de vazão para microdrenagem, porém, ao se tratar de áreas inferior de  $2 \text{ km}^2$ , tem-se uma aproximação satisfatório da vazão real a partir do método racional.

Este método é aplicado para determinação de vazões em projetos de bacias com até  $2 \text{ km}^2$  ou 200 hectares, adotando-se algumas prerrogativas: Considera-se a duração da chuva como sendo igual ao tempo de concentração; Adota-se um coeficiente run-off único, estimado neste caso pela ponderação das áreas permeáveis e não permeáveis do loteamento; e não avalia volume de cheias e distribuição temporal das vazões.

Sendo assim, a fórmula de vazão para o método racional é dado pela Equação (5):

$$Q = C * i * A \quad (5)$$

Onde Q é a vazão de projeto ( $\text{m}^3/\text{s}$ ); i é a intensidade da precipitação ( $\text{m/s}$ ); C é o coeficiente equivalente (adimensional); e A é a área da bacia ( $\text{m}^2$ ).

## 6.7 Capacidade de Escoamento das Sarjetas

As sarjetas são desenhadas no limite das guias e da via pública, formando uma espécie de calha que coleta as águas pluviais oriundas das vias.

Figura 10 – Exemplo de execução de sarjeta



Fonte: Kellner (2014).

Seu cálculo é realizado através das equações propostas por Izzard (1946), com um  $n$  geralmente igual a 0,016.

$$Q = 0,375 \cdot y_0^{8/3} \cdot \frac{Z}{n} \cdot \sqrt{I} \quad (6)$$

$$V = 0,958 \cdot \frac{1}{Z^{1/4}} \cdot \left(\frac{\sqrt{I}}{n}\right)^{3/9} \cdot Q_0^{1/4} \quad (7)$$

Onde:  $Q_0$  é a vazão da sarjeta ( $m^3/s$ );  $y_0$  é a altura da lâmina d'água junto à guia (m);  $Z$  é a relação entre a largura alagável ( $L$ ) e  $y_0$ ;  $n$  é o coeficiente de Manning.

## 6.8 Dissipador de energia do tipo escada hidráulica

As escadas hidráulicas são utilizadas a anos como forma de dissipador de energia. Segundo Toscano (1999), a dissipação de energia é a transformação da energia cinética do escoamento das águas, em energia de turbulência e consequentemente térmica, devido ao efeito de agitação do fluído. Geralmente este tipo de dissipador é posicionado ao final das estruturas, para promover uma proteção do corpo receptor de água.

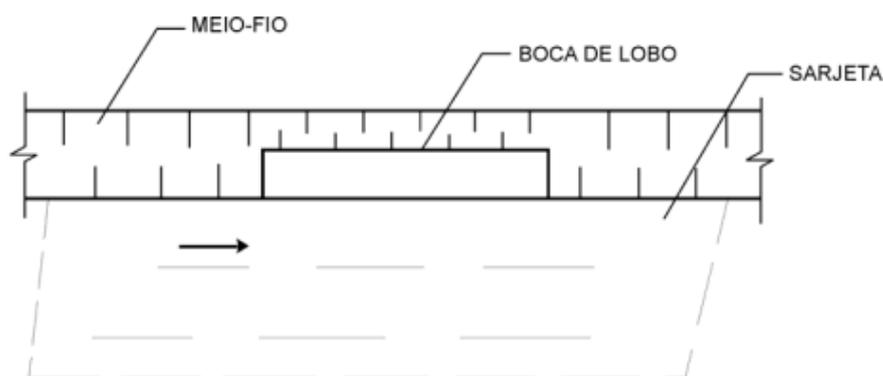
Portanto, o pré-dimensionamento prevê uma estrutura deste tipo afim de evitar possível erosão na entrada da bacia, de forma que, se necessário, serão realizados os cálculos no momento de sua implementação real.

Existem diversos métodos para o cálculo deste dispositivo, sendo assim, pode-se encontrar, caso haja o interesse, um método sofisticado em estudos feitos por Simões (2008), com a definição de um modelo prático de cálculo.

## 6.9 Capacidade de engolimento das bocas de lobo

As bocas de lobo são os dispositivos responsáveis pela captação das águas pluvias escoadas pelas sarjetas, e direcioná-las para as galerias subterrâneas. Elas tem duas classificações padrão, sendo diferenciadas entre simples ou lateral ou com grelha. As presentes no local do estudo são do tipo simples, tendo sua abertura vertical no meio-fio, denominada gui-chapéu e caixa coletora sob o passeio, conforme ilustrado na Figura 11:

Figura 11 – Esquema de boca de lobo do tipo simples



Fonte: DNIT (2006).

A capacidade de engolimento da boca de lobo simples fica em função da altura de abertura de entrada, junto a face do meio fio. Sendo assim, a capacidade de engolimento das bocas de lobo será calculada em função da altura de abertura ( $y$ ) a partir da fórmula 8, admitida pelo DNIT (2006), que pode ser utilizada para escoamento em superfície livre, onde a altura de lâmina d'água é igual ou inferior a abertura ( $y/h \leq 1$ ):

$$\frac{Q}{L} = 1,703 * y^{3/2} \quad (8)$$

Onde h é a altura da abertura no meio-fio (m); L é o comprimento da abertura (m); y é a altura da água na entrada (m); e Q é a vazão máxima de engolimento da boca de lobo (m<sup>3</sup>/s).

Ainda de acordo com o DNIT (2006), deverá ser adotado um coeficiente de redução da capacidade das bocas-de-lobo simples sendo de 0,8% sobre o valor teórico, de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5 – Esquema de boca de lobo do tipo simples

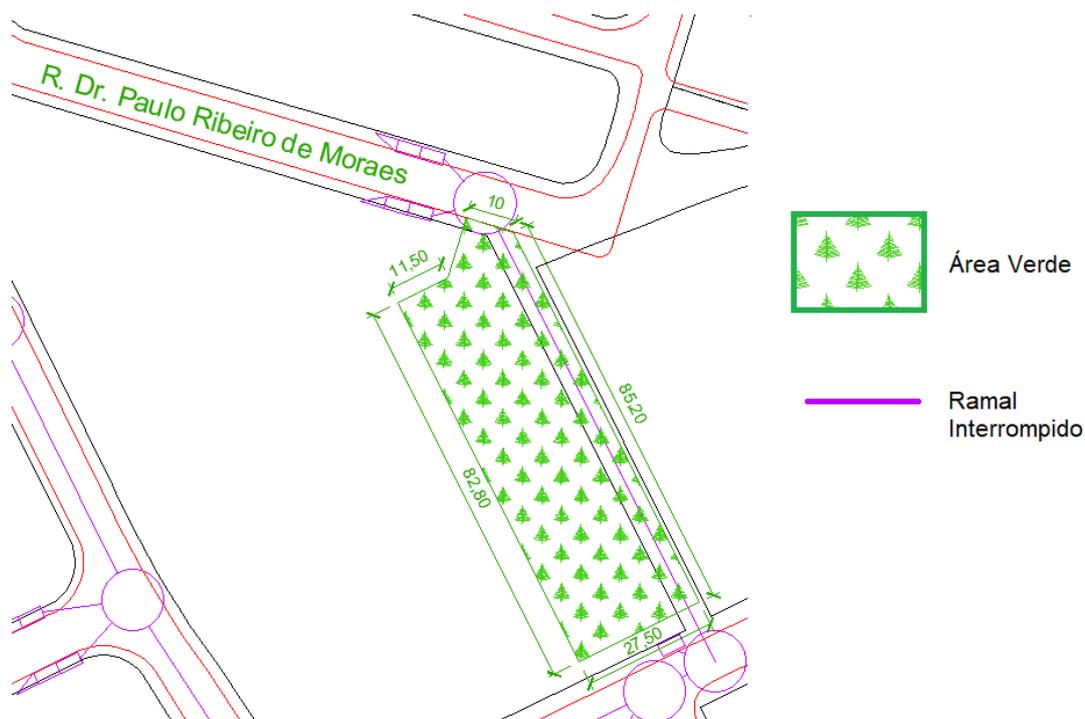
Localização nas Sarjetas	Tipo de Boca-de-Lobo	% permitida sobre o valor teórico
Ponto Baixo	Simples	80
Ponto Baixo	combinada	65
Ponto Baixo	Com grelha	50
Ponto Intermediário	Simples	80
Ponto Intermediário	Grelha longitudinal	60
Ponto Intermediário	Grelha transversal, ou longitudinal com barras Transversais	50
Ponto Intermediário	Combinada	110% dos valores indicados para a grelha correspondente

Fonte: DNIT (2006).

### 6.10 Definição da área disponível para implantação do sistema compensatório

No local foram realizadas as medidas na área verde do loteamento, definindo assim a região onde será implementada a técnica compensatória, conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12 – Identificação da área verde disponível no loteamento



Fonte: Autoria própria, adaptado do mapa de galerias do plano diretor de Ourinhos-SP.

Configurando assim uma área suficientemente grande para se projetar qualquer que seja o sistema escolhido.

### 6.11 Escolha do sistema compensatório

Analisando a área disponível para escolha e implementação do sistema, que se trata de uma área verde do loteamento, pré-definido pelas diretrizes do plano diretor, e, presando ainda por um cuidado especial com relação a valorização paisagística e habitat natural para alguns seres vivos, definiu-se que dentre todas as técnicas disponíveis e observadas, a mais compatível com a realidade do local seria a bacia de retenção.

Se trata de uma técnica de controle centralizada, já definida anteriormente no trabalho, que se aplica em áreas de drenagem de maior porte, com estruturas que permitem diversas configurações e solucionam problemas de excesso de água, mitigando o risco de enchentes, além de contribuir para redução da poluição de origem pluvial.

Dessa forma, o pré-dimensionamento será realizado dentro desta área disponível definida no item 6.8.

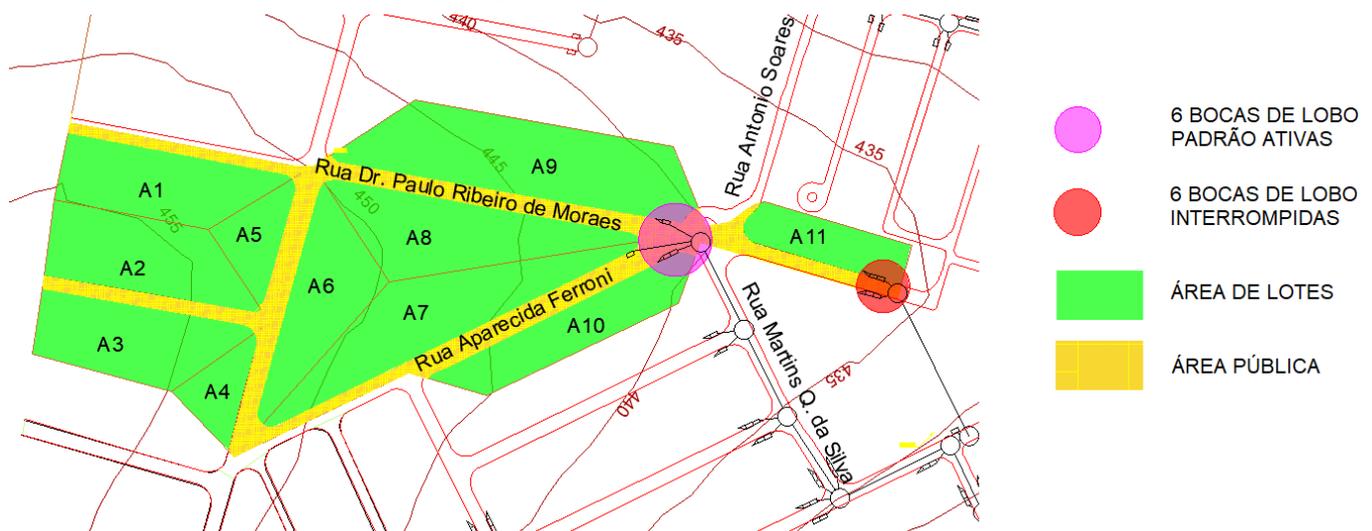
## 7 RESULTADOS

Os resultados obtidos foram calculados e apresentados na sequência.

### 7.1 Área de contribuição da bacia

Para definição da área de contribuição da bacia, foram definidas as divisões de um conjunto de áreas do loteamento, definidas com base no procedimento definidos no e-book de Engenharia Ambiental da Coleção UAB-UFSCar, onde a definição de cada área no loteamento será feita traçando-se a bissetriz dos ângulos nos pontos de interseção das vias para se ter uma divisão proporcional e adequada a cada parcela do loteamento. Para tanto, foi utilizado o mapa de galerias da cidade, conforme demonstrado na Figura 13 (KELLNER 2014).

Figura 13 – Identificação das áreas contribuintes da microbacia em estudo



Fonte: Autoria própria, adaptado do Mapa de Galerias do plano diretor de Ourinhos-SP.

A medição dos valores de área foram realizados através do software AutoCad, onde foram especificadas as áreas públicas e privadas, sendo os resultados demonstrados conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Definição de áreas da microbacia contribuinte

<b>Denominação da Área de Contribuição</b>	<b>Áreas privadas (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Áreas públicas (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área total</b>
<b>A1</b>	5793,71	1018,89	6812,6
<b>A2</b>	6234,81	662,43	6897,24
<b>A3</b>	5852,53	653,73	6506,26
<b>A4</b>	1915,39	411,63	2327,02
<b>A5</b>	2224,87	763,43	2988,3
<b>A6</b>	5404,86	1400,5	6805,36
<b>A7</b>	7761,71	2016,66	9778,37
<b>A8</b>	6889,11	1467,47	8356,58
<b>A9</b>	10409,67	1546,39	11956,06
<b>A10</b>	4984,41	1572,35	6556,76
<b>A11</b>	3041,73	1512,89	4554,62
<b>TOTAL</b>	<b>60512,80</b>	<b>13026,37</b>	<b>73539,17</b>

Fonte: Autoria própria

Sendo assim, o critério admitido para o estudo parte de uma análise de volume escoado a montante do ponto interrompido, sendo este absorvido em parte pelas bocas de lobo responsáveis pelas áreas A1 á A10.

- Áreas privadas (A1-A10) = 57471,07m<sup>2</sup>
- Áreas públicas (A1-A10) = 11513,48m<sup>2</sup>
- Áreas total (A1-A10) = 68984,55m<sup>2</sup>
- Áreas permeáveis (A1-A10) = Áreas privadas (A1-A10) x Taxa de permeabilidade (15%) = 8620,66m<sup>2</sup>
- Áreas impermeáveis (A1-A10) = Atotal(A1-A10) – Apermeável(A1-A10) = 60363,89m<sup>2</sup>

A área A11 tem contribuição total no ponto interrompido, necessitando que o cálculo de sua a área fosse realizado separadamente:

- Área privada (A11) = 3041,73m<sup>2</sup>
- Área pública (A11) = 1512,89m<sup>2</sup>

- Área total (A11) = 4554,62m<sup>2</sup>
- Área permeável (A11) = Área privada (A11)x Taxa de permeabilidade (15%) = 456,26m<sup>2</sup>
- Área impermeável (A11) = A total – A permeável = 4098,36m<sup>2</sup>

## 7.2 Cálculo do coeficiente equivalente (Ceq)

Para o cálculo do coeficiente equivalente através da Equação 7, foram consideradas as áreas totais 1 a 11:

$$Ceq = \frac{\text{Área permeável total} * 0,35 + \text{Área impermeável total} * 0,95}{\text{Área total}} \quad (9)$$

$$Ceq = \frac{(8620,66 + 456,26) * 0,35 + (60363,89 + 4098,36) * 0,95}{73539,17}$$

$$Ceq \cong 0,876$$

## 7.3 Vazão superficial de escoamento

Para dimensionamento da vazão escoada, tem-se o cálculo da vazão referente aos lotes de contribuição a montante, identificados pelas áreas 1 a 10 e posteriormente o cálculo da vazão complementar até o ponto interrompido, definida pela área 11.

Os valores foram obtidos a partir dos dados obtidos nos itens 6.2 e 6.5, e calculados em função de cada área, demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Definição da vazão em cada área de contribuição da microbacia

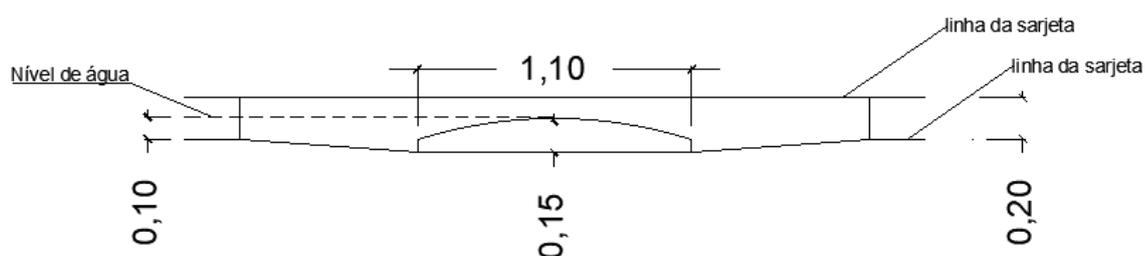
Denominação da Área de Contribuição	Área (m <sup>2</sup> )	Ceq	Intensidade da chuva inicial i (m/s)	Vazão escoada superficialment e Q (m <sup>3</sup> /s)	Total
1	6812,6	0,874	3,20E-05	0,19	1,93
2	6897,24	0,874	3,20E-05	0,19	
3	6506,26	0,874	3,20E-05	0,18	
4	2327,02	0,874	3,20E-05	0,07	
5	2988,3	0,874	3,20E-05	0,08	
6	6805,36	0,874	3,20E-05	0,19	
7	9778,37	0,874	3,20E-05	0,27	
8	8356,58	0,874	3,20E-05	0,23	
9	11956,06	0,874	3,20E-05	0,33	
10	6556,76	0,874	3,20E-05	0,18	
11	4554,62	0,874	3,20E-05	<b>0,13</b>	

Fonte: Autoria própria

#### 7.4 Capacidade de engolimento das bocas de lobo

Para definição da capacidade de engolimento das Bocas de lobo, foram identificadas no local as bocas de lobo do tipo simples, com altura de abertura  $h = 15,0$  cm e largura  $L = 1,10$  m, conforme esquematizado na Figura 14.

Figura 14 – Medidas das bocas de lobo no local do estudo



Fonte: Autoria própria

Sendo assim, a capacidade da boca de lobo fica definida pela Equação (8), onde  $y = 15\text{cm}$  e  $\alpha = 0,80$

$$\frac{Q}{L} = \left[ 1,703 * y^{\frac{3}{2}} \right] * \alpha$$

(10)

$$\frac{Q}{(1,10)} = \left[ 1,703 * 0,15^{\frac{3}{2}} \right] * 0,80$$

$$Q = 0,079\text{m}^3/\text{s}$$

## 7.5 Contribuição de vazão em função das áreas de contribuição

### ÁREAS A1-A10

$$Q_{A1-A10} \text{ (esc superficial)} = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{A1-A10} \text{ (engolimento das bocas de lobo)} = 0,474 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{A1-A10} \text{ (excedente)} = 1,93 - 0,477 = 1,453 \text{ m}^3/\text{s}$$

### ÁREA A11

$$Q_{A11} \text{ (esc superficial)} = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 7.6 Vazão de projeto a ser contemplada pela técnica compensatória definida

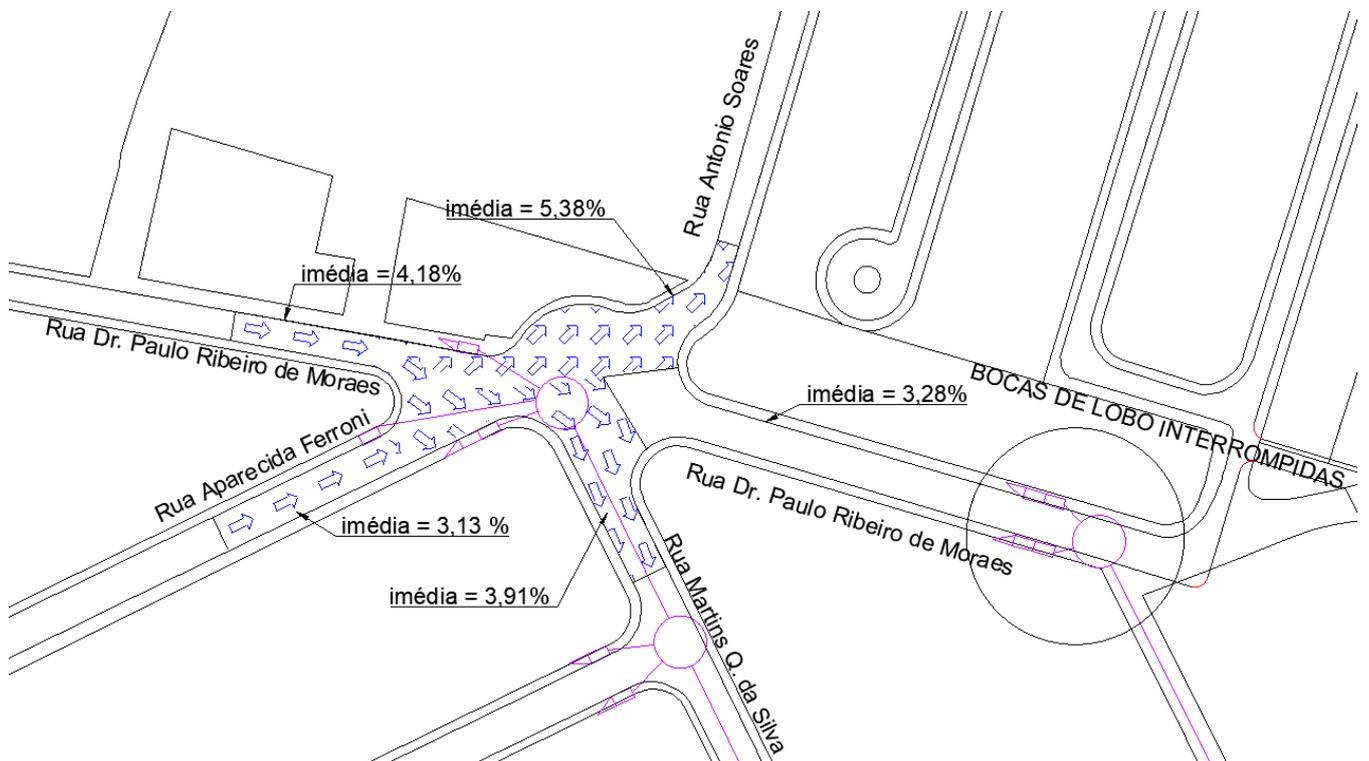
Para obtenção do valor de vazão de projeto a ser utilizado como parâmetro no cálculo do sistema compensatório, foi necessário definir qual seria a vazão excedente proveniente dos lotes a montante, além da própria área A11, que por sua vez tem toda a contribuição direcionada ao ponto de interesse.

Assim, através de uma análise visual em períodos de chuva, observou-se que

o percurso de escoamento da água percorre pelas ruas adjacentes aquela que interliga ao ponto de estudo. Além disso, para reforçar essa análise visual foi realizado o cálculo de inclinações em cada uma das vias, a partir do mapa topográfico, onde pôde-se observar que a inclinação dos trechos adjacentes é um pouco maior.

Dessa forma, fica verificado e admite-se que o excesso de água que eventualmente não for absorvido pelas bocas de lobo na intersecção das vias no cruzamento segue escoando pelas sarjetas, preferencialmente pela Rua Martins Q. Da Silva e Rua Antônio Soares da Silva, a partir do ponto de intersecção entre a Rua Dr. Paulo Ribeiro de Moraes e a Rua Aparecida Ferroni Leide, conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 15 – Direcionamento das vazões das áreas a montante A1-10



Fonte: Autoria própria, adaptado do mapa de galerias do plano diretor de Ourinhos-SP.

Dessa maneira, foi definida a vazão de projeto como sendo equivalente a calculada pela área de contribuição A11, ou seja,  $Q_{projeto} = Q_{(esc\ superficial)} = Q_{A11} = 0,13\ m^3/s$ .

## 7.7 Pré-Dimensionamento da Bacia de Retenção

No dimensionamento desta estrutura de detenção existem diversos métodos sugeridos, sendo a principal exigência, que exista uma área superficial disponível. entre mais simples até os mais elaborados. Conforme Canholi (2005), o caminho mais global constitui estimar os volumes de reservação tanto na fase de planejamento quanto na execução do projeto.

McCuen (1989) discorreu um método para realização de um pré-dimensionamento, com base no tempo de concentração da bacia ( $T_c$ ), para simplificar o processo adota-se um hidrograma triangular onde o tempo de pico é igual ao tempo de concentração, e o tempo base é o equivalente a duas vezes o tempo de concentração, ( $t_p = t_c = t_b/2$ ). A área a ser utilizada está delimitada na Figura 16.

Figura 16 - Região disponível para implementação da bacia de retenção



Fonte: Google Maps, adaptado, 2021.

O local é destinado como uso de área verde no loteamento, e apresenta uma vegetação local que colabora com a infiltração e retenção da água escoada até essa área, que será realizada pela própria tubulação que foi previamente interrompida.

As obras de retenção devem ter seu volume útil dimensionado para modelos

com maiores períodos de retorno, geralmente entre 10 e 100 anos (CANHOLI, 2005).

Portanto, observando-se análises de ponto ótimo de custo-benefício, feitas no (PDMAT, 2008) foi admitida a utilização de um período de retorno de 25 anos.

### **7.7.1 Definição do tipo de solo**

Os solos do município de Ourinhos-SP, de acordo com a EMBRAPA (1999) são os Latossolos Vermelhos, oriundos do intemperismo do basalto, Grupo São Bento, formação Serra Geral.

A partir deste contexto, foi realizada uma análise tátil e visual do solo, onde observou-se os seguintes aspectos:

- Teor de umidade elevado com pouca presença de matéria orgânica;
- Textura pegajosa e plástica, mas com algum aspecto de aspereza, indicando presença predominante de argila mas com algum teor de areia.
- Resistência ao solo seco: Ao analisar a resistência a pressão de uma parte mais seca do solo, observou-se que os torrões não eram quebradiços, indicando novamente presença de argila.
- Dispersão em água: Parte do solo sedimentou mais rápido, porém o restante ficou disperso em água por mais tempo.
- Impregnação: No teste de impregnação na palma da mão, o solo ficou aderido a mão quando sujeito a água corrente na torneira. Também foi feito o teste na folha branca, onde notou-se que o solo ficou aderido a folha com bastante facilidade.
- Teste de agitação: Neste último teste, pode-se observar que a água apareceu na superfície, porém ao pressionar o solo com o indicador a água refluía para o interior da pasta, indicado uma intermitência de comportamento entre areia e argila.

Essa conduta é típica do solo que predomina na área pesquisada, o latossolo vermelho, predominantemente argiloso, por ser oriundo da intemperização do basalto, entretanto, no local do estudo foi possível identificar a partir dos testes tátil-visuais que existe presença de areia, conforme Figura 17.

Figura 17 – Análise tátil-visual do solo do local do estudo



Fonte: Autoria Própria

Dessa maneira, considerando o fato de que se trata de um pré dimensionamento, não sendo um estudo rigoroso para implementação real de uma bacia de retenção, descartou-se a necessidade de um ensaio de laboratório para definição exata da sua composição, admitindo, portanto, que o solo em questão trata-se de uma mistura de solo argilo-arenoso com pouca presença de matéria orgânica.

### 7.7.2 Capacidade de infiltração

Para definição da capacidade de infiltração no solo, adotou-se valores de restrição para a implementação de uma bacia de retenção encontrados na tabela 5.3 do Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba-PR (2002), conforme Figura 18.

Figura 18 – Definição da tabela de restrições da capacidade de infiltração no solo

*Tabela 5.3- RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO NO SOLO*

Medida de Controle MC	Capacidade de Infiltração ( $\text{mmh}^{-1}$ )									
	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	7,0	13	25	60	200
Pavimento Poroso	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
Trincheira de infiltração	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
Vala de infiltração	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
Poço de Infiltração	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○
Microrreservatório (*)	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○
Bacia de detenção (**)	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Bacia de retenção	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Faixa gramada	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ viabilidade de implantação  
 ● viabilidade depende de condição específica  
 ● inviável, a princípio

(\*) variante infiltrante (sem fundo)  
 (\*\*) caso da variante chamada de bacia de infiltração

Fonte: Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba-PR (2002).

Os cálculos foram feitos a partir da situação mais favorável, sendo assim, de acordo com a tabela, o valor de coeficiente de infiltração (CI) viável para a bacia de retenção é de 13 mm/h, sendo assim:

$$CI = 13,0 \frac{mm}{h} = 3,6 \times 10^{-6} \frac{m}{s} \quad (11)$$

### 7.7.3 Volume mínimo de reservação da bacia de retenção

No estudo o volume mínimo de reservação será calculado a partir da vazão de projeto ( $Q_{projeto}$ ), considerando uma chuva de projeto de 20 minutos.

Dessa forma, o volume mínimo deve ser

$$V_{mín} = Q_{projeto} * T_c = 0,13 \frac{m^3}{seg} * 1200 \text{ seg} \quad (12)$$

$$V_{mín} = 156 \text{ m}^3 = 156.000 \text{ litros}$$

### 7.7.4 Dimensionamento da geometria da bacia de retenção

Para esta bacia, a geometria foi definida como trapezoidal, onde as inclinações dos talutes laterais terão ângulo de 45° (1:1), o comprimento será de 40 metros, a largura inferior de 9 metros e superior de 10 metros, e profundidade de 0,50 metros tendo uma capacidade total de armazenamento de 190.000 litros.

### 7.7.5 Verificação do tempo de esvaziamento

Como o funcionamento da bacia será prioritariamente para infiltração, o tempo de esvaziamento é extremamente importante, não excedendo 48 horas, pois pode ser considerado prejudicial a questões de saneamento, podendo se tornar um vetor de doenças sanitárias.

Considerando apenas infiltração pelo fundo, observado pelas medidas em planta da área da bacia ( $40 \times 10 = 400 \text{ m}^2$ ) e uma capacidade de infiltração (CI) de  $3,6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ , tem-se:

$$\text{Taxa de esvaziamento} = \text{Área da bacia} * CI = 400 \text{ m}^2 * 3,6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$Taxa\ de\ esvaziamento = 0,00144\ (m^3/s) = 1,44\ (litros/s)$$

Portanto, para um volume total da bacia de 190.000 litros, o tempo total ( $T_{total}$ ) de esvaziamento será de:

$$T_{total} = \frac{Volume\ da\ bacia}{Taxa\ de\ esvaziamento} = \frac{190.000\ litros}{1,44\ litros/s} \quad (13)$$

$$T_{total} = 125000,00\ segundos \cong 37\ horas$$

Caso seja necessário, o tempo de esvaziamento pode ser alterado modificando-se as medidas de área da bacia.

#### **7.7.6 Intercepção para o armazenamento**

Para o encaminhamento da água será feito por meio de captação no próprio ramal de coleta das bocas de lobo que foram interrompidas anteriormente, realizando a reabertura das bocas e utilizando um trecho do próprio sistema que estava desativado até então.

#### **7.7.7 Extravasor**

Para garantir a segurança da bacia em eventos de chuvas mais intensas do que as previstas pelo tempo de retorno utilizado, o projeto deverá contar com um extravasor de emergência do tipo vertedor de torre, de forma que sua cota seja igual a cota da lâmina d'água que corresponde ao volume máximo de reservação, para que descarregue o volume excedente que adentre a bacia e encaminhe o excesso até encontrar a rede de drenagem existente a jusante.

Uma outra alternativa seria se utilizar de um vertedor retangular de soleira, posicionado na face inferior da bacia, na sua cota máxima, de forma que a água excedente percorra pela própria superfície até chegar à via a jusante e adentrar pelas bocas de lobo no sistema já existente, conforme o exemplo da Figura 19, porém, neste caso existe o risco de o solo sofrer um processo de erosão caso não exista um preparo adequado na saída do extravasor.

Figura 19 – Exemplo de escoamento pela superfície

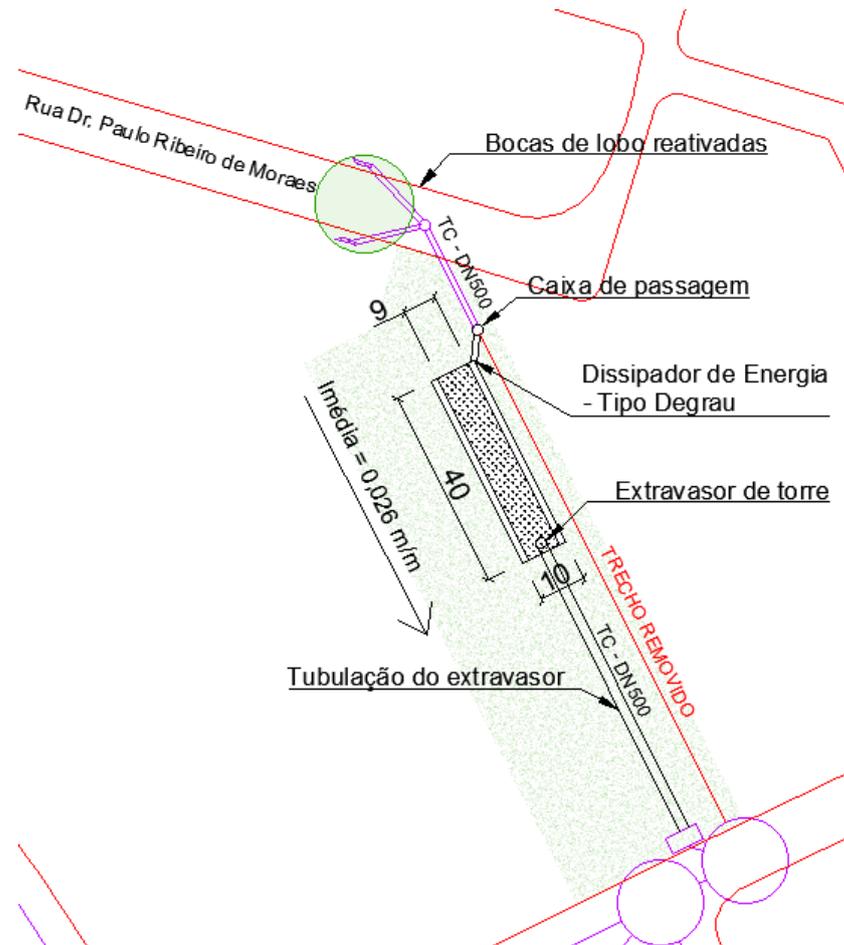


Fonte: Teixeira (2015)

#### **7.7.8 Esquema ilustrado da bacia de retenção**

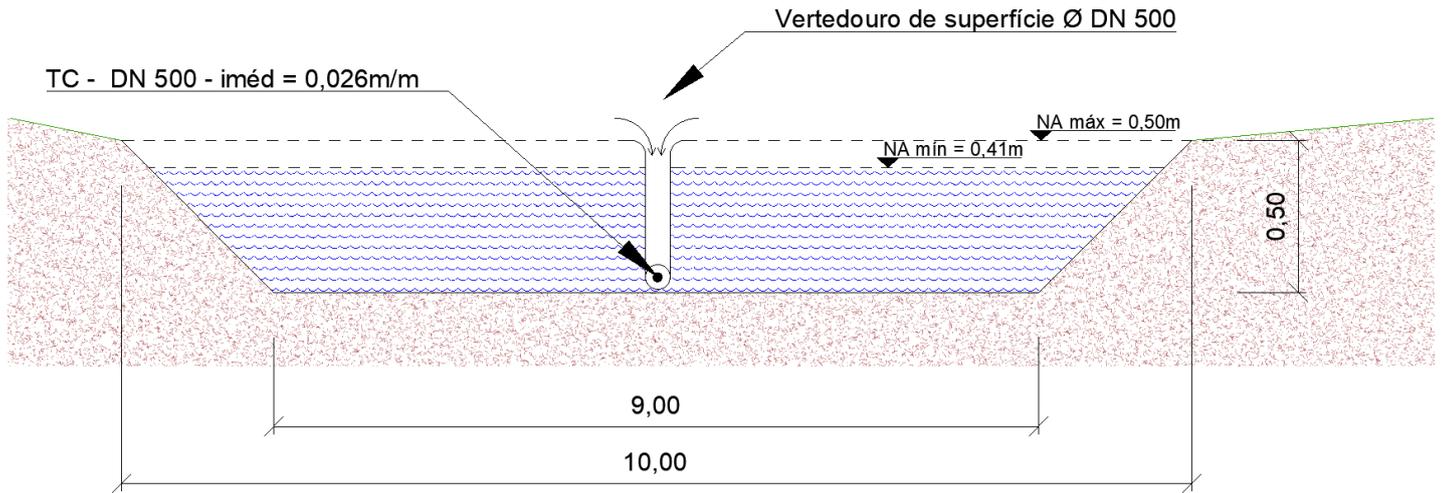
Por fim, as Figuras 20, 21 e 22 demonstram o esquema da bacia de retenção pré-dimensionada, com a planta baixa e dois cortes esquemáticos.

Figura 20 – Esquema em planta da bacia de retenção



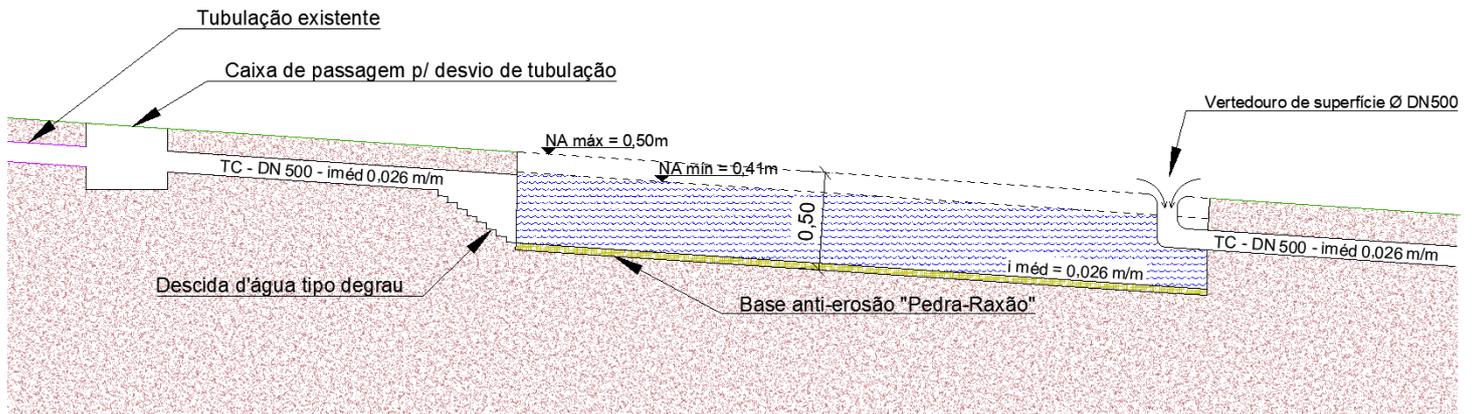
Fonte: Autoria própria

Figura 21 – Esquema de corte transversal da bacia de retenção



Fonte: Autoria própria

Figura 22 – Esquema de corte longitudinal da bacia de retenção



Fonte: Autoria própria

## 8 CONCLUSÃO

O objeto do estudo foi definido a partir do questionamento sobre os possíveis danos reais a serem causados pelo excesso de água na rede pluvial a partir da interrupção em parte do sistema existente. Com o desdobramento deste trabalho, foi possível analisar a circunstâncias e o levantamento dos parâmetros hidrológicos, para então propor a possibilidade do uso de um sistema de fosse de possível implementação dada as condições de limitações e potencialidades do local, explanadas ao longo da investigação.

Houveram algumas dificuldades com relação ao levantamento de alguns parâmetros para a definição exata da contribuição da microbacia a montante do ponto interrompido, visto que o loteamento já está estabelecido a bastante tempo. Portanto, os coeficientes foram definidos para os cenários críticos, em favor da segurança.

Ao longo da pesquisa, foi pleiteado a respeito do uso de outras técnicas possíveis, observando aquela que melhor se adapta para cada situação, identificando vantagens e desvantagens além da possibilidade de integração com os sistemas tradicionais já existentes, trazendo o alívio das vazões de pico e contribuindo para redução de problemas com o excesso de água causado pela urbanização intensa.

Dessa forma, atentando-se a praticidade de implantação e disponibilidade de área para realização da obra, optou-se pela bacia de retenção como alternativa de execução de menor custo e maior velocidade de execução, além de garantir uma integração paisagística e possibilitar usos diversos da área.

A investigação de um problema causado por uma interferência estrutural em sistemas de drenagem já implantados pode ser recorrente em diversos locais, que por sua vez também necessitam de uma solução rápida e ajustada a si, portanto, o presente trabalho assume um caráter de investigação e proposta de soluções para contextos semelhantes a este.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. Manual de Hidráulica. 9. ed. São Paulo: Blücher, 2015. 632 p.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. 2ª edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

BARBOSA JUNIOR, A.R. Elementos de Hidrologia Aplicada a Estudo de Graduação: 1, 2, 3, 4, 5 e 8. 2013. Disponível em: <http://http://www.somos.ufop.br/professor/antenor-rodrigues-barbosa-junior>. Acesso em: 10 ago. 2021.

BRASIL. Departamento nacional de infraestrutura de transportes – DNIT. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: [http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimentacao\\_Versao\\_Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf). Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL. Fundação nacional de saúde – FUNASA. Manual de Saneamento. Brasília, 2007.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CARVALHO, J. A. Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2008. 158 p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenheiros e ciências ambientais. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.

DAEE - CTH - Departamento de Águas e Energia Elétrica: Precipitações Intensas no Estado de São Paulo, 2018, Disponível em: [http://http://sibh.daee.sp.gov.br/chuvas\\_intensas](http://http://sibh.daee.sp.gov.br/chuvas_intensas). Acesso em: 28 set. 2021.

DAEE - PDMAT - Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê, 2008. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/site/macrodrenagem/>. Acesso em: 15 out. 2021.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999.

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. Alterações do ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente. Revista Ateliê Geográfico, Goiânia, v. 5, n. 3, p. 239-254, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/atelie/article/view/16703>. Acesso em: 03 abr. 2021.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA – FCTH. Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo. São Paulo, 2012.

GOOGLE 2021. Ourinhos - Google Maps. Disponível em: <http://www.google.pt/maps/place/Ourinhos+-+SP/@-22.955565,-49.9376322,33430m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x94c0183ca448f7cd:0x840f24dfc0c70824!8m2!3d-22.979652!4d-49.8666208?hl=pt-PT>. Acesso em: 01 nov. 2021.

GRIBBIN, J. E. Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) – Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/ourinhos.html>. Acesso em 11 jun. 2021.

IZZARD, C.F. Hydarulics of runoff from developed surfaces. Proceeding of the 26th annual meeting of the Highway Research Board, Washington, 26: 129-146, 1946

JOINVILLE. Prefeitura Municipal. Secretaria de administração. Plano de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira no município de Joinville. Joinville, 2011.

KELLNER, Erich. Introdução aos Sistemas de Saneamento. p. 253-272. Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014. Disponível em: <http://livresaber.sead.ufscar.br:8080/jspui/handle/123456789/2688>. Acesso em: 05 out. 2021.

LANNA, A. E. Gestão dos recursos hídricos. TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000. p. 727-764.

LOPES, Bruna Lamorea Veiga. Limites e Potencialidades da Utilização de Técnicas Compensatórias no Manejo de Águas Pluviais em Áreas já urbanizadas. 2021. 13 f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

MARTINS, J. R. S. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente. São Paulo, p. 1-11, jul. 2012. Disponível em: [http://www.daee.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras\\_Hidr%C3%Alulic/gestaodrenag em.pdf](http://www.daee.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidr%C3%Alulic/gestaodrenag em.pdf). Acesso em: 05 mai. 2021.

McCUEN, B.M. Hydrologic analysis and desing. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1989.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p.

MIRANDA, A. C; GOMES, H. P.; SILVA, M. O. Recursos hídricos: a gestão das águas, a preservação da vida. São Paulo: All Print Editora, 2006.

OURINHOS. Prefeitura Municipal. Plano Diretor Municipal. Ourinhos, 2018.

PACHECO, S. F. Evolução do coeficiente de escoamento superficial no campus de Ananindeua da Universidade Federal do Pará. Revista de Engenharia e Tecnologia, Pará, v. 9, n. 2, p. 229-239, 2017. Disponível em: <http://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11280>. Acesso em: 10 mai. 2021.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. SUDERHSA -Manual de drenagem urbana – região metropolitana de Curitiba-PR. Curitiba, 2002.

PEREIRA, S. B. Equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para a região de Dourados, MS. 1 ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. 17 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38739/1/BP200744.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2021.

PERES, J. G. Hidráulica agrícola. São Carlos: EdUFSCar, 2015. 429 p.

PERONI, C. Z. Avaliação de Bacias de Detenção na Gestão de Águas Pluviais em Araraquara, SP. Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – UFSCar, 2018.

PINTO, N. L. S. et al. Hidrologia básica. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

PLANETA BIOLOGIA, 2021. O ciclo da água na natureza: o que é, como ocorre. Disponível em: [http:// planetabiologia.com/ciclo-da-agua-na-natureza-fases-e-processos-do-ciclo-da-agua](http://planetabiologia.com/ciclo-da-agua-na-natureza-fases-e-processos-do-ciclo-da-agua). Acesso em: 02 abr. 2021.

PORTO, R. L. et al. Drenagem urbana. Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000. p. 805-842.

PORTO, Rubem. Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2015.

PREMIO JOVEM CIENTISTA, 2013. Gestão das águas no meio urbano. Disponível em: <http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/noticias.html>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. Escoamento superficial. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004. 87 p.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008.

RIGHETTO, A. M. et al. Manejo de águas pluviais urbanas. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396 p.

SANTOS JÚNIOR, V. J. Avaliação da fragilidade do sistema de drenagem pluvial urbana: o caso da bacia hidrográfica do córrego das Melancias em Montes Claros – MG. Revista Monografias Ambientais, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3986-3997, 2014. Disponível em: <http://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/15125>. Acesso em: 08

mai. 2021.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal. Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana. São Paulo, 1999.

SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/apresentacaosigrh>. Acesso em: 11 jun. 2021.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005. 659 p.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000. p. 35-40.

-SIMÕES, ANDRÉ LUIZ ANDRADE. Considerações sobre a hidráulica de vertedouros em degraus. Metodologias adimensionais para pré-dimensionamento. USP- São Carlos, 2008, 258páginas. Dissertação de mestrado.

TEIXEIRA, Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira. Exemplo de escoamento pela superfície – Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos, 2015.

TOMINAGA, E. N. S. Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte. 2013. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) -Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

-TOSCANO, MAURO. Estudo dos dissipadores de energia para obras hidráulicas de pequeno porte. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999, 119 páginas.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano: BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; CIMINELLI, V. S. T. (Org.). Águas doces no Brasil. 4. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2015. p. 391-424.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. Revista Ciência e Cultura, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v55n4/a20v55n4.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2021.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial, TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000.

TUCCI, C. E. M. Gestão da drenagem urbana. Brasília: CEPAL; IPEA, 2012. 50 p.

TUCCI, C. E. M. Gestão das águas pluviais urbanas. 1. ed. Brasília: Ministério das Cidades/UNESCO, 2005. 194 p.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. Clima e recursos hídricos no Brasil. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2003. 348 p.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. Revista

Universidade de São Paulo, São Paulo, n. 70, p. 24-35, 2006. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13529/15347>. Acesso em: 20 abr. 2021.

VIOLA, H. Gestão de águas pluviais em áreas urbanas – o estudo de caso da cidade do Samba. 2008.

VIOLA, H. Gestão de águas pluviais em áreas urbanas – o estudo de caso da cidade do Samba. 2008. 384 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético)-Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.