



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil

Curso de Graduação em Engenharia Civil

---



Napauria Pollyenne do Vale Ferreira

Aplicação de Método Hidrológico no Dimensionamento da Rede de Drenagem  
do Campus Morro do Cruzeiro

Ouro Preto

2015

Napauria Pollyenne do Vale Ferreira

Aplicação de Método Hidrológico no Dimensionamento da Rede de Drenagem  
do Campus Morro do Cruzeiro

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Ouro Preto como parte  
dos requisitos para a obtenção do  
Grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antenor Rodrigues Barbosa Junior

Ouro Preto  
2015

F383a

Ferreira, Napauria Pollyenne do Vale.

Aplicação de método hidrológico no dimensionamento da rede de drenagem do Campus Morro do Cruzeiro [manuscrito] / Napauria Pollyenne do Vale Ferreira. - 2015.

68f.: il.: color; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Antenor Rodrigues Barbosa Junior .

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

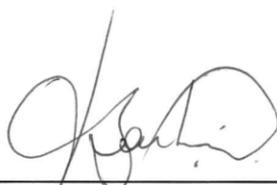
1. Bacias hidrográficas - Métodos Hidrológicos . 2. Drenagem Urbana . 3. Sistemas Pluviais - Avaliação. I. Junior , Antenor Rodrigues Barbosa . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624

Napauria Pollyenne do Vale Ferreira

Aplicação de Método Hidrológico no Dimensionamento da Rede de Drenagem  
do Campus Morro do Cruzeiro

Monografia de conclusão de curso  
para obtenção do Grau de  
Engenheiro Civil na Universidade  
Federal de Ouro Preto, defendida e  
aprovada em 10 de Julho de 2015,  
pela banca examinadora constituída  
pelos professores:



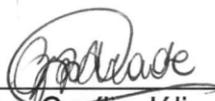
---

Prof. Antenor Rodrigues Barbosa Junior (D.Sc.) – Orientador – UFOP



---

Prof. Gilberto Queiroz da Silva (M.Sc.) – UFOP



---

Eng. Cecília Júlia da Silva Andrade – UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

**ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ATA No. 109 DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA A  
CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

DATA DA DEFESA: 10 /07/2015  
CANDIDATA: Napauria Pollyenne do Vale Ferreira  
ORIENTADOR: Prof. Antenor Rodrigues Barbosa Junior

BANCA EXAMINADORA:  
Prof. Antenor Rodrigues Barbosa Junior (D. Sc.) – UFOP (Presidente/Orientador)  
Prof. Gilberto Queiroz da Silva (M.Sc.) – UFOP  
Eng. Cecília Júlia da Silva Andrade

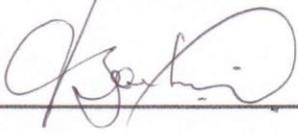
TÍTULO DO TRABALHO: Aplicação de método hidrológico no dimensionamento da rede de  
drenagem do *campus* Morro do Cruzeiro

Em sessão pública de defesa de trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, após  
exposição do trabalho e arguição oral do candidato pelos membros da banca, o trabalho foi  
avaliado com a seguinte nota: 9,0 (nove). Portanto:

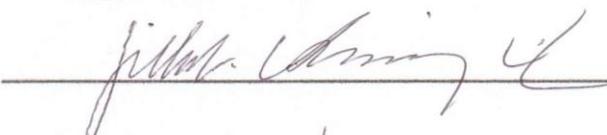
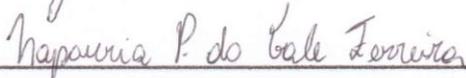
APROVADO  
 REPROVADO

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é abaixo assinada pelos  
membros da banca na ordem acima determinada e pelo candidato.

Ouro Preto, 10 de Julho de 2015

Presidente: \_\_\_\_\_  


Membros: \_\_\_\_\_  


Candidata: \_\_\_\_\_  
  


## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, meu Senhor e salvador. Ele me sustentou, me guardou e guiou durante toda essa etapa. Agradeço aos meus pais, meus tesouros, que nunca mediram esforços para me ver bem. Amo vocês! Ao meu irmão, Samuca, por todo carinho e amor.

Aos meus avós, Josino, Deolino, Ana e Lourdes. Vocês são meus exemplos de vida. Minha inspiração para ser uma pessoa melhor.

Aos meus familiares, tios e primos, pelo cuidado sempre presente.

Francisco, obrigada por fazer a continuação da caminhada valer a pena. Seu apoio e carinho são essenciais para mim. Você é um dos melhores presentes que Ouro Preto e a vida me deram!

Agradeço a minha amada República Moda Antiga, meu lar em Ouro Preto. Obrigada às minhas irmãs de alma, pelo cuidado e pelos momentos de alegria, em especial à Mih e à Fê por comprarem esse sonho junto comigo.

Aos amigos da Civil, Júlia, Cex, Luquinhas, Isaac, Tana, Pedrão, Tito, Emanuel, Larissa, Parmalat, Jaime, Carol, Ed, Pri, Fabrício! O que seria de mim sem vocês?!

Agradeço à cidade de Ouro Preto, meu aconchego! À UFOP, Escola de Minas e Fundação Gorceix por me proporcionarem um ensino de tradição e qualidade.

Sou imensamente grata ao professor Antenor Barbosa por toda a paciência em orientar essa “desorientada”. Ao professor Gilberto Queiroz pela seriedade no ensino, por aceitar fazer parte da banca avaliadora do meu TCC e por toda ajuda com este trabalho.

Vou levar com muito carinho os ensinamentos dos bons professores da universidade, Barbosa, Queiroz, Alexandre, Paulo Anderson, Jaime, Brigolini, Márcia, Romero, Donizetti, Rispolli, Cazati, Wenderson, Clarisse. Mestres vocês me inspiram!

Agradeço à Igreja Presbiteriana de Ouro Preto e à ABUB, e aos amigos de alma que fiz nessa missão, em especial à Lia!

À República Dusmininu, meus irmãos! Tetas, Ia Ia, Juju gracinha, Xu, Marcão, que nossa irmandade dure muitos e muitos anos!

Aos amigos Divar e Casão, pela zueira sempre presente!

Por fim, agradeço a todos que me auxiliaram nessa caminhada. Essa conquista não é só minha, é nossa!

*“Porque Dele e por Ele, e para Ele, são todas as coisas”*

*Romanos 11:36*

## Resumo

O crescimento desordenado das cidades gera consequências que podem ser catastróficas tanto para o meio ambiente como para os próprios habitantes daquele local. Sabe-se que o crescimento urbano é inevitável, porém o controle deste fenômeno deve ser feito como forma de garantir a segurança de todos os envolvidos nesse meio. Projetos de engenharia visam estabelecer o equilíbrio entre a ocupação do espaço pelo homem e as consequências desta ocupação. No âmbito do controle das chuvas que afetam uma cidade, a drenagem urbana tem a função de recolher a precipitação e dar o devido destino a essa água, encaminhando-a de volta aos cursos naturais e garantindo que a população seja minimamente afetada. Entendendo a importância da drenagem urbana, este trabalho tem a finalidade de reavaliar a rede de drenagem do Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto. Aplicou-se métodos hidrológicos para encontrar chuvas de projeto e vazões de escoamento atuais visto que o projeto do campus é antigo. Após encontradas as vazões para o local, fez-se o dimensionamento hidráulico da tubulação e a conferência com os dados existentes. Mesmo após sofrer intensa impermeabilização nos últimos anos, o projeto existente mostrou-se bastante eficaz. Foram sugeridas medidas não estruturais que auxiliem o controle das precipitações sem a necessidade de grandes e onerosas obras.

Palavras-chave: Métodos hidrológicos. Drenagem urbana. Avaliação de sistemas pluviais.

## **Abstract**

The uncontrolled growth of the cities creates consequences that can be catastrophic, both for the environment and for the inhabitants of that place. It is well known that urban growth is inevitable, but this phenomenon should be controlled in order to ensure the safety a balance between the occupation of the space by man and the following consequences of this use. In order to control the rains affecting a city, urban drainage serves to collect precipitation and give proper destination to the water, sending it back to natural courses and ensuring that the population is minimally affected. Understanding the importance of urban drainage, the present work aims to reassess the drainage network of Campus Morro do Cruzeiro of Universidade Federal de Ouro Preto. Hydrological methods were applied to determine project rainfalls and *runoff* current flows, since the campus design is old.

After founding the flows, the hydraulic design of the piping was made and the exiting data was conferred. Even after intense sealing in recent years, the existing design has proved quite effective. Non-structural measures were suggested to assist the control precipitation without need for large and costly works.

Keywords: Hydrological Methods. Urban Drainage. Evaluation of Pluvial Systems.

## Sumário

1. Introdução.....	12
2. Objetivo.....	13
2.1. Objetivos específicos.....	13
3. Revisão Bibliográfica.....	14
3.1. Ciclo Hidrológico.....	14
3.2. Inundações e enchentes.....	16
3.3. A Urbanização e suas Consequências.....	18
3.4. Medidas Estruturais e Medidas não Estruturais.....	19
3.5. Período de Retorno.....	21
3.6. Curva IDF.....	22
3.7. Bacia Hidrográfica.....	24
3.7.1. Principais Características Físicas da Bacia Hidrográfica.....	26
3.8. Drenagem Urbana.....	30
3.8.1. Microdrenagem.....	31
3.8.2. Macrodrenagem.....	33
3.9. Métodos de avaliação do escoamento superficial.....	34
3.9.1. Método Racional.....	36
3.10. Dimensionamento Hidráulico.....	37
4. Metodologia.....	39
4.1. Apresentação do Caso.....	39
4.2. Características da Região em Estudo.....	41
4.3. Escolha do Período de Retorno.....	42
4.4. Obtenção da Curva IDF.....	42
4.5. Estudo da Área de Drenagem.....	43
4.6. Aplicação do Método Racional.....	45
4.6.1. Cálculo do tempo de concentração.....	46
4.6.2. Chuva de Projeto para a cidade de Ouro Preto.....	47
4.6.3. Cálculo do Coeficiente de escoamento.....	47
4.6.4. Cálculo da Vazão de Escoamento.....	49
4.7. Dimensionamento Hidráulico.....	49
5. Resultados e Discussões.....	52
6. Conclusões e Recomendações.....	59
Bibliografia.....	61
Apêndice.....	63

## 1. Introdução

A ocupação de um espaço pelo homem tem como consequência diversas mudanças no cotidiano natural desse local e gera transformações geográficas no mesmo. Muitas dessas consequências são negativas e afetam tanto o ecossistema já presente quanto o próprio homem. Tal ocupação é decorrência do processo evolutivo global e não pode ser evitada, porém, deve ser controlada.

Como exemplo dessas modificações que desenvolvem resultados negativos pode-se citar a remoção da vegetação existente, a impermeabilização do solo, cursos de rios alterados, morros ocupados, entre outros. Toda a dinâmica do comportamento da natureza é alterada, e dependendo do grau de mudança do espaço a nova dinâmica estabelecida pode ter consequências desastrosas para o meio como um todo, homem e natureza. Extinção de espécies, deslizamento de encostas, poluição atmosférica, assoreamento de rios, entre outras situações que culminam em danos sociais, econômicos, ecológicos além de humanos.

Dessa forma, o ser humano tem como dever criar e implantar soluções que venham mitigar as consequências da conquista desse espaço. A criação de leis que delimitem a exploração do espaço e da natureza, o planejamento de ocupação de locais para habitação, a construção de obras de engenharia que visem estabelecer equilíbrio nesse ambiente, assim por diante.

Dentro desse contexto, a drenagem urbana caracteriza-se como uma ação que visa reduzir o impacto da diminuição da área de vegetação nas cidades durante as chuvas. Sabe-se que as plantas possuem importante papel na interceptação e infiltração durante precipitações, evitando erosão e excesso de escoamento superficial das águas das chuvas. Com a ocupação do solo, diminui-se as áreas de florestas e aumenta-se as áreas impermeabilizadas, contribuindo assim para um escoamento superficial maior e mais descontrolado.

Visando, então, dar um correto destino às águas pluviométricas, a drenagem urbana recolhe a chuva, a conduz de volta aos cursos d'água naturais e garante que seu caminho normal seja seguido. Assegurando assim o correto funcionamento do ciclo hidrológico e a manutenção da dinâmica das cidades, evitando problemas como inundações, erosões e deslizamento de encostas.

Reafirmando a importância desse processo, a drenagem urbana é um dos itens relacionados pelo saneamento básico, assim como abastecimento de água potável, tratamento de esgoto, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, controle de pragas e agentes patogênicos. O saneamento básico tem como fim salvaguardar a saúde da comunidade e é garantido em caráter universal pela lei federal 11.445/2007. Assim, todo projeto de engenharia que preze pela qualidade deve levar em consideração a correta drenagem da área de ocupação.

A Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, cumpre seu dever assegurando que o Campus Morro do Cruzeiro possua um sistema de recolhimento das águas pluviais. Conferir a eficiência desse sistema no âmbito de dimensionamento é objetivo desse trabalho. Dessa forma será possível assegurar seu correto uso e sugerir modificações para melhoria caso seja encontrado algum erro.

## 2. Objetivo

O presente trabalho teve por objetivo a avaliação de parte da rede de drenagem do Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais. O estudo compreendeu análises de umas das bacias do campus, cálculo do método adequado para a bacia em questão e comparação de resultados com projeto já existente.

### 2.1. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Aplicação de método hidrológico para obtenção de chuva de projeto e vazão de escoamento;
- Levantamento de dados da bacia analisada;
- Cálculo de dimensionamento hidráulico para tubulações da bacia estudada;
- Comparação dos dados encontrados com os já existentes;
- Proposição de melhorias nos pontos em que foram encontradas falhas.

### 3. Revisão Bibliográfica

#### 3.1. Ciclo Hidrológico

A água é encontrada em três estados, sólido, líquido e gasoso, seja na atmosfera, na superfície terrestre, no subsolo ou nas grandes massas constituídas pelos oceanos, mares e lagos. Barbosa (2014) divide esses ambientes em três unidades principais que compõem o planeta: atmosfera (camada gasosa que circunda o planeta); a hidrosfera (constituída pelas águas oceânicas e continentais); e a litosfera (ou crosta terrestre, camada sólida mais externa constituída por rochas e solos).

Ao constante movimento natural da água nesses espaços dá-se o nome de *Ciclo Hidrológico*. Este refere-se a troca contínua de água entre a hidrosfera, atmosfera e litosfera. Ele representa o caminho percorrido pela água nos seus três estados físicos e os fatores que impulsionam esse ciclo são a energia térmica solar (fonte de energia de todo o processo), a ação dos ventos (que transportam o vapor d'água) e a força da gravidade (principal força atuante) (BARBOSA, 2014).

O Ciclo Hidrológico será descrito a partir do vapor de água presente na atmosfera, com a finalidade de melhor compreensão do mesmo. Este vapor d'água sob determinadas condições meteorológicas condensa-se e pode vir a precipitar-se sob a forma de chuva, neve, granizo, nevoeiro, orvalho ou geada. A precipitação mais comum, e que interessa nos estudos de drenagem urbana, é na forma de chuva. Ao encontrar a superfície terrestre a precipitação possui três destinos básicos: *Interceptação*; *Infiltração*; e *Escoamento Superficial*. A figura 1 mostra, de forma esquemática, as etapas do ciclo hidrológico.

No primeiro, a cobertura vegetal intercepta o volume precipitado. A água acumulada nas folhas e caules volta a evaporar-se ou caso a capacidade de armazenamento na superfície dos vegetais seja excedida a água pode voltar a precipitar-se em direção ao solo. Vale ressaltar que durante o processo de queda em direção a superfície terrestre a precipitação já pode sofrer evaporação.

A infiltração, segundo destino citado, é o processo de percolação da água no solo quando há meio poroso neste. Tal processo ocorre enquanto a superfície do solo não se satura. Esta etapa tem fundamental importância para a formação

dos lençóis freáticos que alimentam os rios e para absorção de água pelas raízes dos vegetais, os quais a devolvem, quase toda, à atmosfera por *transpiração*, na forma de vapor de água. Destaca-se que para fins de estudos hidrológicos a evaporação dos solos e das plantas são considerados em conjunto sob a denominação de *evapotranspiração*.

Já o escoamento superficial, parcela de água que escoar sobre a superfície do terreno, ocorre quando a intensidade de precipitação supera a capacidade de infiltração do solo e depois de serem preenchidas as depressões armazenadoras da superfície. Essa parcela, por ação da gravidade, junta-se novamente aos cursos naturais d'água. Alguma evaporação também ocorre nesta etapa. Tucci (2004) afirma que em qualquer tempo e local por onde circula a água na superfície terrestre, seja nos continentes ou oceanos, há evaporação para a atmosfera, fenômeno que fecha o ciclo hidrológico descrito.

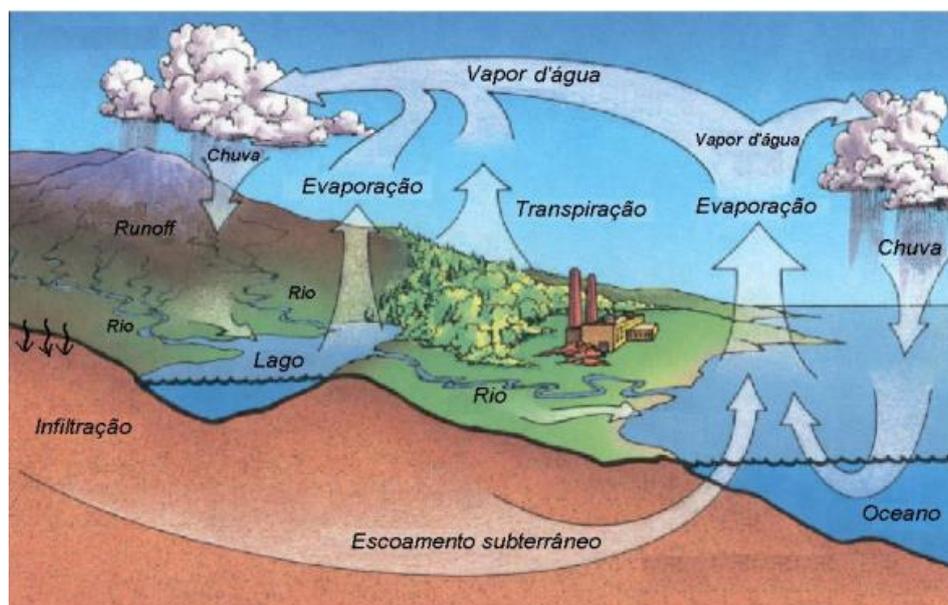


Figura 1 – Ilustração do Ciclo Hidrológico

(Fonte: Elementos de Hidrologia Aplicada, BARBOSA, 2014.)

Tucci (2004) sintetiza todas as etapas do ciclo hidrológico em duas:

O intercâmbio entre as circulações da superfície terrestre e da atmosfera, fechando o ciclo hidrológico, ocorre em dois sentidos: a) no sentido superfície-atmosfera, onde o fluxo de água ocorre fundamentalmente na forma de vapor, como decorrência dos fenômenos de evaporação e de transpiração, este último um fenômeno biológico; b) no sentido atmosfera-superfície, onde a transferência de água ocorre em qualquer estado físico, sendo mais significativas, em termos mundiais, as precipitações de chuva e neve.

Deve-se destacar que o ciclo hidrológico só pode ser considerado fechado em nível global. Para pequenas áreas de estudo o mesmo é considerado aberto devido ao fato de que volumes evaporados em determinados locais não precipitam necessariamente nesses mesmos ambientes. Pinto *et al.* (1976) sustenta que:

A “história” de cada gotícula de água pode variar consideravelmente, de acordo com as condições particulares com que se defronte em seu movimento. Em seu conjunto, entretanto, a contínua circulação que se processa às custas da energia solar mantém o balanço entre o volume de água na terra e a umidade atmosférica.

Wilken (1978) declara que as fases de precipitação e escoamento são as que interessam ao engenheiro projetista de galerias de águas pluviais. Corroborando tal pensamento, Pinto *et al.* (1976) apresenta valores obtidos para os Estados Unidos, do volume total que atinge o solo, cerca de 25% alcançam os oceanos na forma de escoamento superficial, enquanto 75% retornam à atmosfera por evaporação. Tais afirmativas sustentam a importância do estudo do escoamento superficial e as consequências da ocorrência do mesmo.

### 3.2. Inundações e enchentes

Inundações e enchentes são caracterizados como eventos naturais que ocorrem com certa periodicidade em um curso d'água. A magnitude e frequência desses eventos, como afirma Tominaga *et al.* (2011), ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água do solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem.

O Ministério das Cidades/ IPT (2007) define as diferenças entre *Inundação*, *Enchentes*, *Alagamento* e *Enxurrada*, sendo elas:

- Inundação: Representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea;
- Enchentes: São definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar;
- Alagamento: É um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem;
- Enxurrada: É o escoamento concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado às áreas de domínio dos processos pluviais.

A figura 2 ilustra a diferença entre uma situação normal do volume de água em um canal de um curso d'água e nos eventos de enchente e inundação.



Figura 2 – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação

(Fonte: Ministério das Cidades / IPT, 2007).

Tominaga *et al.* (2011) também cita que as inundações podem ter suas probabilidades de ocorrência analisadas pela combinação de fatores naturais e antrópicos. Como condicionantes naturais pode-se citar: formas de relevo; características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas; características do solo e o teor de umidade do mesmo; e presença ou ausência da cobertura vegetal. Já entre os condicionantes antrópicos citam-se: o uso e ocupação irregular das planícies e margens de cursos d'água; disposição irregular de lixo nas proximidades de cursos d'água; alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos

d'água (vazão, retificação, canalização, impermeabilização do solo, entre outros); e intenso processo de erosão dos solos e de assoreamento dos cursos d'água.

### 3.3. A Urbanização e suas Consequências

O crescimento das cidades em todo o mundo é um processo que tem aumentado muitos nas últimas décadas e que não demonstra indicativos de desaceleração, assim como, muito provavelmente, é irreversível. De acordo com dados da ONU, a população urbana mundial foi multiplicada por cinco entre 1950 e 2011. E foi em 2007, que pela primeira vez, o número de pessoas vivendo em cidades ultrapassou a quantidade daquelas que viviam no campo.

O grande problema desse fato é que em quase totalidade das zonas urbanas que sofreram expansão não havia, e não há, um plano de crescimento. Ou seja, as cidades tem inchado sem um planejamento adequado. Essa urbanização desordenada possui como consequências uma série de problemas sociais e ambientais, como: desemprego, ocupação de áreas inadequadas para construção, criminalidade, poluição do ar e da água. Destaca-se neste trabalho o impacto do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico.

O crescimento das áreas urbanas substitui grande parte da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento superficial, o que provoca grande impacto no ciclo hidrológico natural local. Tucci e Marques (2001) apresentam as seguintes alterações no referido ciclo:

- Redução da infiltração no solo, aumentando o escoamento superficial;
- A construção de condutos torna o escoamento mais rápido, ou seja, diminui o tempo de deslocamento. Desta forma, as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo;
- Com a diminuição da infiltração, reduz-se também o escoamento subterrâneo, responsável por alimentar os aquíferos;
- Redução da evapotranspiração devido a substituição da cobertura vegetal.

Como citado anteriormente o crescimento urbano não demonstra indícios de desaceleração. O que deve ser adotado, então, são políticas públicas que regulamentam a ocupação do espaço de forma sustentável. O crescimento das

ciudades deve ser planejado de forma a harmonizar o seu crescimento com o ambiental natural já presente no local, fazendo com que os impactos das transformações sejam os menores possíveis. No âmbito do ciclo hidrológico, e mais especificamente, tratando-se do escoamento superficial, a melhor maneira de recolher a precipitação que escoar e devolvê-la aos cursos naturais de água é por meio da construção de redes de drenagem.

#### 3.4. Medidas Estruturais e Medidas não Estruturais

Pode-se classificar as medidas para controle e prevenção de inundações como *estruturais* e *não estruturais*. O conjunto dessas ações incluem procedimentos de engenharia e de cunho social, econômico e administrativo.

As medidas estruturais podem ser definidas como medidas físicas que modificam o sistema fluvial de forma a deter, reter, diminuir ou aumentar a velocidade de escoamento. Seu objetivo é evitar danos e interrupções das atividades causadas pelas inundações (BARBOSA, 2014).

Alguns exemplos de medidas estruturais são citadas por Tucci (2004): controle da cobertura vegetal (a presença desta reduz as vazões máximas, devido ao amortecimento do escoamento); controle da erosão do solo (o aumento da erosão implica na redução da área de escoamento dos rios e conseqüente aumento dos seus níveis); diques ou polders (muros laterais construídos a uma certa distância das margens, que protegem as áreas ribeirinhas contra o extravasamento); modificações do rio (o aumento da seção transversal ou da velocidade, obtida com a redução da rugosidade, aumentam a vazão para um mesmo nível); e reservatórios (este retém parte do volume da enchente, reduzindo a vazão natural).

Já as medidas não estruturais não fazem uso de estruturas que alteram o regime de escoamento das águas superficiais. São medidas destinadas ao controle do uso e ocupação do solo e à diminuição da vulnerabilidade dos ocupantes das áreas de risco (BARBOSA, 2014).

Tomaz (2002) destaca as seguintes medidas não estruturais: programa de educação ambiental; participação pública na gestão dos recursos hídricos da bacia; programa de previsão hidrometeorológica; plano de contingência para episódios críticos de inundações; intensificação de medidas de controle da

impermeabilização de grandes áreas na bacia; disposição de resíduos sólidos; coleta e tratamento de efluentes domésticos e industriais; e controle do reuso da água.

Evidencia-se dois pontos, o primeiro em relação ao controle da urbanização e consequente impermeabilização do solo. Necessita-se de medidas públicas mais eficazes nesse âmbito, como um plano diretor de ocupação e fiscalização das construções, para evitar que as mesmas estejam em áreas ribeirinhas, por exemplo. O segundo ponto diz respeito à disposição dos resíduos sólidos. Novamente o poder público tem falhado no recolhimento destes resíduos. A população por sua vez faz o despejo dos mesmos em locais que atingem áreas de drenagem, fluindo até os rios da bacia.

O planejamento ideal da proteção contra a inundação e seus efeitos deve aliar os dois tipos de medidas, permitindo à população minimizar as perdas em eventual inundação e manter uma convivência harmoniosa com o ciclo hidrológico local.

Existe uma tendência de priorizar as medidas estruturais que, segundo Tucci (2004), não são projetadas para dar uma proteção completa. Isto exigiria a proteção contra a pior enchente possível, sendo fisicamente e economicamente impraticável. Este tipo de medida cria uma falsa sensação de segurança, levando a população e autoridades públicas a acreditar que podem ocupar áreas inundáveis, o que pode levar a prejuízos humanos e materiais no futuro. O autor ainda afirma que medidas não estruturais possuem resultados significativos na sua aplicação com menor custo. Tomaz (2002) ainda acrescenta que esse tipo de medida possui horizontes mais longos de eficiência.

Para auxiliar no planejamento eficaz da drenagem urbana de uma cidade, cada município brasileiro deveria ter seu próprio Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU). Porém, apenas 256 dos 5.564 municípios brasileiros possuem um PDDU no ano de 2015, de acordo com Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, ou seja, menos que 5% das cidades do país. O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem o objetivo de criar os mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionado com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana da cidade. Este planejamento visa

evitar perdas econômicas, melhorias das condições de saúde e meio ambiente da cidade.

### 3.5. Período de Retorno

Período de retorno é a estimativa de um tempo médio em que um evento hidrológico é igualado ou excedido ao menos uma vez. Righeto (1998 *apud* Tomaz, 2002) reconhece que o período de retorno é um parâmetro fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos, como reservatórios, canais, vertedouros, bueiros, galerias de águas pluviais, etc.

Tomaz (2002) ainda sustenta que para estabelecer o período de retorno de um determinado projeto é recomendado aliar bom senso e análise dos custos da obra e possíveis prejuízos em caso de falha. Tucci (2004) reitera que:

Ao decidir-se, portanto, que uma determinada obra será projetada por uma vazão com período de retorno  $T$  anos, automaticamente decide-se o grau de proteção conferido à população ou, em outras palavras, o risco a que esta população ainda está sujeita, mesmo depois da construção da obra. Trata-se, portanto, de escolher qual o risco aceitável pela comunidade. Evidentemente, este é um critério a ser definido em esferas políticas, uma vez que, pelo menos teoricamente, é a própria comunidade e seus representantes que deverão decidir o grau de proteção desejável e o quanto estão dispostos a pagar por ele.

A escolha e justificativa de um determinado período de retorno, para um projeto específico, prende-se a uma análise de economia e da segurança da obra (WILKEN, 1978). É um desafio saber ponderar os fatores que influenciam na escolha deste período. Por um lado preza-se pela segurança dos bens materiais e principalmente das vidas, por outro lado quanto maior o período de retorno, mais onerosa a obra fica e maior será o porte desta, interferindo ainda mais no ambiente urbano.

Como forma de auxiliar na escolha do período de retorno são adotados valores de uso recorrente no meio técnico. A tabela 1 mostra os números legitimados na literatura técnica e que desfrutam de certo consenso internacional.

Deve-se destacar também o conceito de risco, que é a probabilidade de uma obra vir a falhar pelo menos uma vez durante sua vida útil e é expressa por:

$$R = 1 - (1 - 1/T_r)^n$$

Onde,  $T_r$  é o período de retorno (anos);  $n$  é tempo de vida útil da obra (anos); e  $R$  é o risco (que varia entre 0 e 1).

Tabela 1 – Períodos de retorno para diferentes ocupações de área

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

(Fonte: DAEE/CETESB, 1980 apud Tucci, 2004)

### 3.6. Curva IDF

Em um projeto de galerias de águas pluviais é essencial a obtenção de dados pluviométricos, tornando-se necessário a medição simultânea da altura de chuva e do tempo. A quantidade de chuva é representada pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Ela é avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando aparelhos chamados *pluviômetros* ou *pluviógrafos* (PINTO *et al.*, 1976).

Barbosa (2014) caracteriza a diferença entre os dois aparelhos citados:

O pluviômetro é o aparelho totalizador, que marca a altura de chuva total acumulada em um dado período de tempo. É mais utilizado para totalizar a precipitação diária, requerendo que o operador more nas proximidades do aparelho. O pluviógrafo é o aparelho que registra automaticamente as variações da precipitação ao longo do tempo. Pode ser gráfico ou digital e é visitado periodicamente por um observador ou equipe que, normalmente, controla uma rede de aparelhos. Os locais onde são instalados os pluviógrafos e/ou pluviômetros são denominados *postos pluviométricos*.

A partir dos dados coletados nos postos pluviométricos faz-se uma análise estatística das séries de chuva, que podem ser anuais ou parciais. Séries anuais

fundamentam-se na seleção das maiores precipitações de cada ano dentro do intervalo de anos escolhidos. Já a série de dados parciais é utilizada quando o número de anos com registro é pequeno (menor que 12) e os tempos de retorno que serão utilizados são inferiores a 5 anos.

Para projetos de obras hidráulicas é necessário conhecer as três grandezas que caracterizam as precipitações máximas: intensidade, duração e frequência (ou tempo de retorno). A determinação destas três variáveis deve ser deduzida das observações das chuvas intensas durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos do local (TUCCI, 2004). O ajuste de uma distribuição estatística aos maiores valores anuais de precipitação para cada duração recebe o nome de curva i-d-f (intensidade-duração-frequência). Tucci (2004) também apresenta a metodologia para obtenção de uma curva

i-d-f:

- a) Para cada duração são obtidas as precipitações máximas anuais com base nos dados dos postos pluviométricos; b) para cada duração mencionada é ajustada uma distribuição estatística; c) dividindo a precipitação pela sua duração obtém-se a intensidade; d) as curvas resultantes são a relação i-d-f.

A figura 3 apresenta um gráfico com as curvas i-d-f da cidade de Porto Alegre/RS.

As curvas i-d-f também podem ser expressas por equações genéricas que têm a seguinte forma:

$$i = \frac{k \cdot T_r^m}{(c + t_d)^n}$$

Onde,  $i$  é a intensidade de precipitação (mm/h);  $T_r$  é o período de retorno (anos);  $t_d$  é o tempo de duração da chuva (min);  $k, m, c$  e  $n$  são parâmetros que devem ser determinados para cada local.

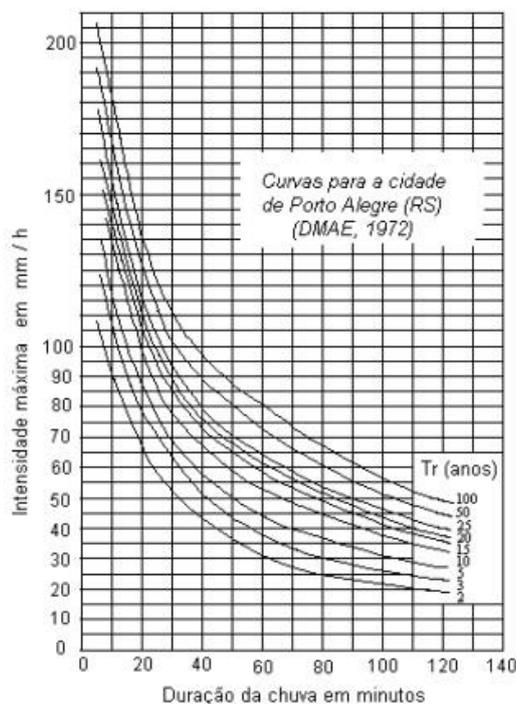


Figura 3 – Exemplificação de curvas i-d-f

(Fonte: Tucci *et al.*, 1993 apud Barbosa, 2014).

As curvas i-d-f também podem ser expressas por equações genéricas que têm a seguinte forma:

$$i = \frac{k \cdot T_r^m}{(c + t_d)^n}$$

Onde,  $i$  é a intensidade de precipitação (mm/h);  $T_r$  é o período de retorno (anos);  $t_d$  é o tempo de duração da chuva (min);  $k$ ,  $m$ ,  $c$  e  $n$  são parâmetros que devem ser determinados para cada local.

### 3.7. Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica ou bacia de contribuição de uma seção de um curso de água é a área geográfica coletora de água de chuva que, escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada (PINTO *et al.*, 1976). Tucci (2004) acrescenta que a bacia hidrográfica compõem-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água

que confluem até resultar um leito único no exutório. A figura 4 ilustra uma bacia hidrográfica e seu sistema de drenagem.



Figura 4 – Bacia hidrográfica genérica

(Fonte: <http://geoconceicao.blogspot.com.br/2011/08/bacias-hidrograficas-do-brasil.html>).

Os limites de uma bacia são definidos pelos divisores de água que a separam das bacias adjacentes. Uma bacia contribuinte tem um único despejo, que é um ponto no qual o curso d'água corta o divisor (WILKEN, 1978).

Esses divisores de água podem ser topográficos ou freáticos. O primeiro está condicionado pela topografia e fixa a área da qual provém o escoamento superficial direto. Já o divisor freático é determinado pela estrutura geológica, que estabelece os limites do reservatório de água subterrânea, estes garantem a perenidade dos cursos d'água na época de estiagem (BARBOSA, 2014). A figura 5 apresenta o corte transversal de uma bacia hidrográfica, possibilitando a identificação dos divisores topográfico e freático.

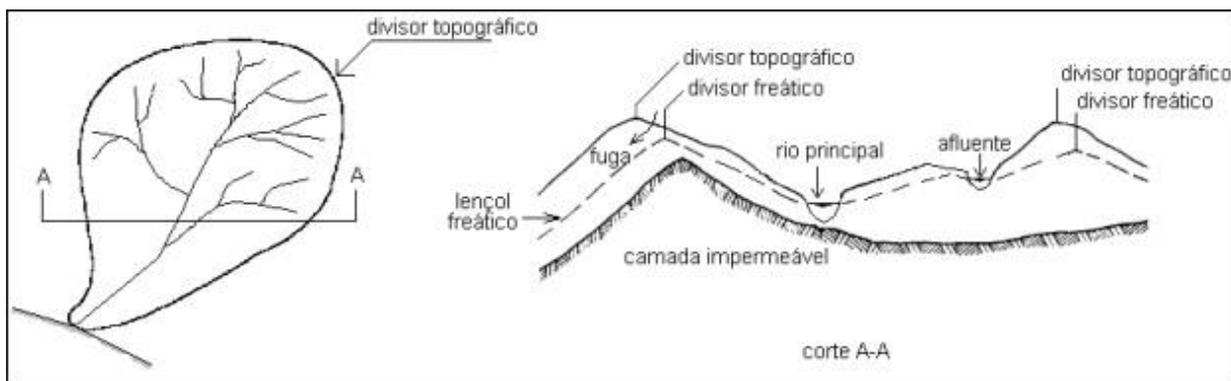


Figura 5 – Divisores topográficos de uma bacia

(Fonte: Villela e Mattos (1975) apud Barbosa (2014)).

### 3.7.1. Principais Características Físicas da Bacia Hidrográfica

Estudos hidrológicos auxiliam na obtenção da vazão de escoamento superficial que é usada para cálculos de obras de drenagem. Para alcançar tal vazão é necessário o conhecimento da bacia em estudo. Somente o conhecimento das características climáticas não é suficiente para determinar-se o escoamento superficial (*runoff*) da área analisada. Barbosa (2014) justifica esse fato ao explicar que duas bacias hidrográficas sujeitas as mesmas condições climáticas podem apresentar diferentes escoamentos superficiais pois essas diferenças se devem às características dos cursos d'água naturais e aos aspectos físicos das áreas drenadas por estes cursos d'água.

Isto posto, são apresentados as três principais características físicas de uma bacia hidrográfica necessárias para quantificação do escoamento superficial.

#### 3.7.1.1. Área de Drenagem

A área de drenagem de uma bacia hidrográfica é a área plana (projetada sobre o plano horizontal) compreendida entre os divisores topográficos da mesma. Tucci (2004) ressalta a importância dessa característica, pois a partir dela define-se a potencialidade hídrica de uma bacia: seu valor multiplicado pela altura de chuva precipitada define o volume de água recebido na bacia.

Barbosa (2014) define três caminhos básicos para obtenção do valor da área da bacia: com o uso de planímetro; eletronicamente (quando se dispõe do mapa digitalizado); e a partir do método das quadrículas, no qual é necessário superpor uma grade quadriculada em escala conhecida, fazer a contagem das quadrículas

interiores ao mapa e multiplicar este número pela área das quadrículas, obtendo assim a área total da bacia.

### 3.7.1.2. Coeficiente de Escoamento

O coeficiente de escoamento superficial (C), também conhecido como coeficiente de deflúvio superficial ou coeficiente de *runoff*, é definido, de acordo com PINTO *et al.* (1976), como a relação entre a quantidade total de água escoada pela seção ( $Vol_s$ ) e a quantidade total de água precipitada na bacia hidrográfica ( $Vol_T$ ):

$$C = \frac{Vol_s}{Vol_T}$$

Em outras palavras, o coeficiente de escoamento superficial representa a quantidade de água de escoamento gerada pela bacia em eventos chuvosos (TUCCI; MARQUES, 2001). Além disso, ele pode referir-se a uma dada precipitação ou a todas que ocorreram em um determinado intervalo de tempo.

Geralmente estes coeficientes são estimados com base em tabelas de manuais, como as fornecidas pela *American Society of Civil Engineers – ASCE* e pela prefeitura do município de São Paulo, dentre outros. Tais tabelas consideram o tipo de solo, a vegetação e alguns aspectos associados ao manuseio do solo e à urbanização.

Este coeficiente ainda sofre variação de acordo com a intensidade da precipitação. Quanto maior a magnitude desta menores serão as perdas por interceptação, infiltração e armazenamento em depressões, gerando um valor mais elevado de C. Sabendo-se que a intensidade de precipitação é função do período de retorno, o coeficiente de escoamento superficial é posto em função do período de retorno escolhido para o projeto (BARBOSA, 2014). A tabela 2 apresenta os multiplicadores de C de acordo com diferentes períodos de retorno.

Tabela 2 – Variação de C de acordo com o período de retorno

Tr (anos)	Multiplicador de C
2 a 10	1,00
25	1,00
50	1,20
100	1,25

(Fonte: Elementos de Hidrologia Aplicada, BARBOSA, 2014)

Ainda segundo Barbosa (2014), caso a área em estudo seja heterogênea, o C deve ser calculado por uma média ponderada em relação às áreas de diferentes coeficientes de escoamento superficial.

$$C = \frac{1}{A_t} \cdot (C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n)$$

Sendo n o número de sub-regiões e  $A_t = A_1 + A_2 + \dots + A_n$ .

### 3.7.1.3. Tempo de Concentração

Há duas definições para o tempo de concentração ( $t_c$ ). A primeira afirma que tempo de concentração é o período necessário para que toda a área da bacia considerada contribua com o escoamento superficial. Já a segunda definição enuncia que é a duração da trajetória da partícula de água que demora mais tempo para atingir a seção.

Tomaz (2002) apresenta três maneiras de transportar água em uma bacia: pelo escoamento superficial; pelo escoamento em tubos; e pelo escoamento em canais (inclusive sarjetas). O autor ainda afirma que esse dado é muito importante, porém, muito difícil de ser obtido. Tucci (2004) expõe que:

Existe uma grande quantidade de fórmulas que fornecem o valor de  $t_c$  em função de características da bacia (área, declividade, comprimento do talvegue, rugosidade das superfícies e outras) e, eventualmente, da intensidade da chuva. Essas fórmulas têm origem em estudos experimentais de campo ou de laboratórios e, portanto, devem ser aplicadas em condições que se aproximem daquelas para as quais foram determinadas.

Todavia, McCuen (1993 *apud* Tomaz, 2002) alerta que o verdadeiro valor do tempo de concentração nunca será determinado. Botelho (2011) propõe que para se saber a máxima vazão que ocorre em uma bacia, basta igualar o tempo de concentração da bacia ao tempo de duração da chuva. Já Porto (1995 *apud* Tomaz, 2002) recomenda que, sempre que possível, deve-se utilizar o método cinemático para os trechos canalizados da bacia, uma vez que as velocidades de escoamento dependem, grandemente, das características da bacia.

Barbosa (2014) define o método cinemático como o mais confiável para obtenção de  $t_c$  e indica o seguinte procedimento de cálculo: i) Dividir a bacia em trechos homogêneos (subtrechos); ii) Calcular a velocidade em cada subtrecho por meio da fórmula:

$$t_c = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{v_i}$$

Onde,  $t_c$  é o tempo de concentração (min);  $L_i$  é o comprimento de cada trecho homogêneo (m);  $v_i$  é a velocidade de escoamento no trecho (m/s).

Como o caminho percorrido é formado por trecho com características diferentes, como rugosidade e declividade, a velocidade é calculado pela seguinte equação:

$$v_i = C v_i . S_i^{0,5}$$

Na qual,  $S_i$  é a declividade do trecho em % e  $C v_i$  é um coeficiente dado pela tabela 3.

Tabela 3 – Valores para o coeficiente  $C_{vi}$  do Método Cinemático

tipo de cobertura	$C_{vi}$
Florestas densas	0,075
Campos naturais ou pouco cultivados	0,135
Pastos ralos ou gramas	0,210
Solos quase nus	0,300
Canais gramados	0,450
Superfícies pavimentadas	0,600

Fonte: Elementos de Hidrologia Aplicada (BARBOSA, 2014).

### 3.8. Drenagem Urbana

O sistema de Drenagem Urbana é toda a infraestrutura existente que tem como dever recolher e dar o devido destino às águas superficiais, sempre de forma segura e eficiente. Fazem parte deste processo as etapas de coleta, transporte e lançamento nos cursos d'água naturais. Pode ser definido ainda como parte de políticas públicas de melhoramentos, assim como a rede de abastecimento de água, rede de coleta de esgoto, rede de distribuição de energia e de comunicação, pavimentação de ruas, criação de área de lazer, entre outros. Dentro das políticas públicas de melhoramentos, a Drenagem Urbana pertence ao conjunto de itens que compõe o Sistema de Saneamento Básico, que é um direito de todo cidadão e é garantido por lei federal.

Possui duas singularidades, de acordo com Ramos *et al.* (1999), primeiro o fato de que mesmo inexistente continuará acontecendo o escoamento das águas pluviais, porém de forma irregular e que acarreta prejuízos para a sociedade; e segundo, sua solicitação não é contínua, ou seja, é um sistema utilizado de forma sazonal, somente em períodos de chuvas. Dessa forma, entende-se que a qualidade desse sistema é fundamental para garantir sua existência.

A Drenagem Urbana tem como objetivo final evitar inundações das áreas urbanas e facilitar o desenvolvimento desses espaços de forma harmônica, articulada e ambientalmente sustentável (PINHEIRO; PINTO, 2006). Sua execução e desempenho devem se orientar com o objetivo de diminuir a exposição da população e de seus bens aos riscos de inundação. É possível que existam chuvas que extrapolem às médias normais e concretizar um projeto

baseado em uma precipitação extrema pode ser inviável do ponto de vista econômico e construtivo. Assim, uma estrutura de drenagem deve garantir o menor nível de dano causado pelas chuvas ao cidadão dentro de um projeto praticável e financeiramente possível.

Também devem ser preservadas as áreas não urbanizadas (BARBOSA, 2014). As águas devem ser conduzidas e lançadas evitando erosão e sedimentação dos cursos naturais, minimizando as interferências com o escoamento das vazões de cheias, com sua capacidade de armazenamento, com os sistemas aquáticos e terrestres, e com a interface entre as águas superficiais e subterrâneas.

Inclui-se dentro desse projeto as devidas destinações de utilização de várzeas, evitando que as mesmas sejam ocupadas com construções de uso contínuo, como moradias, comércios e indústrias. Esses espaços podem ser utilizados para atividades de lazer e contemplação em períodos de estiagem (BARBOSA, 2014) e evitados em períodos com maior probabilidade de chuvas intensas. Tudo isto posto, entende-se a importância da Drenagem Urbana como forma de garantir a qualidade ambiental e o bem-estar social da população.

O sistema de Drenagem Urbana pode ser dividido em dois subsistemas: a Microdrenagem e a Macrodrenagem. O primeiro trata da coleta inicial das águas e é composto pelas estruturas de recolhimento e pequenos canais fechados. Já o segundo é constituído pelos canais de maiores dimensões (abertos e fechados) que coletam a água de diferentes sistemas de microdrenagem. De acordo com Ramos *et al.* (1999), esses dois subsistemas distintos devem ser planejados e projetados sob critérios diferentes.

#### 3.8.1. Microdrenagem

Também conhecido como Sistema Inicial de Drenagem, este subsistema é responsável pelo recolhimento inicial das precipitações e destinação, por meio da rede de canalizações pluviais, às unidades constituintes da Macrodrenagem. Seus elementos de composição são: os pavimentos das ruas, as guias e sarjetas (Figura 1), as bocas de lobo (Figura 6), os poços de visita (Figura 7), as redes de galerias de águas pluviais (Figura 8) e pelos canais de pequenas dimensões.

Em áreas urbanas há o hábito de que o traçado da rede seja delimitado de acordo com o traçado das ruas (BARBOSA, 2014). É normalmente dimensionado para escoamento de vazões de 2 a 10 anos de período de retorno e quando bem projetado, e com manutenção adequada, praticamente elimina as inconveniências, ou as interrupções das atividades urbanas que advém das inundações e das interferências de enxurradas (RAMOS *et al.*, 1999).



Figura 6 – Guia, sarjeta e boca de lobo.

(Fonte: <http://www.ebanataw.com.br/drenagem/sarjeta.htm>)



Figura 7 – Poço de visita.

(Fonte: <http://www.hcengenharia.com.br/redes%20urb.htm>)



Figura 8 – Canalização de rede de água pluvial.

(Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAEiwAA/galerias-drenagem-guas-pluviais-com-tubos>).

### 3.8.2. Macrodrenagem

É o sistema responsável pelo escoamento final das águas pluviais recolhidas da microdrenagem e de áreas não urbanizadas. Possui, geralmente, área superior a 2 km<sup>2</sup>. É constituído pelos principais talwegues, fundos de vales, cursos d'água, independente da execução de obras específicas e tampouco da localização de extensas áreas urbanas, por ser o escoadouro natural das águas pluviais (PINHEIRO; PINTO, 2006).

Esse sistema é projetado para vazões de 25 a 100 anos de período de retorno. Seu correto desempenho minimiza danos às propriedades e à população, seja com a manutenção de bens materiais ou com a não propagação de doenças de veiculação hídrica. A figura 9 mostra um curso d'água caracterizado dentro do sistema de macrodrenagem.



Figura 9 – Curso d'água de macrodrenagem.

(Fonte: <http://tecciencia.ufba.br/modelagem-matematica/midiateca/textos/modelagem-matematica-hidrologica-e-hidraulica-do-sistema-de-macrodrenagem-das-bacias-hidrograficas-?view=true>).

### 3.9. Métodos de avaliação do escoamento superficial

Estudos hidrológicos geram resultados que servem de base para o planejamento, projeto e construção de obras de drenagem. Como exemplo desses resultados pode-se citar os Hidrogramas e as vazões de pico para determinados períodos de retorno. Incertezas nesses dados podem levar um sistema de drenagem a ser sub ou superdimensionado, tendo como consequências gastos excessivos e até mesmo o comprometimento da segurança do projeto e de tudo que está nas suas imediações.

O escoamento superficial pode ser entendido como o deslocamento das águas sobre a superfície do solo e constitui a mais importante etapa do ciclo hidrológico do ponto de vista da Drenagem Urbana e da engenharia, no geral. Esta afirmação se baseia no fato que grande parte de estudos e projetos estão relacionados ao aproveitamento da água que esco superficialmente e às consequências negativas advindas desse deslocamento, como erosão do solo, inundações, deslizamento de taludes, assoreamento de rios, entre outros.

Wilken (1978) comenta a respeito dos métodos de cálculo de escoamento superficial:

Os métodos de cálculo passaram por vários períodos de desenvolvimento: Inicialmente, a prática baseada na experiência, sem quaisquer medições, deduzindo regras práticas; em seguida, foram estabelecidos os começos de teorias verificadas por medições; e na terceira etapa, o emprego indiscriminado e generalizado da equação racional. Foi nesse período que se introduziram grandes erros, superdimensionando as seções de galerias. Finalmente, pode-se considerar que, atualmente, está se processando um novo período de desenvolvimento da teoria dos métodos de cálculo, à luz de novos campos de pesquisas, nos laboratórios de hidráulica, pelo emprego de chuvas simuladas e instrumental aperfeiçoado na medição de chuvas e deflúvios e de modelos matemáticos concebidos para inúmeras finalidades.

Portanto, esse escoamento deve ser estudado para gerar as vazões que serão utilizadas em projetos de drenagem de forma a dimensioná-los da maneira mais correta possível. Para Tucci (1995), uma análise criteriosa do escoamento superficial, abrange desde a determinação da vazão de pico, o volume e a forma do hidrograma, até o período de retorno associado a esses valores. Para tanto, utiliza-se basicamente três enfoques, sendo eles: Análise Estatística; Método do Hidrograma Unitário Sintético; e Método Racional. Sendo o último utilizado para o desenvolvimento deste trabalho.

O Método Racional é indicado para o cálculo de estruturas de drenagem e vazões de escoamento em pequenas bacias, limitadas a 2,5 km<sup>2</sup>. O segundo, Método do Hidrograma Unitário Sintético, é sugerido para áreas de drenagem maiores que 2,5 km<sup>2</sup>, assim como para estruturas de maior porte e espaços que sofrerão expressiva urbanização no futuro. O último método, Análise Estatística, é recomendado para a estimativa das descargas de cheias em cursos d'água de maior porte que passam por áreas urbanas, bem como para cursos d'água de

pequeno porte que drenam bacias de área superior a 25 km<sup>2</sup>, desde que suas características não venham ser afetadas pela urbanização (BARBOSA, 2014).

Este trabalho será desenvolvido com foco no Método Racional. Portanto, o mesmo será explanado com mais detalhes a seguir.

### 3.9.1. Método Racional

O método racional começou a ser utilizado em 1889 e tem como finalidade quantificar qual o total de chuva precipitada que se transforma em escoamento superficial. É um modelo extremamente simples e por causa disso possui como limitação ser aplicado apenas a pequenas bacias. Muitos autores divergem quanto ao valor exato desse limite, que flutua desde 0,08 km<sup>2</sup> a 20 km<sup>2</sup>. Tomaz (2002) e Ramos *et al.* (1999) definem o valor de 3 km<sup>2</sup> como limite de área da bacia para utilização deste método. Já Barbosa (2014) recomenda a medida de 2,5 km<sup>2</sup>, valor este que será adotado neste trabalho.

A fórmula que representa este método é chamada de fórmula racional e possui como resultado a vazão de pico considerada em uma seção de estudo e é a seguinte:

$$Q = C . i . A$$

Onde,  $Q$  é a vazão de pico das águas superficiais na seção de estudo considerada (m<sup>3</sup>/s);  $C$  é o coeficiente de escoamento, também chamado de coeficiente de *runoff*;  $i$  é a intensidade média da chuva. Depende da equação das chuvas intensas da cidade em que se quer fazer o estudo (m/s); e  $A$  é a área da bacia (m<sup>2</sup>).

Em outras unidades pode ser escrita como:

$$Q = 0,278 . C . i . A$$

Sendo,  $Q$  em (m<sup>3</sup>/s);  $i$  em (mm/h); e  $A$  em (km<sup>2</sup>).

Possui ainda as seguintes hipóteses para correta aplicação (TOMAZ, 2002):

- a) Toda a bacia contribui com o escoamento superficial e é por isso que o tempo de duração da tormenta deve ser igual ou exceder o tempo de concentração da bacia;
- b) A chuva é distribuída uniformemente sobre toda a área da bacia;
- c) Todas as perdas estão incorporadas ao coeficiente de escoamento superficial.

### 3.10. Dimensionamento Hidráulico

O dimensionamento hidráulico de galerias de águas pluviais está baseado em equações hidráulicas de movimento uniforme, como a de *Manning*, *Chezy* e outras (TUCCI, 1995). Tomaz (2002) relata que a fórmula mais utilizada no dimensionamento de condutos livres no Brasil e nos Estados Unidos é a fórmula do engenheiro irlandês R. Manning, elaborada em 1891. Porto (2006) destaca que essa fórmula tem origem empírica e é representada pela equação:

$$\frac{n \cdot Q}{\sqrt{I}} = A \cdot R_h^{2/3}$$

Onde,  $n$  é o coeficiente de rugosidade;  $Q$  é a vazão da contribuição pluvial ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $I$  é a declividade longitudinal do conduto ( $\text{m}/\text{m}$ );  $A$  é a área da seção transversal do conduto ( $\text{m}^2$ ); e  $R_h$  é o raio hidráulico ( $\text{m}$ ). Feito os devidos ajustes para uma seção plena e circular encontra-se diretamente o diâmetro solicitado por meio da fórmula:

$$D = 1,548 \cdot \left( \frac{n \cdot Q}{\sqrt{I}} \right)^{3/8}$$

Barbosa (2014) ressalta algumas regras que auxiliam na determinação de declividades e dimensões mais econômicas, sendo elas:

- A velocidade de escoamento dentro do conduto deve estar entre limites mínimos (0,6 m/s) e máximos (5,0 m/s). O mínimo garante o arraste de detritos dentro das galerias, evitando diminuição da vazão que escoar, e o limite máximo assegura a não ocorrência de erosão dentro do conduto;
- Deve-se adotar o diâmetro mínimo de 300mm para evitar obstruções;
- Nunca diminuir o diâmetro das seções a jusante para evitar o alojamento de detritos na tubulação;
- Deve-se adaptar a declividade dos condutos, tanto quanto possível, à declividade do terreno, para minimizar o volume de escavação;
- Os ajustes nas conexões de condutos de seções diferentes deve ser feito pela geratriz superior interna (caso que não se aplica a junções de ramais secundários que afluem em queda aos poços de visita).

Deve ser sempre adotado o diâmetro comercial imediatamente superior ao encontrado no cálculo da equação acima citada. A Prefeitura do Rio de Janeiro, em sua apostila sobre instruções para elaboração e dimensionamento de rede de drenagem pluvial, indica os diâmetros comerciais existentes, sendo eles (em metros): 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,20; 1,50; 1,80; e 2,00. Já a Associação Brasileira dos fabricantes de Tubos de Concreto afirma que para concreto simples os diâmetros variam de 200mm a 600mm (com subdivisão de 100 em 100mm), enquanto que para tubos de concreto armado os diâmetros variam de 300mm a 2000mm.

Quando o diâmetro adotado for maior que o calculado, deve-se determinar a lamina percentual ( $y/D$ ), a qual levará ao raio hidráulico e à velocidade efetiva  $v$  de escoamento no conduto. Os elementos de um conduto parcialmente cheio podem ser obtidos a partir das seguintes expressões:

$$A = \frac{D^2}{4} \cdot \left( \frac{\theta}{2} - \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

$$R = \frac{D}{4} \cdot \left( \frac{\theta - \sin \theta}{\theta} \right)$$

$$\theta = 2 \cdot \arccos \left( 1 - \frac{2 \cdot y}{D} \right)$$

Sendo,  $y$  a altura da lâmina d'água dentro conduto, conforme ilustrado na figura 10, e  $\theta$  em radianos.

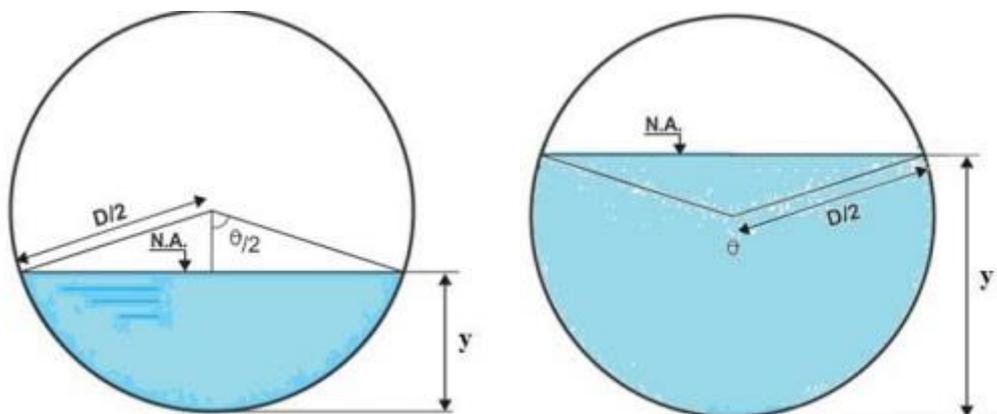


Figura 10 – Representação da altura da lamina d'água em um conduto circular.

(Fonte: BARBOSA, 2014).

Com base no valor de  $y/D$ , são calculados o raio hidráulico e a área, pelas equações acima, e a vazão pela equação de Manning. Quando esse valor for igual à vazão de projeto,  $y/D$  será o que ocorrerá nas condições de projeto.

## 4. Metodologia

### 4.1. Apresentação do Caso

A Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) foi fundada em 21 de agosto de 1969 com a junção das centenárias e tradicionais Escola de Farmácia e Escola de Minas, criadas em 1839 e 1876, respectivamente. O primeiro campus a ser

ocupado foi o campus Morro do Cruzeiro, situado no bairro bauxita, na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais.

O campus possui uma área de aproximadamente 0,65 km<sup>2</sup> e uma área de projeção de construção de 0,08 km<sup>2</sup>. Mapas antigos da rede hidráulica e da rede de drenagem pluvial indicam que os primeiros prédios construídos no campus foram: DEGEO (Departamento de Geologia), Centro de Convergência e a primeira unidade do ICEB (Instituto de Ciências Exatas e Biológicas). As três construções somadas apresentam uma área de projeção aproximada de 0,014 km<sup>2</sup>. A figura 11 indica as três unidades citadas.

Portanto, pode-se verificar que a houve um aumento considerável na ocupação e impermeabilização do solo do referido campus. A figura 12 mostra uma imagem com uma ocupação mais recente do campus. Sabe-se, também, que há previsão de construção de novos prédios no campus.

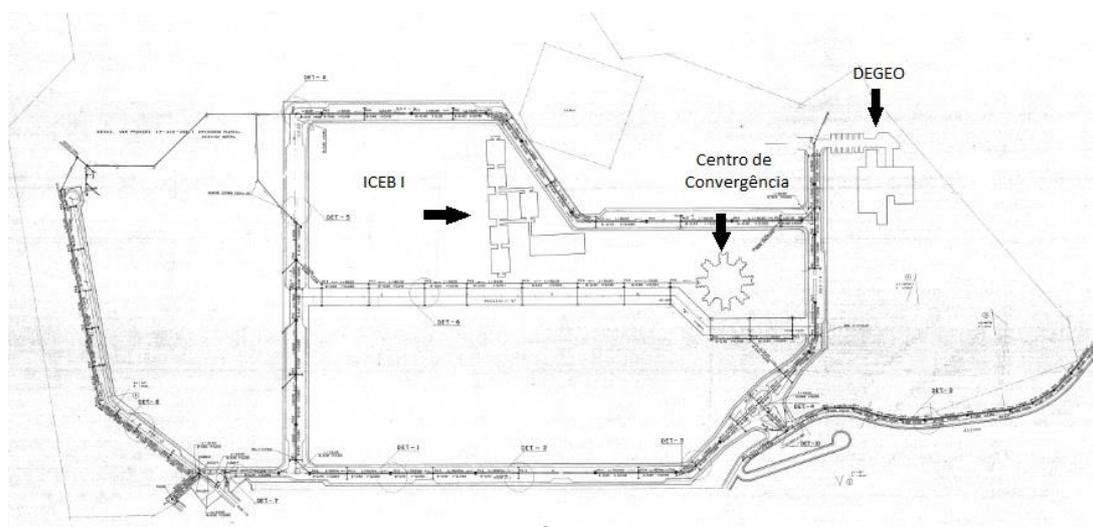


Figura 11 – ICEB, DEGEO e Centro de Convergência indicados no mapa antigo

(Fonte: Arquivos UFOP)



Figura 12 – Ocupação atual do Campus Morro do Cruzeiro

(Fonte: Google Earth).

Diante de tais fatos verificou-se a necessidade de reavaliação do dimensionamento hidráulico da rede de drenagem de águas pluviais do Campus Morro do Cruzeiro. Este estudo fundamentou-se em mapas antigos, não datados, que apresentam o dimensionamento das principais ruas do campus quando apenas existiam os três prédios citados acima.

Um novo mapa foi elaborado, os pontos de bocas de lobo e poços de visita foram marcados com o auxílio do aparelho de GPS GPSMAP (modelo 60CSX). Foi verificado se os pontos antigos ainda existiam e indicados os pontos novos.

#### 4.2. Características da Região em Estudo

A cidade de Ouro Preto localiza-se no estado de Minas Gerais. Possui as coordenadas latitude  $20^{\circ}23'48''S$ , longitude  $43^{\circ}30'34''W$  e uma altitude média de 1179m. O município foi fundado em 1711, por meio da fusão de vários arraiais, na época da exploração mineral de ouro na região. Ouro Preto foi o primeiro sítio brasileiro considerado como Patrimônio Mundial da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura), além de ser patrimônio estadual e monumento estadual.

A cidade possui um relevo bastante acidentado com altitudes que variam entre 700m, no distrito de Amarantina, e 1600m no distrito de Antônio Pereira. Em sua

constituição geológica há presença de filitos, xistos, quartzitos e formações ferríferas. É comum a ocorrência, nos topos e nas vertentes dos morros, de coberturas superficiais de crosta lateríticas, denominadas de “canga”, e presentes em quase totalidade do campus Morro do Cruzeiro. Os solos quando ocorrem são pouco espessos, na ordem de centímetros.

O clima é caracterizado como Tropical de altitude, típico de regiões montanhosas, e é marcado por elevada pluviosidade, com maior concentração entre os meses de outubro e março. A pluviosidade média anual é de 1553 mm.

#### 4.3. Escolha do Período de Retorno

Com a intenção de equilibrar economia e segurança no projeto de drenagem do campus, foi adotado o período de retorno de 5 anos ( $T_r = 5$ ) conforme recomendação do CETESB (indicado na tabela 2).

Para o período de retorno escolhido e para uma vida útil de 50 anos, valor normalmente adotado em obras públicas, tem-se que o risco de falha é de 99,9%. Mesmo sabendo do altíssimo risco de falha durante a vida útil escolhida, o período de retorno será mantido pois é o valor recomendado e valores maiores podem resultar obras de grande porte que não são compatíveis com o espaço existente.

#### 4.4. Obtenção da Curva IDF

Para a construção das curvas IDF, primeiramente, foram selecionadas as precipitações máximas de cada ano das séries históricas da cidade de Ouro Preto, entre os anos de 1982 e 2007, com exceção do ano de 1988 que não continha dados. Totalizaram-se, então, 25 anos com dados analisados para obtenção da curva IDF do município citado.

Os registros das precipitações máximas anuais foram encontrados no site da ANA (Agência Nacional de Águas) e por meio do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb). A curva IDF encontra está representada na figura 13.

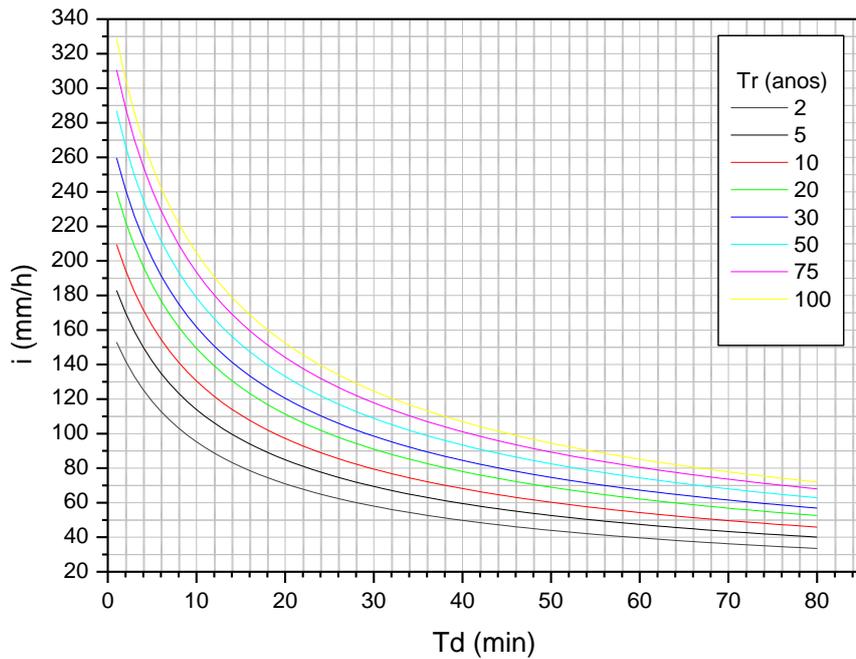


Figura 13 – Curva IDF para o município de Ouro Preto – MG (Fonte: Elaborado pelo autor).

E a equação intensidade-duração-frequência encontrada para o local é dada por:

$$i = \frac{525,796 \cdot T_r^{0,196}}{(7,336 + t_d)^{0,646}}$$

Onde,  $i$  é dado em mm/h;  $T_r$  em anos; e  $t_d$  em min.

#### 4.5. Estudo da Área de Drenagem

No que diz respeito a drenagem de água pluvial o campus Morro do Cruzeiro pode ser dividido em três bacias, conforme ilustrado na figura 14. A parte sombreada em amarelo drena a precipitação recolhida em direção à rua da portaria principal, encontrando com a tubulação municipal. A região em verde conduz a água em direção ao campus do IFMG. Enquanto a região em azul recolhe a precipitação e a encaminha ao curso d'água natural do Ribeirão do Carmo.



Figura 14 – Divisão da drenagem pluvial do campus (Fonte: Elaborado pelo autor).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a tubulação da terceira bacia (região em azul). Como citado anteriormente a tubulação de drenagem pluvial é muito antiga e com as constantes mudanças no campus percebeu-se a necessidade de analisar se os diâmetros instalados há décadas ainda suportam a demanda de escoamento atual do local.

Para realização deste estudo separou-se a bacia analisada em sub-bacias. Para isso utilizou-se um mapa com as curvas de nível e imagens do Google Earth de forma a delimitar a melhor divisão destas sub-bacias. Ou seja, as mesmas foram separadas pelos divisores topográficos internos à bacia. A figura 15 demonstra um exemplo de sub-bacia que abrange parte da rua que liga a Escola de Minas à Escola de Medicina.



Figura 15 – Representação de uma sub-bacia da área analisada (Fonte: Elaborado pelo autor).

No total foram separadas 7 sub-bacias, sendo elas: Sub-bacia 1 que liga parte da rua da Escola de Minas à Escola de Medicina; Sub-bacia 2 que abrange a rua dos laboratórios da Escola de Minas; Sub-bacia 3 que vai desde o Centro de Convergência até a Escola de Nutrição; Sub-bacia 4 que liga desde o ICEB até o Posto de Atendimento Médico; Sub-bacia 5 que recolhe a água da bacia 1 e abrange toda a rua da Escola de Medicina; Sub-bacia 6 que liga desde a portaria ao lado do ginásio até os alojamentos novos e deságua em uma canaleta que direciona a água recolhida ao Ribeirão do Carmo; e sub-bacia 7 que abrange os novos ginásios até o prédio da prefeitura do campus e tem seu final ligado à tubulação da sub-bacia 6.

A tubulação presente nas sub-bacias 1, 3, 4, 5 e 7 estão caracterizadas no mapa antigo de drenagem pluvial do campus, sendo que a sub-bacia 3 não possui todas as tubulações registradas. Dessa forma, os resultados obtidos nesse trabalho têm a função de verificar se os diâmetros adotados no passado ainda atendem a vazão de escoamento atual. Já as áreas 2, 6 e a parte da 3 não possuem registro no mapa citado e tiveram suas tubulações dimensionadas sem o objetivo de comparação.

Cada sub-bacia também foi dividida em trechos de acordo com o posicionamento das bocas de lobo e poços de visita. A figura 16 exemplifica um trecho, o mesmo é o primeiro trecho da sub-bacia 1.



Figura 16 – Primeiro trecho da sub-bacia 1

(Fonte: Elaborado pelo autor).

#### 4.6. Aplicação do Método Racional

Este método tem como objetivo encontrar a vazão de escoamento de uma determinada chuva e para uma determinada área. Para tanto, deve-se obter primeiramente os dados do tempo de recolhimento da precipitação e com este a

intensidade da chuva de projeto, a área de projeção estudada e por fim, o coeficiente de escoamento que fornece a quantidade de chuva precipitada que realmente esco superficialmente.

#### 4.6.1. Cálculo do tempo de concentração

Para cada trecho de cada sub-bacia foi encontrado o ponto mais distante da boca de lobo responsável por recolher a água que precipita nessa área. Em seguida foi calculado o tempo de concentração ( $t_c$ ) com base no método cinemático apresentado anteriormente. Como exemplo, cita-se novamente o primeiro trecho da sub-bacia 1. A figura 17 indica tal trecho, na mesma pode-se observar o trecho com suas áreas heterogêneas e o caminho mais distante seguido pela gota de chuva.

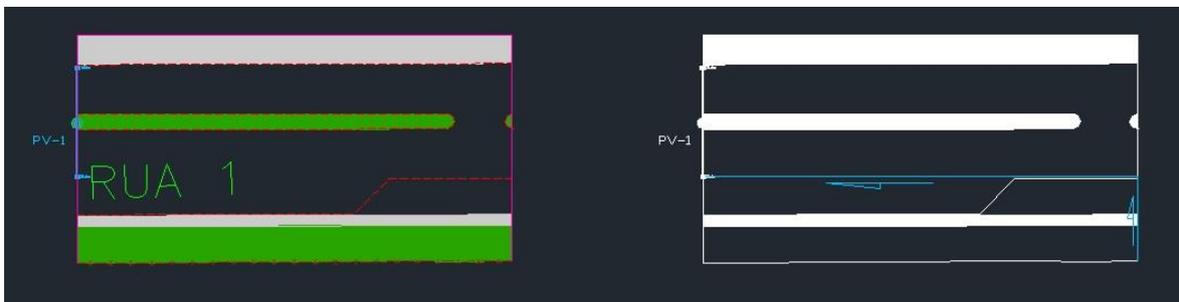


Figura 17 – Caminho utilizado para cálculo do tempo de concentração

(Fonte: Elaborado pelo autor).

Pela ilustração pode-se observar que o caminho passa por uma área com pouca grama ( $Cv_i = 0,30$ ) e cai na superfície pavimentada ( $Cv_i = 0,60$ ). Com o auxílio de um mapa com as curvas de nível obtém-se a declividade de cada percurso traçado, sendo 0,051 para o primeiro e 0,018 para o segundo. Assim, determina-se a velocidade de cada trecho:

$$v_{i1} = Cv_{i1} \cdot S^{0,5} = 0,30 \cdot 0,051^{0,5} = 0,068$$

$$v_{i2} = Cv_{i2} \cdot S^{0,5} = 0,60 \cdot 0,018^{0,5} = 0,080$$

Com as medidas dos comprimentos de cada trecho ( $L_{i1} = 5,84\text{m}$  e  $L_{i2} = 52,82\text{m}$ ), finalmente, encontra-se o tempo de concentração do trecho:

$$t_c = \frac{\left(\frac{5,84}{0,068} + \frac{52,82}{0,080}\right)}{60} = 2,31 \text{ min}$$

Todos os demais tempos de concentração foram obtidos conforme o modelo demonstrado.

#### 4.6.2. Chuva de Projeto para a cidade de Ouro Preto

Diversos autores recomendam igualar o tempo de duração da chuva ao tempo de concentração encontrado para a área estudada na fórmula de intensidade da chuva. Portanto, para cada trecho obtém-se a chuva de projeto com o  $t_c$  encontrado para aquele trecho. Como citado anteriormente, o tempo de recorrência ( $T_R$ ) adotado para todo o trabalho é de cinco anos.

Assim, para o primeiro trecho da sub-bacia 1, a intensidade de chuva de projeto encontrada é de 167,91 mm/h, conforme aplicação da equação encontrada para a cidade de Ouro Preto:

$$i = \frac{525,796 \cdot 5^{0,196}}{(7,336 + 2,31)^{0,646}} = 166,69 \text{ mm/h}$$

Todas as demais intensidades de chuva de projeto foram obtidas conforme o modelo demonstrado.

#### 4.6.3. Cálculo do Coeficiente de escoamento

Com o objetivo de encontrar a quantidade de água de escoamento gerada em eventos chuvosos calcula-se o coeficiente de escoamento que é tabelado de acordo com o tipo de solo, vegetação, manuseio do solo e urbanização. A tabela 4, fornecida pela *American Society of Civil Engineers* – ASCE, apresenta os coeficientes de acordo com a superfície encontrada.

Como as áreas em estudo são heterogêneas, o  $C$  final pode ser calculado como resultado de uma média ponderada em relação às áreas de diferentes

coeficientes de escoamento. Foi calculado um coeficiente de escoamento para cada trecho de cada sub-bacia. Para o primeiro trecho da sub-bacia 1, foram calculadas as áreas de vegetação, asfalto e passeio presentes, sendo 324,64 m<sup>2</sup>, 896,80 m<sup>2</sup> e 255,43 m<sup>2</sup>, respectivamente. O coeficiente de escoamento encontrado de acordo com os valores da tabela 4 vale:

$$C = \frac{(896,8 \cdot 0,83) + (255,43 \cdot 0,80) + (324,64 \cdot 0,35)}{1476,87} = 0,72$$

Todos os demais coeficientes de escoamento foram obtidos conforme modelo demonstrado.

Deve ser destacado que o tipo de solo predominantemente presente no campus morro do cruzeiro é canga. Esse tipo de solo possui a característica de ser bastante impermeável, ou seja, de baixa capacidade de infiltração. Sabendo disto, o coeficiente de cobertura vegetal aplicado em todo o campus foi o maior ( $C = 0,35$ ) de forma que uma maior quantidade de água escoe de modo a se assemelhar com as condições reais.

Tabela 4 – Valores de  $C$  recomendados pela ASCE (1969)

superfície	Coeficiente de <i>run off</i> , $C$	
	intervalo	valor esperado
• pavimento		
asfalto	0,70 - 0,95	0,83
concreto	0,80 - 0,95	0,88
calçadas	0,75 - 0,85	0,80
telhado	0,75 - 0,95	0,85
• cobertura: grama solo arenoso		
pequena declividade (2%)	0,05 - 0,10	0,08
declividade média (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
forte declividade (7%)	0,15 - 0,20	0,18
• cobertura: grama solo pesado		
pequena declividade (2%)	0,13 - 0,17	0,15
declividade média (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
forte declividade (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Fonte: Elementos de Hidrologia Aplicada (BARBOSA, 2014)

A área total computada também é utilizada para se determinar a vazão de escoamento. Porém, como a mesma foi encontrada em m<sup>2</sup>, deve ser passada

para  $km^2$  para aplicação direta na fórmula citada para cálculo da vazão de escoamento.

#### 4.6.4. Cálculo da Vazão de Escoamento

Com os parâmetros necessários encontrados, calcula-se a vazão de escoamento ( $Q$ ) para cada trecho. Para o primeiro trecho da sub-bacia 1 foi obtido a seguinte vazão de escoamento:

$$Q = 0,278 \cdot 0,72 \cdot 166,69 \cdot (1,48 \cdot 10^{-3}) = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

Todas as demais vazões de escoamento foram obtidas conforme modelo demonstrado.

#### 4.7. Dimensionamento Hidráulico

Após obtenção do valor da vazão de escoamento, encontra-se o valor da inclinação do tubo de condução da precipitação para, finalmente, calcular o diâmetro necessário para atender a demanda de escoamento do trecho.

Para as sub-bacias, que já estavam descritas no mapa base, utilizou-se a inclinação apresentada no projeto. Enquanto que nas sub-bacias 2 e 3 a inclinação dos tubos foi igualada à declividade do terreno e calculada com auxílio das curvas de níveis.

Assim, com uma inclinação de 5,6% ( $I = 0,056$ ) e uma vazão de  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ , o diâmetro encontrado para o tubo que recolhe a precipitação escoada no primeiro trecho da sub-bacia 1 vale:

$$D = 1,548 \cdot \left( \frac{0,013 \cdot 0,05}{0,056^{0,5}} \right)^{3/8} = 0,17 \text{ m}$$

Adota-se, nesse caso, o valor do diâmetro comercial mínimo. Portanto, o diâmetro admitido para a tubulação que recolhe a água do trecho 1 da sub-bacia 1 é de 0,3m ou 300mm.

Após a obtenção do diâmetro do tubo deve-se fazer a verificação da velocidade de escoamento do líquido no mesmo, pois esta velocidade deve estar entre os limites máximos e mínimos (5,0 m/s e 0,6 m/s, respectivamente). Para tanto, apoia-se no cálculo da relação entre as vazões de projeto e a que ocorreria à seção plena. Calcula-se, inicialmente, a vazão plena com base na fórmula:

$$Q_{plena} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D^{8/3} \cdot \sqrt{I}}{4^{2/3} \cdot n} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{0,3^{8/3} \cdot \sqrt{0,056}}{4^{2/3} \cdot 0,013} = 1,4530 \text{ m}^3/\text{s}$$

Em seguida calcula-se a razão da vazão  $Q$  obtida pela  $Q_{plena}$  calculada:

$$\frac{Q}{Q_{plena}} = \frac{0,04915}{1,4530} = 0,0338$$

Logo após, com o valor desta razão e com o auxílio da figura 18, encontra-se  $\frac{y}{D}$  que é utilizado para calcular  $\theta$ . Para  $\frac{Q}{Q_{plena}} = 0,0338$  foi encontrado  $\frac{y}{D} = 0,119$ .

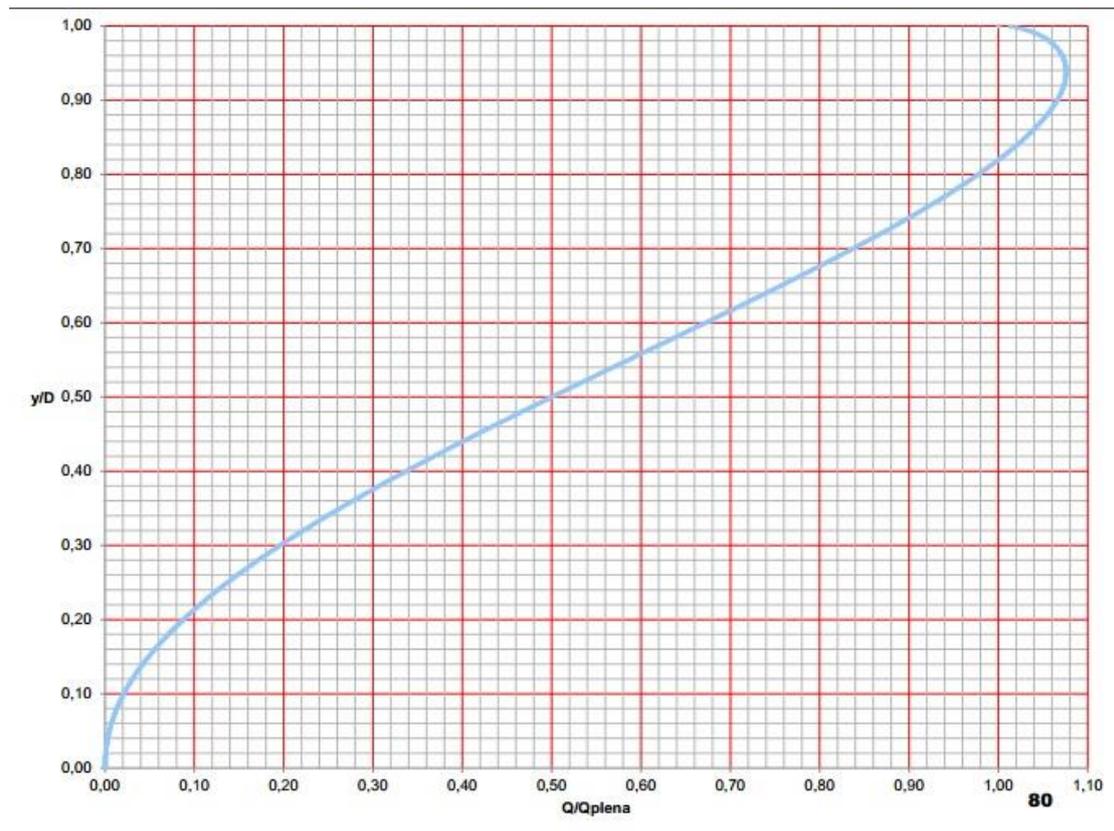


Figura 18 – Gráfico utilizado para obtenção de  $y/D$

Fonte: Apostila de Aula (BARBOSA, 2014)

O ângulo  $\theta$  é calculado pela fórmula:

$$\theta = 2 \arccos \left( 1 - 2 \cdot \frac{y}{D} \right) = 2 \arccos(1 - 2 \cdot 0,119) = 1,4088 \text{ rad}$$

Finalmente, calcula-se a velocidade de escoamento no tudo por meio da equação:

$$v = \frac{\sqrt{I}}{n} \cdot \left( \frac{D}{4} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{\theta - \text{sen}\theta}{\theta} \right)^{2/3} = 2,16 \text{ m}^2/\text{s}$$

Velocidade que atende os limites estabelecidos.

Todos os demais cálculos foram feitos conforme modelo demonstrado e seus resultados estão mostradas nas tabelas no apêndice deste trabalho.

## 5. Resultados e Discussões

Após a realização de todos os cálculos para todas as sub-bacias e seus respectivos trechos, constatou-se que a maior parte da tubulação existente no campus atende à demanda atual de escoamento de precipitação pluvial. A seguir são apresentados os resultados de todas as sub-bacias.

A figura 19 mostra a área delimitada para a sub-bacia 1. E a tabela 5 apresenta os diâmetros comerciais calculados para essa sub-bacia, assim como na coluna da direita os diâmetros que constam no antigo projeto de drenagem do campus. Observou-se que não houve a necessidade de aumento da tubulação em nenhum trecho, antes, a existente atende com certa folga a demanda atual.



Figura 19 – Representação da Sub-bacia 1

(Fonte: Elaborado pelo autor)

Tabela 5 – Diâmetros calculados e diâmetros anteriores para a sub-bacia 1

Trecho	D comercial (mm)	D Projeto (mm)
1	300	400
2	300	400
3	300	400
4	300	400
5	300	400
6	300	400

(Fonte: Elaborado pelo autor)

A figura 20 apresenta a sub-bacia 2, esta sub-bacia não estava presente no projeto antigo e por isso não há como comparar os diâmetros. Estes estão apresentados na tabela 6 e foram os calculados para a demanda desta área.



Figura 20 – Representação da sub-bacia 2

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 6 – Diâmetros calculados para a sub-bacia 2

Trecho	D comercial (mm)
1	300
2	500
3	500
4	500

Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 21 mostra a área delimitada para a sub-bacia 3. Esta sub-bacia apresenta tubos que estavam no projeto antigo e ao marcar os pontos de poços de visita e bocas de lobo em campo constatou-se a presença de novos pontos. Portanto, a tabela 7 apresenta os diâmetros comerciais calculados para essa sub-bacia, assim como na coluna da direita os diâmetros que constam no antigo

projeto de drenagem do campus. Para os novos pontos a célula correspondente na coluna da direita encontra-se vazia. Observou-se que em todos os trechos a tubulação existente atende a solicitação calculada.



Figura 21 – Representação da Sub-bacia 3

(Fonte: Elaborado pelo autor)

Tabela 7 - Diâmetros calculados e diâmetros anteriores para a sub-bacia 3

Trecho	D comercial (mm)	D Projeto (mm)
1	300	-
2	300	-
3	300	-
4	300	-
5	300	600
6	300	600
7	300	600
8	300	600
9	300	600
10	400	600
11	400	600
12	500	600
13	500	600
14	500	600

(Fonte: Elaborado pelo autor)

A figura 22 apresenta a área delimitada para a sub-bacia 4. E a tabela 8 apresenta os diâmetros comerciais calculados para essa sub-bacia, assim como

na coluna da direita os diâmetros que constam no antigo projeto de drenagem do campus. Observou-se que dos 12 trechos, apenas os 4 primeiros satisfazem a demanda de escoamento atual. Os outros 8 trechos necessitam de um aumento de 100 mm no tamanho do diâmetro, passando de 400 mm para 500 mm.



Figura 22 – Representação da sub-bacia 4

(Fonte: Elaborado pelo autor)

Tabela 8 - Diâmetros calculados e diâmetros anteriores para a sub-bacia 4

Trecho	D comercial (mm)	D Projeto
1	300	400
2	300	400
3	400	400
4	400	400
5	500	400
6	500	400
7	500	400
8	500	400
9	500	400
10	500	400
11	500	400
12	500	400

(Fonte: Elaborado pelo autor)

Assim como a sub-bacia 3, a sub-bacia 5 (Figura 23) apresenta tubos que estavam no projeto antigo e outros que não estavam. A tabela 9 mostra os diâmetros calculados para essa sub-bacia, assim como na coluna da direita constam os diâmetros do antigo projeto de drenagem. Para os novos pontos a célula correspondente na coluna da direita encontra-se vazia. Observa-se que em todos os trechos a tubulação existente atende à demanda atual.



Figura 23 – Representação da sub-bacia 5

(Fonte: Elaborado pelo autor)

Tabela 9 - Diâmetros calculados e diâmetros anteriores para a sub-bacia 5

Trecho	D comercial (mm)	D Projeto
1	300	400
2	400	400
3	400	400
4	400	600
5	400	-
6	400	600
7	400	-

(Fonte: Elaborado pelo autor)

A figura 24 apresenta a sub-bacia 6, esta sub-bacia não estava presente no projeto antigo e por isso não há como comparar o diâmetro. Este está apresentado na tabela 10 e foi calculado para a demanda desta área. Nota-se que é uma área muito grande drenada por apenas um poço de visita, o que justifica o alto diâmetro solicitado.



Figura 24 - Representação da sub-bacia 6

(Fonte: Elaborado pelo autor)

Tabela 10 – Diâmetros calculados para a sub-bacia 6

Trecho	D comercial Calculado (mm)
1	500

(Fonte: Elaborado pelo autor)

A figura 25 ilustra a área delimitada para a sub-bacia 7. E a tabela 11 apresenta os diâmetros comerciais calculados para essa sub-bacia, assim como na coluna da direita os diâmetros que constam no antigo projeto de drenagem do campus.

Mais uma vez constatou-se que todos os trechos atendem a nova demanda calculada.



Figura 25 - Representação da sub-bacia 7

(Fonte: Elaborado pelo autor)

Tabela 11 - Diâmetros calculados e diâmetros anteriores para a sub-bacia 7

Trecho	D comercial Calculado (mm)	D Projeto
1	300	400
2	300	400
3	300	600
4	300	400
5	300	600
6	300	600
7	300	600
8	300	600
9	300	600
10	500	600
11	500	600

(Fonte: Elaborado pelo autor)

Um certo aumento do diâmetro das tubulações era esperado devido ao grande processo de impermeabilização que o campus Morro do Cruzeiro vem sofrendo, principalmente, na última década. Felizmente o projeto antigo mostrou-se majoritariamente eficaz na bacia analisada, com exceção de parte da sub-bacia 4.

Tal resultado pode ser entendido pelo fato do solo do campus ser predominantemente canga, um solo pouco permeável. O crescimento da área de construção não foi, então, significativo o suficiente para gerar um escoamento superficial muito diferente do já existente em solo nu.

#### 6. Conclusões e Recomendações

O propósito final de realização deste trabalho era avaliar se as dimensões de uma parte da rede de drenagem fornecidas no mapa de projeto antigo ainda atendiam a demanda do escoamento superficial atual do campus Morro do Cruzeiro. Os resultados obtidos revelam que poucas tubulações não atendem às solicitações calculadas para a atualidade. Sugere-se que futuros trabalhos também calculem as outras duas bacias do campus.

Propõem-se, também, que os setores responsáveis pela infraestrutura do campus empreguem medidas não estruturais que minimizem a quantidade de água escoada e seus efeitos quando acumulada. Como exemplos citam-se: plantação de gramas ou vegetação rasteira nas áreas com solo exposto; instalação de mais lixeiras no campus, o que evita que lixo seja jogado na rua entupindo as bocas de lobo e conseqüentemente diminuindo a vazão escoada pelas galerias pluviais; limpeza constante destas galerias; bacias de retenção; entre outros.

Recomenda-se, também, estudos para aproveitamento da água de chuva recolhida nos telhados para finalidades como irrigação de plantas, descarga em vasos sanitários, lavagem de pisos, carros, máquinas, etc. Tal ação além de diminuir a quantidade de vazão escoada evita a retirada de maior volume da natureza para consumo.

Ainda, sugere-se que seja feito um estudo da ação erosiva da água no ponto final de despejo, e o efeito e um dissipador de energia no mesmo local.

Sabe-se que tais medidas além de serem economicamente mais viáveis, possibilita um crescimento sustentável das cidades, diminuindo ainda mais os impactos causados pelo aumento da urbanização.

## Bibliografia

< <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAEiwAA/galerias-drenagem-guas-pluviais-com-tubos> >. Acesso em: 09 dez. 2014.

< <http://www.ebanataw.com.br/drenagem/sarjeta.htm> >. Acesso em: 09 dez. 2014.

< <http://www.hcengenharia.com.br/redes%20urb.htm> >. Acesso em: 09 dez. 2014.

< <http://tecciencia.ufba.br/modelagem-matematica/midiateca/textos/modelagem-matematica-hidrologica-e-hidraulica-do-sistema-de-macrodrenagem-das-bacias-hidrograficas-?view=true> >. Acesso em: 09 dez.2014.

< <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dren03.html> >. Acesso em: 09 dez. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUDOS DE CONCRETO. **Tubos de Concreto Para Águas Pluviais e Esgotos Sanitários**. Disponível em: <

[http://www.abtc.com.br/site/download/tubos\\_aduelas.pdf](http://www.abtc.com.br/site/download/tubos_aduelas.pdf) >. Acesso em: 9 jul. 2015.

PLANALTO CENTRAL. **Lei 11.445/2007**. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm) >. Acesso em: 8 dez. 2014.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Instruções Técnicas Para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Dispositivos de Drenagem**. Disponível em: < <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.rio.rj.gov.br%2Fdlstatic%2F10112%2F1377338%2FDLFE-215301.doc%2FInstrucoesTecnicasProjetosdeDrenagem1.versao.doc&ei=CgeeVYGWGIjgwTTjZDICQ&usq=AFQjCNGetirsGEIOAKQIC14htyEXMiXFSQ&bvm=bv.96952980,d.eXY> >. Acesso em: 9 jul. 2015.

BARBOSA, A. R.J. **Drenagem Urbana**. Apostila de curso. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2014.

BARBOSA, A. R. J. **Elementos de Hidrologia Aplicados ao Estudo de Graduação**. Apostila de curso. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2014.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de Chuva: Engenharia das Águas Pluviais**. São Paulo: Blucher, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de**

**Rios.** In: CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. Brasília: Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

PINHEIRO, S. A.; PINTO, L. H. **Orientações Básicas para Drenagem Urbana.** Belo Horizonte: FEAM, 2006.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica.** São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica.** São Carlos: EESC-USP, 2006.

RAMOS, C. L.; CÂMARA, F. A.; MARTINS, J. R. S.; IKEDA, L. E. S.; GÓI, L. M. C.; PORTO, M. F. A.; MAGNI, N. L. G.; PORTO, R. L.; ASSAE, S.; FUSHIGURO, Y. **Diretrizes Básicas para Projeto de Drenagem no Município de São Paulo.** São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1999.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais.** São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH, 2004.

TUCCI, L. K.; MARQUES, D. M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Ed. ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R.L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS, 1995.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial.** São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978.

## Apêndice

As tabelas apresentadas a seguir mostram os resultados dos cálculos feitos para cada sub-bacia estudada neste trabalho.

Sub-bacia 1:

Trecho	Área (m <sup>2</sup> )					C	tc	tc utilizada	i
	Asfalto	Calçada	Telhado	Cobertura Vegetal	Total				
1	896,8	255,43	0	324,64	1476,87	0,72	2,31	2,31	166,44
2	835,81	203,23	116,74	721,66	1877,44	0,64	7,16	7,16	127,91
3	960,42	1360,84	3487,5	685,39	6494,15	0,78	2,11	7,16	127,91
4	962,93	2998,93	0	719,4	4681,26	0,74	1,54	7,16	127,91
5	1912,28	2624,07	3879,9	1519,17	9935,42	0,76	3,05	7,16	127,91
6	839,86	159,18	0	380,13	1379,17	0,69	1,21	7,16	127,91

Trecho	A (km <sup>2</sup> )	Q	I	D	D comercial (mm)	D comercial (m)
1	0,001	0,049	0,056	0,168	300,000	0,300
2	0,002	0,043	0,085	0,148	300,000	0,300
3	0,006	0,181	0,085	0,254	300,000	0,300
4	0,005	0,123	0,085	0,220	300,000	0,300
5	0,010	0,267	0,085	0,294	300,000	0,300
6	0,001	0,034	0,085	0,136	300,000	0,300

Trecho	Q plena	Q / Q plena	y/d	$\theta$	V (m/s)	
1	1,45	0,03	0,12	1,41	2,17	OK
2	1,79	0,02	0,11	1,32	3,20	OK
3	1,79	0,10	0,22	1,95	3,20	OK
4	1,79	0,07	0,18	1,75	3,20	OK
5	1,79	0,15	0,28	2,23	3,20	OK
6	1,79	0,02	0,10	1,29	3,20	OK

## Sub-bacia 2:

Trecho	Área (m <sup>2</sup> )					C	tc	tc utilizado	i
	Asfalto	Calçada	Telhado	Cobertura Vegetal	Total				
1	2610,81	1136,22	0,00	1733,87	5480,90	0,67	1,56	1,56	175,38
2	292,53	1077,05	2319,40	3023,87	6712,85	0,62	2,06	2,06	169,29
3	839,10	1453,12	1207,93	2259,65	5759,80	0,64	1,03	2,06	169,29
4	237,79	779,33	4508,27	1100,98	6626,37	0,76	2,10	2,10	168,83

c	A (km <sup>2</sup> )	Q	I	D	D comercial (mm)	D comercial (m)
1	0,01	0,18	0,01	0,39	300,00	0,30
2	0,01	0,19	0,01	0,43	500,00	0,50
3	0,01	0,17	0,18	0,22	500,00	0,50
4	0,01	0,24	0,03	0,35	500,00	0,50

Trecho	Q plena	Q / Q plena	y/d	$\theta$	V (m/s)	
1	0,55	0,33	0,42	2,82	0,54	-
2	1,86	0,10	0,26	2,12	0,89	OK
3	10,26	0,02	0,18	1,75	4,91	OK
4	3,79	0,06	0,24	2,05	1,85	OK

## Sub-bacia 3:

Trecho	Área (m <sup>2</sup> )					C	tc	tc utilizado	i
	Asfalto	Calçada	Telhado	Cobertura Vegetal	Total				
1	0,00	0,00	741,81	0,00	741,81	0,85	0,26	0,26	194,24
2	0,00	0,00	693,98	0,00	693,98	0,85	0,23	0,26	194,24
3	0,00	38,47	0,00	71,93	110,40	0,51	0,18	0,26	194,24
4	0,00	534,71	0,00	302,35	837,06	0,64	0,42	0,42	191,64
5	0,00	0,00	3900,91	0,00	3900,91	0,85	0,44	0,44	191,32
6	0,00	0,00	687,02	0,00	687,02	0,85	0,47	0,47	190,84
7	342,45	0,00	0,00	267,79	610,24	0,62	1,55	1,55	175,51
8	352,28	0,00	0,00	67,46	419,74	0,75	1,40	1,55	175,51
9	0,00	0,00	1452,67	0,00	1452,67	0,85	1,10	1,55	175,51
10	0,00	4242,99	1456,92	2959,67	8659,58	0,65	1,08	1,55	175,51
11	0,00	0,00	2223,80	0,00	2223,80	0,85	1,32	1,55	175,51
12	0,00	5585,23	1112,91	15666,41	22364,55	0,49	4,60	1,55	175,51
13	0,00	752,11	1104,80	2223,80	4080,71	0,57	4,48	4,48	145,98
14	0,00	422,26	0,00	5988,25	6410,51	0,38	2,30	4,48	145,98

Trecho	A (km <sup>2</sup> )	Q	I	D	D comercial (mm)	D comercial (m)
1	0,0007	0,034	0,04	0,16	300,00	0,30
2	0,0007	0,032	0,02	0,17	300,00	0,30
3	0,0001	0,003	0,01	0,09	300,00	0,30
4	0,0008	0,028	0,02	0,16	300,00	0,30
5	0,0039	0,176	0,03	0,30	300,00	0,30
6	0,0007	0,031	0,03	0,16	300,00	0,30
7	0,0006	0,018	0,05	0,12	300,00	0,30
8	0,0004	0,015	0,05	0,11	300,00	0,30
9	0,0015	0,060	0,05	0,18	300,00	0,30
10	0,0087	0,277	0,05	0,33	400,00	0,40
11	0,0022	0,092	0,10	0,19	400,00	0,40
12	0,0224	0,532	0,06	0,40	500,00	0,50
13	0,0041	0,094	0,06	0,22	500,00	0,50
14	0,0064	0,099	0,06	0,22	500,00	0,50

Trecho	Q plena	Q / Q plena	y/d	$\theta$	V (m/s)	
1	1,15	0,03	0,11	1,35	0,11	-
2	0,95	0,03	0,11	1,36	0,09	-
3	0,43	0,01	0,09	1,22	0,04	-
4	0,89	0,03	0,11	1,35	0,16	-
5	1,13	0,16	0,28	2,23	0,22	-
6	1,12	0,03	0,11	1,35	0,24	-
7	1,36	0,01	0,22	1,95	1,32	OK
8	1,39	0,01	0,22	1,93	1,34	OK
9	1,43	0,04	0,14	1,53	1,38	OK
10	2,99	0,09	0,22	1,93	1,63	OK
11	4,10	0,02	0,10	1,29	2,23	OK
12	5,92	0,09	0,21	1,90	2,06	OK
13	5,62	0,02	0,22	1,93	4,46	OK
14	5,77	0,02	0,22	1,93	4,58	OK

## Sub-bacia 4:

Trecho	Área (m <sup>2</sup> )						C	tc	tc utilizado	i
	Asfalto	Calçada	Concreto	Telhado	Cobertura Vegetal	Total				
1	441,17	563,80	0,00	0,00	2810,78	3815,75	0,47	3,39	3,39	155,41
2	1590,02	170,95	0,00	0,00	1603,81	3364,78	0,60	3,51	3,51	154,29
3	362,34	579,29	0,00	1154,47	1839,59	3935,69	0,61	1,24	3,51	179,58
4	511,44	523,15	0,00	954,35	2337,32	4326,26	0,57	1,43	3,51	177,06
5	903,10	252,68	12426,56	0,00	1755,46	15337,80	0,75	6,46	6,46	132,07
6	1102,94	192,45	0,00	0,00	370,04	1665,43	0,72	0,30	6,46	193,58
7	341,37	272,94	0,00	2026,54	8037,41	10678,26	0,47	3,41	6,46	155,22
8	694,47	763,10	0,00	2298,22	8669,47	12425,26	0,50	3,22	6,46	157,02
9	1505,19	224,52	0,00	2897,13	12104,19	16731,03	0,49	4,80	6,46	143,48
10	902,29	876,29	0,00	1795,45	10220,18	13794,21	0,48	2,57	6,46	163,60
11	1012,88	1015,08	0,00	2291,73	6116,62	10436,31	0,55	2,48	6,46	164,57
12	3441,39	1368,49	0,00	1026,39	5985,48	11821,75	0,59	2,04	6,46	169,52

Trecho	A (km <sup>2</sup> )	Q	I	D	D comercial (mm)	D comercial (m)
1	0,00	0,08	0,06	0,20	300	0,3
2	0,00	0,09	0,02	0,27	300	0,3
3	0,00	0,12	0,01	0,36	400	0,4
4	0,00	0,12	0,03	0,28	400	0,4
5	0,02	0,42	0,01	0,52	500	0,5
6	0,00	0,06	0,02	0,24	500	0,5
7	0,01	0,22	0,08	0,28	500	0,5
8	0,01	0,27	0,11	0,28	500	0,5
9	0,02	0,32	0,12	0,30	500	0,5
10	0,01	0,30	0,11	0,29	500	0,5
11	0,01	0,26	0,01	0,44	500	0,5
12	0,01	0,33	0,02	0,40	500	0,5

Trecho	Q plena	Q / Q plena	y/d	$\theta$	V (m/s)	
1	1,50	0,05	0,15	1,59	3,04	OK
2	0,75	0,12	0,24	2,05	1,55	OK
3	1,02	0,12	0,24	2,05	1,19	OK
4	2,09	0,06	0,16	1,65	2,42	OK
5	2,40	0,18	0,30	2,32	1,64	OK
6	2,94	0,02	0,10	1,29	2,00	OK
7	6,70	0,03	0,15	1,59	4,57	OK
8	8,02	0,03	0,16	1,62	5,48	-
9	8,17	0,04	0,14	1,53	5,57	-
10	7,88	0,04	0,14	1,53	5,38	-
11	2,40	0,11	0,24	2,02	1,64	OK
12	3,64	0,09	0,22	1,95	2,48	OK

## Sub-bacia 5:

Trecho	Área (m <sup>2</sup> )					C	tc	tc utilizado	i
	Asfalto	Calçada	Telhado	Cobertura Vegetal	Total				
1	910,65	319,84	0,00	2135,20	3365,69	0,52	1,40	1,40	190,01
2	1402,74	794,03	4636,23	2818,79	9651,79	0,70	1,33	1,40	187,34
3	1289,56	558,58	4564,01	2021,35	8433,50	0,72	1,17	1,40	186,94
4	1335,08	1064,98	618,24	1304,57	4322,87	0,68	0,58	1,40	187,59
5	331,76	1416,10	2560,83	3577,73	7886,42	0,61	1,65	1,65	188,61
6	749,36	277,89	0,00	1412,14	2439,39	0,55	1,41	1,41	189,61
7	1104,96	496,06	3321,67	2262,18	7184,87	0,69	1,26	1,41	187,50

Trecho	A (km <sup>2</sup> )	Q	I	D	D comercial (mm)	D comercial (m)
1	0,003	0,09	0,060	0,21	300,00	0,30
2	0,010	0,35	0,060	0,35	400,00	0,40
3	0,008	0,32	0,065	0,33	400,00	0,40
4	0,004	0,15	0,020	0,31	400,00	0,40
5	0,008	0,25	0,060	0,31	400,00	0,40
6	0,002	0,07	0,003	0,33	400,00	0,40
7	0,007	0,26	0,034	0,34	400,00	0,40

Trecho	Q plena	Q / Q plena	y/d	$\theta$	v	
1	1,50	0,06	0,18	1,75	1,29	OK
2	3,24	0,11	0,23	2,00	1,56	OK
3	3,37	0,09	0,21	1,90	1,63	OK
4	1,87	0,08	0,20	1,85	0,90	OK
5	3,24	0,08	0,20	1,85	1,90	OK
6	0,72	0,10	0,22	1,95	0,35	-
7	2,44	0,11	0,24	2,02	1,19	OK

## Sub-bacia 6:

Trecho	Área (m <sup>2</sup> )					C	tc	tc utilizado	i
	Asfalto	Calçada	Telhado	Cobertura Vegetal	Total				
1	6055,55	2095,18	4406,84	2401,73	14959,30	0,75	1,27	1,27	179,18

Trecho	A (km <sup>2</sup> )	Q	I	D	D comercial (mm)	D comercial (m)
1	0,01	0,56	0,04	0,45	500,00	0,50

Trecho	Q plena	Q / Q plena	y/d	$\theta$	V (m/s)	
1	4,85	0,12	0,24	2,05	1,33	OK

## Sub-bacia 7:

Trecho	Área (m <sup>2</sup> )					C	tc	tc utilizada	i
	Asfalto	Calçada	Telhado	Cobertura Vegetal	Total				
1	499,37	130,89	0,00	533,29	1163,55	0,61	0,40	0,40	191,96
2	690,68	328,90	9,30	1489,89	2518,77	0,54	1,13	1,13	181,09
3	144,04	29,96	0,00	0,00	174,00	0,82	0,32	1,13	193,25
4	125,13	46,47	0,00	0,00	171,60	0,82	0,32	1,13	193,25
5	1018,25	694,72	539,76	3368,67	5621,40	0,54	0,59	1,13	188,97
6	501,78	921,68	1080,48	4324,48	6828,42	0,53	3,18	3,18	157,40
7	235,61	118,35	540,24	2835,31	3729,51	0,47	3,09	3,18	158,28
8	759,66	232,78	210,78	3935,27	5138,49	0,46	1,46	3,18	176,67
9	497,77	162,72	84,98	2132,50	2877,97	0,47	1,08	3,18	181,78
10	511,99	174,15	474,19	1784,49	2944,82	0,54	1,16	3,18	180,67
11	601,59	157,11	842,34	361,19	1962,23	0,75	1,30	3,18	178,78

Trecho	A (km <sup>2</sup> )	Q	I	D	D comercial (mm)	D comercial (m)
1	0,0012	0,04	0,53	0,10	300,00	0,30
2	0,0025	0,07	0,01	0,26	300,00	0,30
3	0,0002	0,01	0,01	0,12	300,00	0,30
4	0,0002	0,01	0,02	0,10	300,00	0,30
5	0,0056	0,16	0,11	0,23	300,00	0,30
6	0,0068	0,16	0,06	0,26	300,00	0,30
7	0,0037	0,08	0,01	0,27	300,00	0,30
8	0,0051	0,12	0,09	0,21	300,00	0,30
9	0,0029	0,07	0,09	0,17	300,00	0,30
10	0,0029	0,08	0,00	0,43	500,00	0,50
11	0,0020	0,07	0,09	0,18	500,00	0,50

Trecho	Q plena	Q / Q plena	y/d	$\theta$	V (m/s)	
1	4,47	0,01	0,02	0,57	0,77	OK
2	0,61	0,11	0,24	2,02	0,40	-
3	0,61	0,01	0,10	1,29	0,40	-
4	0,93	0,01	0,02	0,57	0,61	OK
5	2,05	0,08	0,02	0,55	1,36	OK
6	1,50	0,10	0,24	2,02	2,93	OK
7	0,61	0,12	0,25	2,09	1,20	OK
8	1,87	0,06	0,18	1,75	3,64	OK
9	1,87	0,04	0,13	1,48	3,64	OK
10	0,76	0,11	0,24	2,02	0,53	-
11	7,35	0,01	0,10	1,29	5,15	-