



Centro Universitário de Brasília - UniCEUB

Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS

Curso de Engenharia Civil

**ANÁLISE DA GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL NO DF**

RHAFael ARAUJO TOLENTINO

Brasília

2018

RHAFael ARAUJO TOLENTINO

**ANÁLISE DA GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL NO DF**

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília - UniCEUB.

Orientador: Prof. Me. Eng.º Julio Cesar Sebastiani Kunzler

Brasília
2018

RHAFael ARAUJO TOLENTINO

**ANÁLISE DA GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL NO DF**

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília - UniCEUB.

Orientador: Prof. Me. Eng.º Julio Cesar Sebastiani Kunzler

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Eng. Julio Cesar Sebastiani Kunzler
Orientador

Prof. Me. Eng. Flavio de Queiroz Costa
Examinador

Prof. Dra. Eng. Maria José de Souza Serafim
Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiro a minha família, da qual eu devo todas as minhas conquistas, incluindo meus pais Wellington e Carla que sempre me apoiaram e deram suporte sem medir esforços, possibilitando minha formação e cobraram o meu melhor, e a minha irmã Rhayna que atua como uma inspiração pra mim, mostrando que sempre somos capazes daquilo que desejamos.

A minha melhor amiga e companheira de vida para todos os momentos Nathalia, que sempre me demonstra como nos superar e exigir mais de nós mesmos em diversas situações, além de seu incondicional e gigantesco coração.

A todas as amizades nascidas neste ciclo, em especial a eles: Abdon, Amanda, Lucas, Osmar, Pedro, Ricardo e Vitor que tornaram esses anos juntos muito mais divertidos e descontraídos que ficarão marcados pra sempre nas minhas lembranças, entre tantos outros que de alguma forma contribuíram para tornar um ambiente melhor.

A todos os professores que participaram da minha graduação, cedendo seu tempo, paciência, conhecimento e aptidão para ensinar ao máximo de tudo que sabem as vezes em tão pouco tempo de aula.

Ao meu orientador Julio, que além de ser uma excelente pessoa, aceitou participar deste trabalho desde o princípio, me auxiliando e indicando o caminho certo a ser seguido na realização dos meus objetivos acadêmicos.

A instituição e todo seu ciclo de funcionários, que disponibilizou ótimas instalações e infraestrutura adequadas para o desenvolvimento de novos conhecimentos.

RESUMO

O seguinte Trabalho de Conclusão de Curso discorre sobre a geração de deflúvio causado pela impermeabilização do solo, assim como seu controle mediante adoção de técnicas compensatórias. Acompanhando as elevadas taxas de urbanização no Brasil, problemas decorrentes do impedimento da capacidade de infiltração do solo junto ao despreparo ou à inexistência de adequados sistemas de drenagem urbana tornam-se cada vez mais recorrentes. As inundações e enchentes são responsáveis por diversas consequências prejudiciais à população. O acúmulo das águas da chuva em meio urbano causam implicações que englobam desde problemas de saúde, perda de bens materiais, degradação prematura de vias e estruturas ou até mesmo a morte de pessoas e animais. Compete aos profissionais da área de Engenharia e Arquitetura a mediação destes efeitos. Esta tarefa ocorre por meio de estudos especializados acerca dos impactos da urbanização no comportamento do escoamento superficial. O estudo elaborado visa a realização de uma análise na geração de escoamento superficial provocada pela construção de um condomínio residencial localizado no Distrito Federal, além da apresentação de medidas para o controle e redução deste volume. A metodologia exercida envolve o levantamento dos fatores que influenciam a vazão superficial natural do escoamento, baseando-se em estudos e métodos de autores renomados na área de cálculos hidrológicos, além de recomendações de órgãos e entidades responsáveis pela gestão de recursos hídricos. Ao final, foi possível identificar que as novas abordagens sobre o estudo de drenagem urbana, associadas ao Desenvolvimento de Baixo Impacto, causam um benefício claro para a resolução dos problemas de alagamentos em áreas urbanas. No objeto de estudo escolhido isso pode ser demonstrado através da implementação de um sistema de telhado verde, o qual apresentou redução de 45% em sua vazão máxima gerada. Além disso, essa técnica viabiliza a execução de um reservatório de quantidade com dimensões adequadas ao empreendimento. Logo, este trabalho visa auxiliar na aplicação de técnicas que contribuam para o melhor atendimento de um projeto de drenagem urbana, por meio da apresentação de informações técnicas relacionadas à uma edificação de grande porte.

Palavras-chave: Deflúvio; Drenagem Urbana; Escoamento Superficial; Técnicas Compensatórias; Desenvolvimento de Baixo Impacto.

ABSTRACT

This study discusses about the generation of defluvium caused by the soil waterproofing, as well as its control through the adoption of compensatory techniques. Accompanying the elevated rates of urbanization in Brazil, problems due the impediment of soil infiltration capacity and due the lack of preparation or inexistence of a appropriated urban drainage systems become more and more recurrent. The inundations and floods are responsible for several damaging consequences to the population. The accumulation of rainwater in urban areas cause effects that encompasses from heath problems, loss of material goods, premature degradation of roads and structures or even the death of people and animals. It is the responsibility of Engineering and Architecture professionals to mediate these effects. This task occurs through specialized studeis about the impacts of urbanization on surface runoff behavior. This study aims to perform an analysis on the generation of surface runoff caused by the construction of a residencial condominium located in Distrito Federal, besides the presentation of measures to control and reduce this volume. The methodology used involves the survey of the factors influencing the natural surface runoff flow, based on studies and methods of renewed authors in hydrological calculations area, as well as recommendations of entities responsible for water resources management. At the end it was possible to identify that the news approaches to urban drainage study, associated with Low Impact Development, cause a great benefict in solving flooding problems in urban areas. In the object of study chosen this can be demonstrated through the implementation of a green roof system, which presented a reduction of 45% in its maximum flow generated. Besides that, this technique enables the execution of a quantity reservoir with appropriate dimensions. Therefore this study aims to support in the application of techniques that contribute to the best attendace of an urban drainage project, through the presentation of technical information related to a large building.

Keywords: Defluvium; Urban Drainage; Surface runoff; Compensatory Techniques; Low Impact Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração simplificada do ciclo hidrológico.....	16
Figura 2 - Mapa Hidrográfico do DF	17
Figura 3 - Efeito da transformação de uma bacia rural em urbana	18
Figura 4 - Impacto da urbanização quanto ao volume e tempo de resposta do hidrograma ...	19
Figura 5 - Estágios da transferência das enchentes por canalização	23
Figura 6 - Representação dos escoamentos no hidrograma de um rio em resposta a um evento de chuva.....	24
Figura 7 - Hidrograma triangular do método racional.....	30
Figura 8 - Exemplos de curvas IDF de um posto pluviográfico	31
Figura 9 - Pavimento permeável possibilitando infiltração da água	36
Figura 10 - Telhado verde na cobertura do Centro de Convenções de Vancouver, Canadá...	36
Figura 11 - Corte esquematizado de uma célula de biorretenção.....	37
Figura 12 - Jardim de chuva na cidade de Sydney, Austrália	37
Figura 13 - Trincheira de infiltração de um estacionamento público em Toronto, Canadá....	38
Figura 14 - Exemplo de cisternas verticais para captação de águas pluviais	38
Figura 15 - Fachada do Condomínio Residencial Cedro.....	39
Figura 16 - Localização do condomínio	40
Figura 17 - Informações sobre os lotes.....	40
Figura 18 - Corte longitudinal de uma torre residencial	41
Figura 19 - Esquematização das áreas do condomínio.....	42
Figura 20 - Trena BOSCH DLR130.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volumes de água armazenados em diferentes condições na Terra	15
Tabela 2 - Fases da gestão de águas urbanas nos países desenvolvidos.....	20
Tabela 3 - Quantidade de municípios com domicílios sujeitos à risco de inundação por região geográfica	22
Tabela 4 - Valores recomendados do coeficiente de escoamento	29
Tabela 5 - Exemplo da determinação da chuva de projeto a partir da curva IDF	33
Tabela 6 - Tempos de concentração baseados na tipologia da área a montante.....	44
Tabela 7 - Faixa de valores selecionada para o coeficiente C	44
Tabela 8 - Valores das áreas levantadas	45
Tabela 9 - Valores aprofundados das áreas de contribuição	45
Tabela 10 - Resultado da intensidade da precipitação.....	46
Tabela 11 - Resultado da vazão máxima pelo método racional	47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Expressão do Método Racional.....	27
Equação 2 - Relação geral da curva IDF	32
Equação 3 - Curva IDF do Distrito Federal	32
Equação 4 - Vazão específica.....	34
Equação 5 - Vazão específica de pré-desenvolvimento	34
Equação 6 - Volume reservatório de quantidade.....	49

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
GDF	Governo do Distrito Federal
HUD	U.S. Department of Housing and Urban Development
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LID	Low Impact Development
NAHB	National Association of Home Builders
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
ONU HABITAT	Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos
PD&R	Police Development and Research
PGIRH/DF	Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal
ReCESA	Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
SEGETH	Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNSA	Secretária Nacional de Saneamento Ambiental
UNIC RIO	Centro de Informações das Nações Unidas do Rio de Janeiro
US DoD	United States Department of Defense
US EPA	United States Environmental Protection Agency

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetros
cm/km	Centímetros por Quilômetro
h	Horas
ha	Hectares
km	Quilômetros
km/s	Quilômetros por Segundo
L	Litros
L/s	Litros por segundo
m	Metros
m/m	Metros por Metro
m/s	Metros por Segundo
m ²	Metros Quadrados
m ³	Metros Cúbicos
m ³ /s	Metros Cúbicos por Segundo
min	Minutos
mm	Milímetros
mm/h	Milímetros por Hora
s	Segundos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Ciclo Hidrológico	15
3.1.1	<i>Bacia Hidrográfica</i>	16
3.2	Impactos da Urbanização no Ciclo em Escala Local	18
3.2.1	<i>Alterações no hidrograma</i>	19
3.3	Gestão de Águas Urbanas: Visão Higienista à Visão Sustentável	20
3.3.1	<i>Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID)</i>	21
3.4	Inundações Urbanas	22
3.5	Escoamento Superficial	24
3.5.1	<i>Grandezas Características</i>	25
3.5.2	<i>Controle do Escoamento</i>	25
3.5.3	<i>Métodos de Estimativa</i>	26
3.6	Método Racional	27
3.6.1	<i>Condições de Validade</i>	27
3.6.2	<i>Coefficiente de Escoamento Superficial</i>	28
3.6.3	<i>Hidrograma Triangular</i>	30
3.7	Curva IDF	31
3.7.1	<i>Equação da Curva</i>	32
3.8	Vazão de Projeto	33
3.9	Vazão Específica de Pré-Desenvolvimento	34
3.10	Controle da Geração do Escoamento na Fonte	35
3.10.1	<i>Técnicas Compensatórias Aplicáveis</i>	35

4	METODOLOGIA	39
4.1	Escolha da Edificação	39
4.2	Características do Condomínio	40
4.3	Levantamento das Áreas	42
4.4	Especificação do Tempo de Retorno	43
4.5	Duração da Chuva de Projeto	43
4.6	Seleção do Coeficiente (C)	44
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	45
5.1	Áreas do Condomínio	45
5.2	Vazão de Pré-Desenvolvimento	46
5.3	Vazão Máxima de Projeto	46
5.3.1	<i>Intensidade da Precipitação</i>	46
5.3.2	<i>Aplicação do Método Racional</i>	47
5.4	Implantação de Técnicas Compensatórias	47
5.4.1	<i>Pavimento Permeável/Célula de Biorretenção/Trincheira de Infiltração</i>	48
5.4.2	<i>Telhado Verde e Jardim de Chuva</i>	48
5.4.3	<i>Reservatório de Quantidade</i>	49
6	CONCLUSÃO	50
7	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	52
8	BIBLIOGRAFIA	53

1 INTRODUÇÃO

A água sempre foi considerada como uma substância fonte de vida, não poderia ser diferente visto que ela representa uma grande parte na composição do corpo humano, além de estar relacionada diretamente com a saúde, desde sua simples ingestão, que mantém a hidratação fundamental do metabolismo, sua utilização para higiene pessoal ou de algum ambiente, afim de eliminar ou afastar quaisquer elementos que tragam doenças, até sua função mais nobre que é o fornecimento de alimentação, sendo esta pela chuva que cai no solo onde crescem as plantações ou por possuir sua biosfera própria rica em fauna e flora.

Por este motivo, o primeiro berço da humanidade, a Mesopotâmia, foi uma região que em seu próprio nome já diz "entre rios" sendo estes os rios Tigre e Eufrates, no Oriente Médio. Logo entende-se a obrigatoriedade de estudar a água, e foi dessa necessidade que nasceu a Hidrologia, que pode ser definida como a ciência que trata do estudo da água na natureza, incluindo suas propriedades, fenômenos e distribuição na atmosfera, na superfície terrestre e no subsolo (PINTO, HOLTZ, *et al.*, 2011).

Diante do crescimento da tecnologia e capacidade na área da Engenharia Civil em construir edificações cada vez maiores e de maneira mais rápida, e a elaboração de vias de ligação entre pontos de interesse, com uma pavimentação adequada tanto para pedestres, motoristas e ciclistas, o que caracterizam uma cidade atual, surge uma demanda de atenção e cuidados para uma questão problemática que se repete ao longo dos anos, se trata dos alagamentos e enchentes causados pela chuva em áreas urbanas, que podem trazer consigo péssimas consequências que passam por problemas de saúde, perda de bens materiais, degradação prematura de vias e estruturas, e até mesmo a morte de pessoas ou animais.

Desta forma, cabe aos profissionais de Engenharia e Arquitetura colocarem em prática os conhecimentos acumulados no campo do saneamento básico voltados para a drenagem urbana de águas pluviais. Essa mediação pode ocorrer por meio da criação de manuais de drenagem, na devida execução de estruturas adequadas e na elaboração de projetos efetivos com base no estudo de especialistas na área.

Sendo assim, este trabalho tem o intuito de auxiliar na aplicação de medidas que visam o melhor atendimento de um projeto de drenagem urbana, através da apresentação de informações técnicas referentes a um estudo de caso em uma edificação de grande porte.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar a geração de escoamento superficial e apresentar métodos para o controle desta vazão de toda a estrutura do Condomínio Residencial Cedro, localizado entre as ruas 4 e 5 Norte da cidade de Águas Claras, no Distrito Federal.

2.2 Objetivos Específicos

- Executar o levantamento da área impermeável da edificação como um todo;
- Verificar a vazão de pré-desenvolvimento do lote;
- Calcular a vazão máxima de projeto do imóvel;
- Conferir se a vazão máxima gerada está dentro do limite estabelecido pela Resolução ADASA nº 9 de 08/04/2011;
- Apresentar medidas alternativas para a redução e controle da vazão de escoamento superficial.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ciclo Hidrológico

O objeto central de estudo da Hidrologia é o grande fenômeno global, incentivado pela energia solar, a gravidade e a rotação da Terra, de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, chamado ciclo hidrológico (TUCCI, 2013).

Para melhor compreensão do ciclo, se deve conhecer as localizações e quantidades armazenadas de água conforme sua disposição no planeta (Tabela 1), que recebe o nome de hidrosfera.

Tabela 1 - Volumes de água armazenados em diferentes condições na Terra

	Volume (10 ³ km ³)	Percentual da água da Terra (%)	Percentual da água doce da Terra (%)
Oceanos/água salgada	1.338.000	97	-
Gelo permanente	24.064	1,7	69
Água subterrânea (doce)	10.530	0,76	30
Lagos (água doce)	91	0,007	0,26
Umidade do solo	16,5	0,001	0,05
Água atmosférica	12,9	0,001	0,04
Banhados	11,5	0,0008	0,03
Rios	2,12	0,0002	0,006
Biota	1,12	0,0001	0,003

Fonte: adaptado de Mays, 2010 apud Collischonn e Dornelles, 2013, p. 19

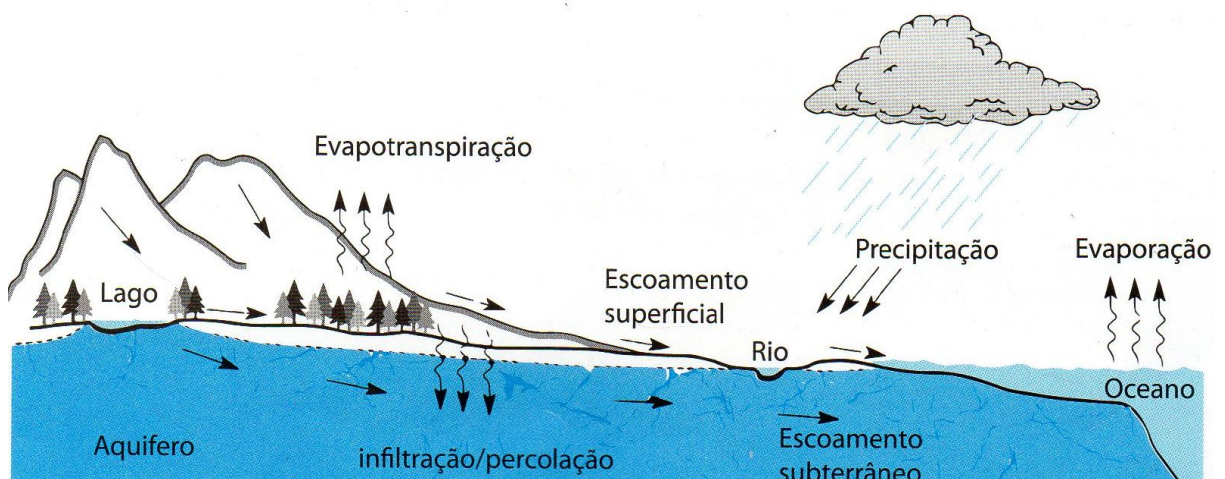
Partindo da atmosfera, pode-se começar a descrever as etapas envolvidas no processo natural que caracterizam este fenômeno. As gotículas de água suspensas no ar, por condensação, atingem determinada grandeza capaz de vencer as correntes que as sustentam, ocorrendo a precipitação em um processo derivado da formação das chuvas. Quando essas gotículas atravessam por uma região com temperaturas negativas, há a possibilidade da formação de partículas de gelo, originando o granizo. Já quando a condensação acontece previamente em temperaturas abaixo do chamado ponto de congelamento, se configura a origem da neve. E ainda, se a condensação realiza-se em contato com uma superfície, acima de 0°C recebe o nome de orvalho, e abaixo desta temperatura é designada geada.

Nem toda precipitação entra em contato com a superfície terrestre diretamente, podendo ser amparada por folhas e galhos da vegetação da região, quando isso acontece se dá o nome de interceptação. Porém, na ocasião em que a precipitação chega ao solo, uma

quantidade se infiltra, outra escoa pela superfície e outra evapora. A quantidade que infiltra e é absorvida pela vegetação também retorna a atmosfera através da transpiração, ou seja, o meio pela qual a água volta a suspensão na atmosfera se dá pela evapotranspiração, mantendo o equilíbrio do ciclo hidrológico.

A infiltração é o processo de penetração de água no solo enquanto a capacidade de infiltração do mesmo é maior que a intensidade da precipitação, caso contrário, a água irá escoar superficialmente (PINTO, HOLTZ, *et al.*, 2011). A água que infiltra no solo, através da percolação de suas partículas, consegue alcançar uma zona do subsolo que se encontra saturada, conhecido como aquífero ou lençol freático, e por meio de um escoamento subterrâneo esse volume de água consegue alimentar rios, lagos e seguir em direção dos oceanos, conforme a Figura 1 demonstra a seguir:

Figura 1 - Ilustração simplificada do ciclo hidrológico



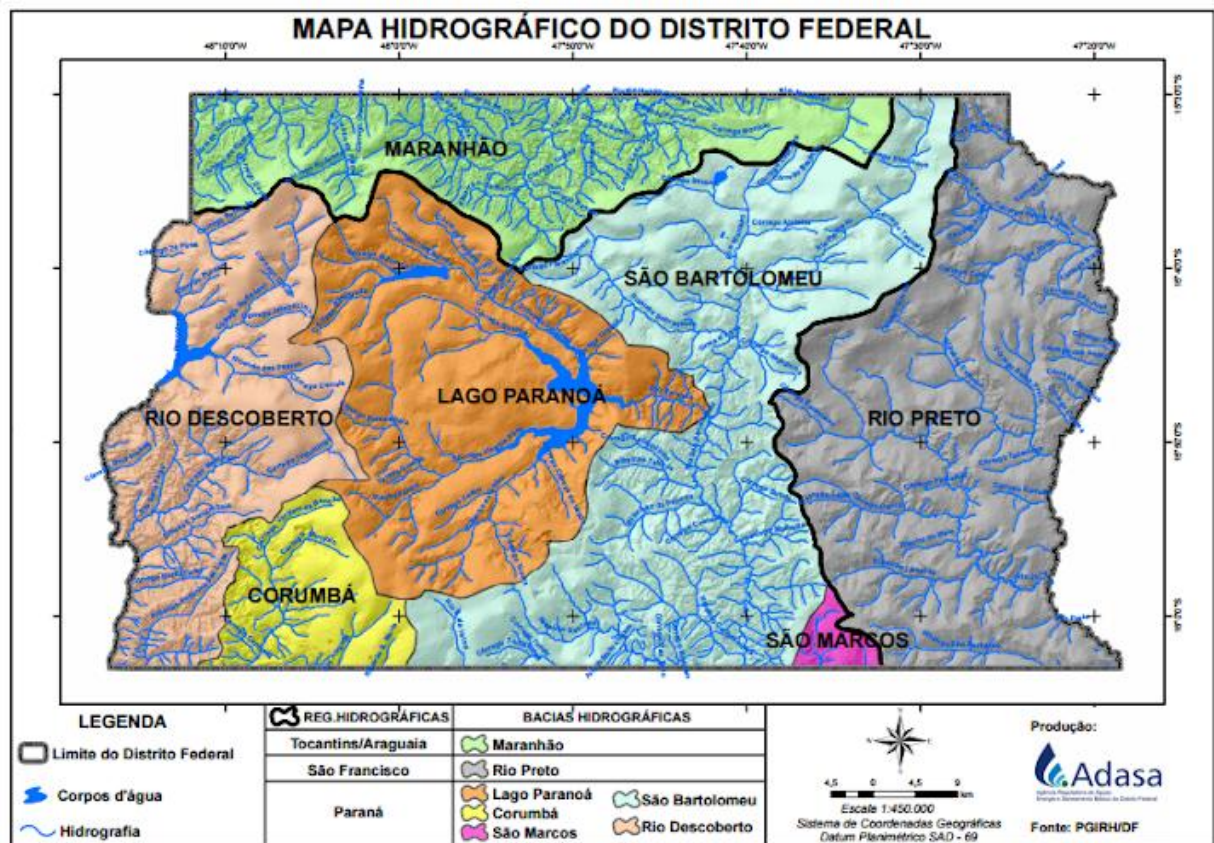
Fonte: Collischonn e Dornelles, 2013, p. 19

3.1.1 *Bacia Hidrográfica*

Para a Engenharia o estudo de maior interesse do ciclo hidrológico acontece na fase terrestre, cujo o maior membro de análise é a bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é a área de captação natural de água da chuva, que levam os escoamentos para um único ponto de saída chamado exutório (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

Logo, presente em uma bacia há a possibilidade de encontrar variados tipos de relevo, solos, ocupação e características próprias que descrevem cada bacia de forma única. Podendo conter áreas naturais com cobertura vegetal nativa, plantações e até mesmo regiões urbanizadas desde pequenas vilas até grandes cidades, e isso não é diferente no Distrito Federal (Figura 2), que apresenta altos índices de urbanização na bacia Lago Paranoá.

Figura 2 - Mapa Hidrográfico do DF



Fonte: Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGRH/DF) - ADASA

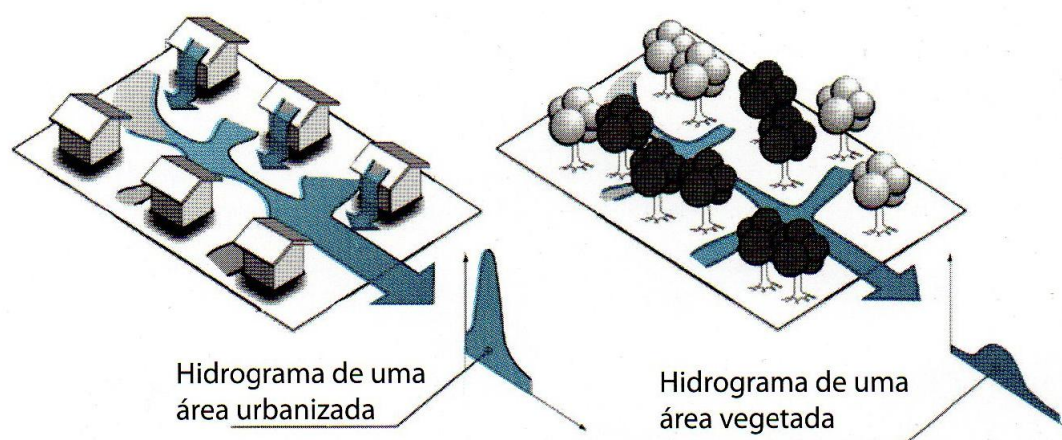
3.2 Impactos da Urbanização no Ciclo em Escala Local

As taxas de urbanização no Brasil se estendem a cada ano, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, a população urbana alcançou um número próximo a 84%. Enquanto em 2012, o Centro de Informações das Nações Unidas do Rio de Janeiro (UNIC Rio de Janeiro) divulgou que, de acordo com um relatório produzido pelo Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-HABITAT), a taxa de urbanização brasileira chegará em 90% até 2020.

Do ponto de vista hidrológico, o processo de transformação ou adaptação de uma área rural em uma área urbana traz grandes resultados danosos sobre o ciclo de uma bacia. Isso se dá pelo fato que esse processo vem acompanhado de mudanças em áreas que antes permitiam as etapas naturais de infiltração, evaporação e escoamento da água proveniente da precipitação. Com modificações no uso e ocupação do solo para fins urbanos como a construção de casas, edifícios, telhados, estacionamentos e ruas asfaltadas por exemplo, ocorre a substituição de uma superfície permeável em outra que pode ter sua capacidade de infiltração reduzida ou ser quase inexistente.

Como consequência disso, Tucci e Genz (2015) dizem que o aumento do volume do escoamento superficial e a redução da recarga natural dos aquíferos e da evapotranspiração são as principais alterações da urbanização no balanço hídrico de uma bacia urbana. Esse efeito é ilustrado abaixo na Figura 3:

Figura 3 - Efeito da transformação de uma bacia rural em urbana

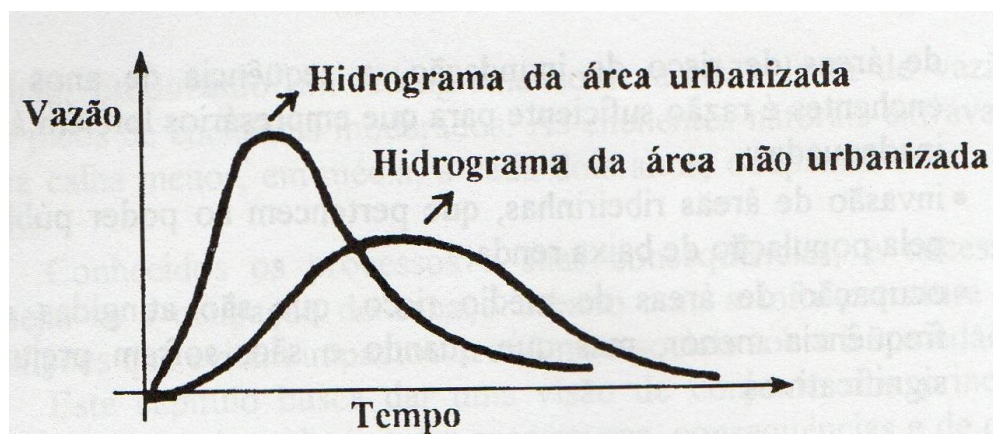


Fonte: Collischonn e Dornelles, 2013, p. 315

3.2.1 Alterações no hidrograma

O hidrograma é um gráfico relacionando vazão com o tempo, no processo de urbanização a vazão afetada é a de escoamento superficial, que cresce de maneira significativa devido a impermeabilização do solo. Além disso, a instalação de estruturas de drenagem como canais afetam na velocidade em que a água se locomove na região, o que gera uma diminuição relevante no tempo em que o volume de água escoar pela superfície de uma bacia. A Figura 4 compara um hidrograma de uma área urbanizada com o de uma não urbanizada, sendo que as principais diferenças a serem notadas estão no aumento e antecipação do pico de vazão e no menor tempo de concentração causados pela mudança da condição de uma região.

Figura 4 - Impacto da urbanização quanto ao volume e tempo de resposta do hidrograma



Fonte: Tucci, Porto e Barros, 2015, p. 18

3.3 Gestão de Águas Urbanas: Visão Higienista à Visão Sustentável

Em meados do século XIX, os olhos do mundo se abriram para a relação entre saneamento e saúde. Isso ocorreu principalmente devido aos estudos realizados por Edwin Chadwick e a demonstração de John Snow, comprovando que a cólera era causada pelo consumo de águas contaminadas com matérias fecais, na Inglaterra. Desde então, devido à preocupação em evitar a proliferação de doenças, o interesse da população estava em coletar água para consumo em uma região e descartar seus dejetos o mais longe possível, iniciando assim a fase conhecida como "higienista" da gestão de águas (Tabela 2). Visto que na época em questão não faziam o tratamento de esgoto e nem pensavam no escoamento de águas pluviais, era apenas uma questão de tempo para que mais problemas voltassem a surgir.

Tabela 2 - Fases da gestão de águas urbanas nos países desenvolvidos

Anos	Período	Características
Até 1970	Higienista	Abastecimento de água sem tratamento de esgoto, transferência para jusante do escoamento pluvial por <u>canalização</u>
1970– 1990	Corretivo	Tratamento de esgoto, <u>amortecimento</u> quantitativo da drenagem e controle do impacto existente da qualidade da água pluvial. Envolve principalmente a atuação sobre os impactos
1990* - ?	Sustentável	Planejamento da ocupação do espaço urbano, obedecendo aos mecanismos naturais de escoamento; controle dos micropoluentes e da poluição difusa, e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial por meio da recuperação da <u>infiltração</u>

* Período no qual esse tipo de visão iniciou-se.

Fonte: Tucci, 2005, p. 141

Essa configuração de coletar a água a montante e dispor o esgoto a jusante, segundo Tucci (2005), foi aceitável enquanto as cidades possuíam população até cerca de 20 mil habitantes e se encontravam com uma certa distância uma da outra, pois com o passar do tempo as cidades cresceram e começaram a se aproximar de forma que a cidade à montante poluísse a cidade a jusante e assim por diante, em um processo descrito como "ciclo de contaminação".

A fase "corretiva" (Tabela 2) é marcada pelo reconhecimento da necessidade de um tratamento de esgoto adequado e da carência do controle de inundações urbanas, resultando no tratamento de esgoto doméstico e sistemas de amortecimentos na drenagem de águas pluviais. Além da percepção de que a falta de uma boa distribuição nos resíduos sólidos influencia diretamente na qualidade do sistema de drenagem, visto que o resíduo não coletado acaba sendo escoado para dentro do sistema (TUCCI, 2005).

Logo depois, ficou evidente que não basta apenas tratar das feridas, ou seja, dos impactos causados pelas visões antigas na forma de gerenciar as águas urbanas, mas que é essencial iniciar a ação nas causas do problema, em sua fonte. Dessa forma, atuando de maneira preventiva às complicações futuras, a fase "sustentável" ou "ambiental" (Tabela 2) lida com essa responsabilidade.

3.3.1 *Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID)*

Visando soluções sustentáveis que integrem todas as etapas da concepção do sistema urbano, desde o planejamento da ocupação do solo, passando pela preservação dos mecanismos naturais de escoamento até o controle dos poluentes, os países desenvolvidos como Estados Unidos, Canadá e Austrália têm utilizado o termo *Low Impact Development* (LID) ou Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, como é conhecido no Brasil.

Segundo o centro de pesquisa da Associação Nacional de Construtores Residenciais dos Estados Unidos:

Desenvolvimento de Baixo Impacto é uma abordagem para o desenvolvimento do uso do solo que utiliza várias práticas de planejamento e tecnologias para conservar e, simultaneamente, proteger os sistemas de recursos naturais reduzindo os custos de infraestrutura. O LID ainda permite o uso do solo, porém de uma maneira em que o custo-benefício ajude a mitigar o potencial de impactos ambientais. (NAHB RESEARCH CENTER INC., 2003, p. 1, tradução).

Por mais que nos países em desenvolvimento ainda esteja em foco a fase corretiva, no Brasil a abordagem do LID já está sendo bastante discutida em publicações de artigos, dissertações e trabalhos acadêmicos, além de ter sua aplicação em diversas obras no país.

3.4 Inundações Urbanas

Os efeitos de uma gestão de águas pluviais inadequada podem ser bastante desagradáveis tanto para o governo quanto para a população de uma região. Tratando-se de uma área urbanizada essas consequências se manifestam na forma de inundações e enchentes, causando problemas para todos os lados. Um diagnóstico realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apontou o número de municípios com habitações em áreas de risco de inundação no ano de 2015 (Tabela 3):

Tabela 3 - Quantidade de municípios com domicílios sujeitos à risco de inundação por região geográfica

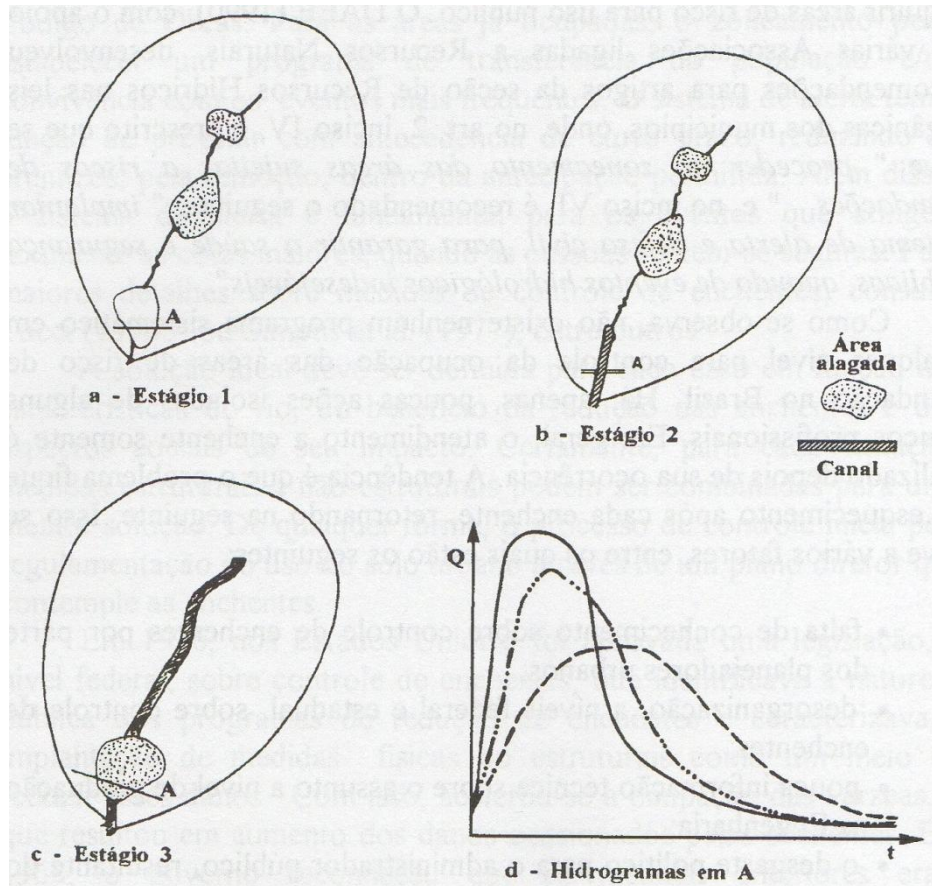
Região geográfica	Quantidade de municípios			
	Participantes	Não responderam	Com valor = 0	Com valor > 0
Norte	124	88	8	28
Nordeste	503	379	31	93
Sudeste	933	609	65	259
Sul	795	543	64	188
Centro-Oeste	186	134	26	26
Brasil	2.541	1.753	194	594

Fonte: Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas - 2015 (SNIS, 2018), p.39

As causas de situações como essa podem ser explicadas através da análise do crescimento de uma cidade em relação a sua bacia na macrodrenagem. A urbanização tende a iniciar sua ocupação a jusante, devido condições de relevo favorável principalmente, seguindo em direção a montante da primeira ocupação, e assim por diante. O erro está no projeto de águas urbanas adotado desde a fase inicial, que se encarrega, basicamente, em drenar a água dos loteamentos, correspondendo a única exigência vinda por parte da população.

Carlos Tucci (2015) apresenta os três estágios da transferência das enchentes por canalização, os quais são apresentados pela Figura 5:

Figura 5 - Estágios da transferência das enchentes por canalização



Fonte: Tucci, Porto e Barros, 2015, p. 26

Estágio 1: a bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída com maior densificação a jusante, aparecendo, no leito natural, os locais de inundação devido a estrangulamentos naturais ao longo do seu curso;

Estágio 2: as primeiras canalizações são executadas a jusante, com base na urbanização atual, com isso, o hidrograma a jusante aumenta, mas ainda é contido pelas áreas que inundam a montante e porque a bacia não está totalmente densificada;

Estágio 3: com a maior densificação, a pressão pública faz com que os administradores continuem o processo de canalização para montante. Quando o processo se completa, ou mesmo antes, as inundações retornam a jusante, devido ao aumento da vazão máxima, quando esta não tem mais condições de ser ampliada. As áreas de montante funcionavam como amortecimento. Nesse estágio, a canalização simplesmente *transfere a inundação para jusante*. Já não existem espaços laterais para ampliar os canais a jusante, e as soluções convergem para o aprofundamento do canal, com custos extremamente altos." (TUCCI, PORTO e BARROS, 2015, p. 26 e 27)

3.5 Escoamento Superficial

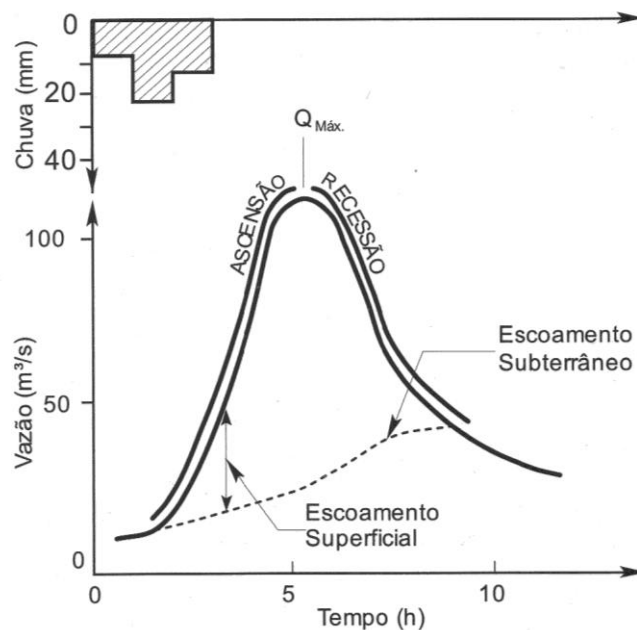
Dentro do domínio da Engenharia Civil, uma das grandes áreas de atuação é o atendimento aos serviços relacionados ao saneamento básico. De acordo com a lei nº 11.445 de janeiro de 2007, o saneamento básico é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

- abastecimento de água potável;
- esgotamento sanitário;
- limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
- drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Intrínseco a este último tópico se encontra, em maior parte, o dever relacionado ao tratamento e estudos acerca do escoamento superficial, gerado pelas características urbanísticas de uma cidade.

O fragmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento da água na superfície terrestre se atribui ao escoamento superficial, esse estudo considera a movimentação, desde a menor parcela da água oriunda da precipitação sobre um solo saturado ou impermeável, que por sua vez escoar pela sua superfície gerando as enxurradas, córregos, lagos, rios e ribeirões (PINTO, HOLTZ, *et al.*, 2011). Esse efeito é ilustrado conforme a Figura 6 abaixo:

Figura 6 - Representação dos escoamentos no hidrograma de um rio em resposta a um evento de chuva



Fonte: Collischonn e Dornelles, 2013, p. 131

3.5.1 Grandezas Características

Dentre as principais grandezas características do escoamento superficial, que merecem ser destacadas segundo Garcez e Alvarez (1988), estão:

- **Nível de água:** É a altura que atinge a água numa seção em relação a uma referência. Pode se referir a valores instantâneos ou á média de intervalos (dia, mês, ano);
- **Velocidade:** É a relação entre o espaço trilhado pela partícula líquida e o tempo de percurso. Diferenciam-se velocidades média, superficial e pontual (medida preferencialmente em m/s);
- **Vazão:** É a relação entre o volume que escoar, e o período de tempo levado no processo de escoamento, é igual ao produto da velocidade média pela área da seção (mede-se em m³/s);
- **Declividade da linha de água:** Relação entre a diferença de cota entre dois pontos da superfície líquida e a distância entre eles (podendo ser em m/m ou cm/km).

3.5.2 Controle do Escoamento

As medidas de controle do escoamento, de acordo com Tucci e Genz (2015), podem ser classificadas de acordo com sua ação na bacia em:

- **distribuída ou na fonte:** é o tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios;
- **na microdrenagem:** controle que age sobre o hidrograma resultante de alguns lotes;
- **na macrodrenagem:** é o controle sobre os principais riachos urbanos.

Os autores também descrevem que é possível organizar as medidas de controle baseado em sua influência sobre o hidrograma, em cada uma das partes da bacia já mencionadas, desta forma:

- **infiltração e percolação:** criando espaços que favoreçam a infiltração e a percolação da água, se aproveitando do armazenamento e fluxo subterrâneo para desacelerar o escoamento;
- **armazenamento:** por meio de reservatórios que possuem como principal característica a retenção do volume de escoamento superficial, diminuindo seu pico e distribuindo a vazão no tempo;
- **aumento da eficiência do escoamento:** mediante canais e condutos, que utilizados de maneira conjunta com reservatórios são capazes de drenar áreas inundadas, caso contrário podem apenas transferir enchentes para outra região;

- **diques e estações de bombeamento:** alternativa de solução em áreas urbanas que não apresentam espaço físico onde possam desenvolver o amortecimento da inundação, esta medida visa um controle localizado de enchentes.

3.5.3 *Métodos de Estimativa*

Os estudos da apuração do escoamento se dá pelo cálculo da precipitação efetiva, também chamada de chuva efetiva, que pode ser definida como "a parcela do total precipitado que gera o escoamento superficial" (TUCCI, 2013, p. 399).

Existem vários métodos para estimar a chuva efetiva durante um evento, alguns destes métodos são apresentado a seguir:

- ✓ **Equação de Green e Ampt (1911)** para estimar a infiltração e a chuva efetiva, conforme apresentado por Mein e Larson (1973);
- ✓ **Método do SCS:** desenvolvido pelo *National Resources Conservation Center* dos EUA (Antigo *Soil Conservation Service - SCS*);
- ✓ **Fórmula de Horton:** através da aferição indireta do escoamento, visto que esta fórmula calcula a capacidade de infiltração do solo;
- ✓ **Método Racional:** o mais difundido para o cálculo do escoamento em pequenas bacias, com referências mais remotas em meados do século XIX na Inglaterra;
- ✓ **Uso de Softwares**, como por exemplo: o **SWMM** (*Storm Water Management Model*), o **HEC-HMS** (*Hydrologic Modeling System*) e o **IPHS1** (desenvolvimento no Brasil pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS), que foram desenvolvidos com o avanço da tecnologia, possibilitando a resolução de cálculos complexos envolvendo uma grande quantidade de variáveis.

3.6 Método Racional

É um método indireto que estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial, também chamado de deflúvio. Foi apresentado pela primeira vez por Mulvaney em 1851, depois utilizado em 1889 por Emil Kuichling. É usado para calcular a vazão de pico de uma bacia, considerando uma seção de estudo (TOMAZ, 2002). A seguinte expressão (Equação 1) define o método racional:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Equação 1 - Expressão do Método Racional

Sendo:

Q: vazão de pico (m³/s)

C: coeficiente de escoamento superficial (adimensional)

I: intensidade média da chuva (mm/h)

A: área da bacia (ha)

Rubem Porto (2015) afirma que este método é o mais difundido para se determinar vazões de pico em pequenas bacias, e essa receptividade ocorre pela sua simplicidade e aos resultados satisfatórios, desde que aplicado dentro dos limites de suas condições.

3.6.1 Condições de Validade

Porto (1993 apud TOMAZ, 2002) informa que o método racional deve ser aplicado somente em pequenas bacias, cuja área de drenagem seja inferior a 3 km² (300 ha) ou que possuam tempo de concentração menor que uma hora.

O conceito de pequena, média e grande bacia é relativo e variável entre os hidrólogos. No ponto de vista da drenagem urbana, Porto (2015) apresenta algumas características hidrológicas de uma bacia de pequeno porte, são elas:

- ✓ a chuva pode ser considerada uniformemente distribuída no tempo;
- ✓ a chuva pode ser considerada uniformemente distribuída no espaço;
- ✓ normalmente a duração da chuva excede o tempo de concentração da bacia;
- ✓ o escoamento superficial é advindo principalmente ao escoamento sobre superfícies ("overland flow");

- ✓ o processo de amortecimento nos canais é desprezível

Plínio (2002) ainda adverte quanto a análise da maneira em que o método é baseado, e lista as hipóteses de aplicação do método racional como abaixo:

- a) a bacia por inteira contribui com o deflúvio, por isso o tempo de duração da tormenta deve ser igual ou superior ao tempo de concentração da bacia;
- b) a chuva é distribuída de modo uniforme sobre toda a área da bacia;
- c) todas as perdas estão anexadas ao coeficiente de escoamento superficial.

3.6.2 *Coeficiente de Escoamento Superficial (C)*

O coeficiente de escoamento superficial, também chamado de coeficiente de deflúvio ou coeficiente de runoff, pode ser descrito como a razão entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado no evento (TUCCI, 2000 apud TOMAZ, 2002).

Por definição, o coeficiente de deflúvio também é determinado em função das condições da ocupação do solo, Plínio (2002) aponta algumas variáveis que influenciam no coeficiente:

- Porcentagem da área impermeável;
- Características do solo;
- Duração da chuva;
- Intensidade da chuva;
- Forma da área de drenagem;
- Capacidade de campo da camada do solo;
- Declividade da bacia;
- Frequência escolhida;
- Uso do solo e características;
- Armazenamento de água na superfície do solo;
- Interceptação.

Porto (2015) ressalta que o coeficiente depende de uma série de fatores, como tipo de solo, ocupação da bacia, umidade antecedente e intensidade da chuva, sendo portanto pouco realista, por isso aconselha que a adoção de um valor seja feita com cuidado.

Diversos autores fizeram sua contribuição sobre valores a serem adotados para o coeficiente de escoamento, a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA) disponibilizou neste ano os seguintes dados (Tabela 4):

Tabela 4 - Valores recomendados do coeficiente de escoamento

Uso do Solo	C
Área Comercial/Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas, em cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95
Área Comercial/Edificação não muito densa: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 - 0,70
Área Residencial: Residências isoladas; com muita superfície livre Unidades múltiplas (separadas); partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas Unidades múltiplas (conjugadas) Lotes com > 2.000 m ² Áreas com apartamentos	0,35 - 0,50 0,50 - 0,60 0,60 - 0,75 0,30 - 0,45 0,50 - 0,70
Área industrial: Indústrias leves Indústrias pesadas	0,50 - 0,80 0,60 - 0,90
Outros: Matas, parques e campos de esporte, partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas e parques ajardinados Parques, cemitérios; subúrbio com pequena densidade de construção Playgrounds Pátios ferroviários Áreas sem melhoramentos	0,05 - 0,20 0,10 - 0,25 0,20 - 0,35 0,20 - 0,40 0,10 - 0,30

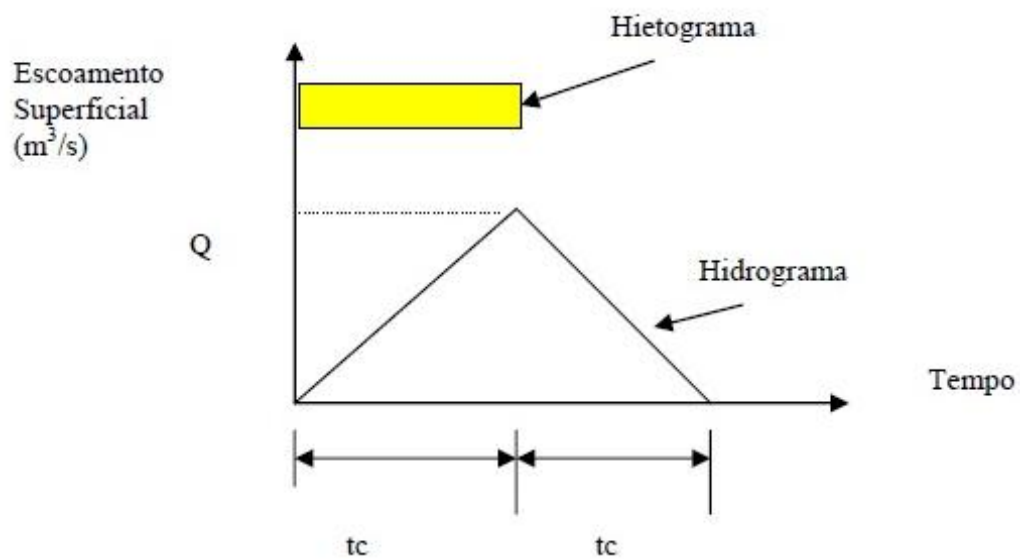
Fonte: Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal, ADASA, 2018, p. 303

(adaptado de ASCE, 1969 e Wilken, 1978)

3.6.3 Hidrograma Triangular

Na aplicação do método, considerando o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia, além de se obter a vazão de pico do evento é possível determinar o hidrograma correspondente. Na saída, conforme foi explanado por William (1950), Pagan (1972) e Mitchi (1974), a vazão efluente irá oscilar conforme um hidrograma triangular (Figura 7) (TOMAZ, 2002).

Figura 7 - Hidrograma triangular do método racional



Fonte: Porto, 1995 apud Tomaz, 2002, p. 134

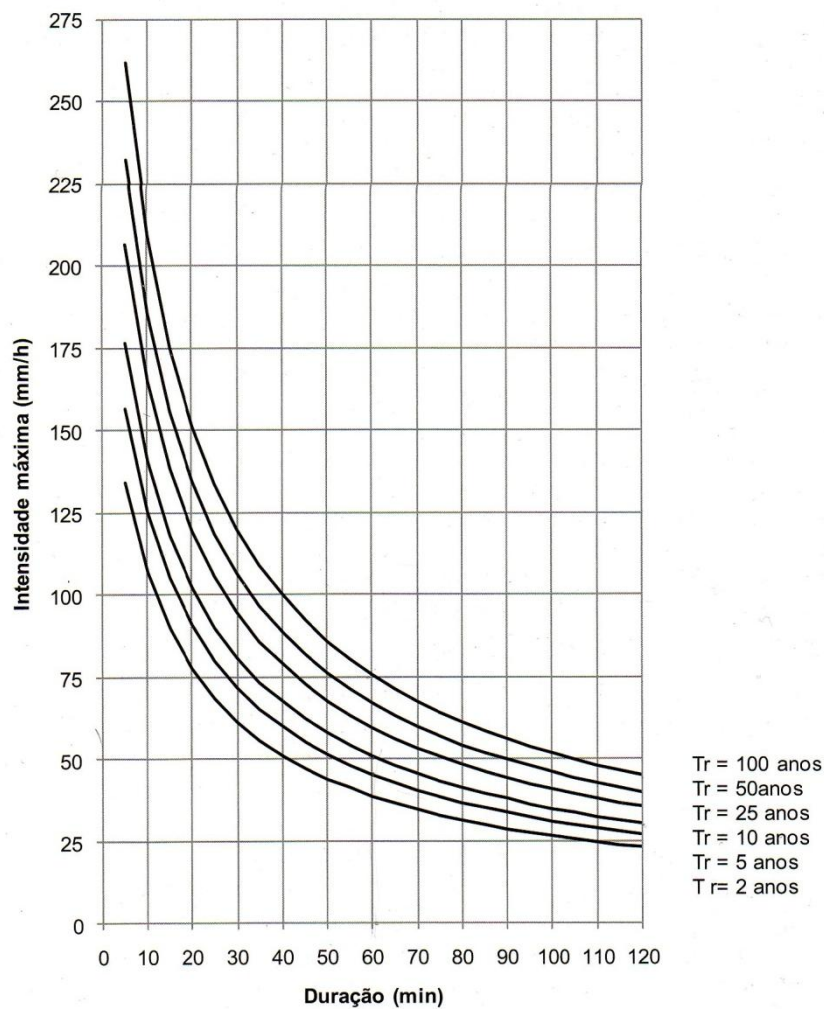
Portanto, nota-se que o hidrograma de cheia do método racional é representado por um triângulo isósceles. Porto (2015) diz que se os efeitos de armazenamento não tivessem sido desprezados, o segmento descendente do hidrograma iria responder de maneira diferente, possuindo seu tempo maior que o t_c (tempo de concentração), e o valor da vazão de pico seria reduzido de forma proporcional.

3.7 Curva IDF

O estudo de frequência das chuvas intensas, conforme Collischonn e Dornelles (2013) é de fundamental importância para o dimensionamento de elementos que constituem um sistema de drenagem, porém a dificuldade desse estudo está em relacionar uma determinada precipitação, que atinge uma certa área, ao longo de uma duração específica, com uma dada probabilidade de ocorrência em um ano qualquer.

A maneira de relacionar quase todos esses fatores é a curva de Intensidade - Duração - Frequência (curva IDF - Figura 8). A intensidade da chuva associada com o tempo de concentração e a frequência da ocorrência pode ser obtida das curvas (TOMAZ, 2002).

Figura 8 - Exemplos de curvas IDF de um posto pluviográfico



Fonte: Collischonn e Dornelles, 2013, p. 71

A curva IDF é produto da análise estatística de séries longas, de pelo menos 15 anos, de dados de um pluviógrafo. A forma como essa análise é feita consiste na seleção das maiores chuvas de determinada duração (por exemplo 15 minutos) em cada ano da série de dados. Nesta série é aplicada uma distribuição de frequência de forma a otimizar a representação dos valores observados. As etapas são repetidas para diferentes durações de chuva (10 minutos; 1 hora; 12 horas; 24 horas; 5 dias) e os resultados são resumidos, relacionando as três variáveis (intensidade, duração e frequência), na forma de um gráfico ou equação (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

3.7.1 Equação da Curva

As formas mais comuns adotadas para expressar a curva IDF, segundo Collischonn e Dornelles (2013), são relações como a Equação 2:

$$I = \frac{a * TR^b}{(td + c)^d}$$

Equação 2 - Relação geral da curva IDF

Onde:

I: intensidade da chuva (mm/h);

a , b , c e d : parâmetros característicos de cada local;

TR: tempo de retorno (anos);

td: duração da precipitação (minutos)

Conforme estabelecido no Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal de 2018, a intensidade da chuva crítica do Distrito Federal é calculada pela equação IDF (Equação 3):

$$I = \frac{1574,7 * T^{0,207}}{(t + 11)^{0,884}}$$

Equação 3 - Curva IDF do Distrito Federal

T: tempo de retorno (anos);

t: duração da chuva (minutos);

I: intensidade (mm/h);

No Método Racional considera-se $t = t_c =$ tempo de concentração da bacia.

3.8 Vazão de Projeto

Para projetos de drenagem urbana, constantemente se faz necessário o cálculo da vazão máxima. Para a estimativa dessas vazões, Collischonn e Dornelles (2013) explica que cenários com eventos de precipitação idealizados são elaborados e recebem o nome de "chuvas de projeto". Eles descrevem que, através da obtenção de valores de precipitação em parcelas menores de tempo do que a duração total do evento de chuva, as curvas IDF podem ser usadas para a criação de chuvas de projeto.

Se, por exemplo, deseja-se adquirir a precipitação com 20 minutos de duração, parcelas de 5 minutos, 2 anos de tempo de retorno, na cidade de Porto Alegre onde os parâmetros são $a=509,86$; $b=0,196$; $c=10$ e $d=0,72$ baseado em uma curva IDF com dados medidos no IPH-UFRGS, tem-se o seguinte resultado (Tabela 5):

Tabela 5 - Exemplo da determinação da chuva de projeto a partir da curva IDF

Tempo (min)	I (mm/h)	Pacum (mm)	P (mm)
5	83,11	6,93	6,93
10	67,56	11,26	4,33
15	57,54	14,38	3,12
20	50,46	16,82	2,44

Fonte: Collischonn e Dornelles, 2013, p. 73

Na primeira coluna encontra-se a duração de cada precipitação em parcelas ou intervalos de 5 minutos até o tempo total de 20 minutos, na segunda coluna temos o valor da intensidade da precipitação de cada duração, a terceira demonstra a altura de precipitação acumulada de chuva ($Pacum=I*Tempo/60$) e por último, o valor de precipitação incremental a cada intervalo de 5 minutos, que é calculado pela diferença de valores entre a precipitação acumulada de um intervalo e a do intervalo anterior.

3.9 Vazão Específica de Pré-Desenvolvimento

De acordo com o artigo 2º da Resolução nº 9 de 08/04/2011 da ADASA, que estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal, o termo vazão de pré-desenvolvimento se aplica a "vazão estimada de escoamento superficial calculada considerando-se a situação natural de cobertura do solo". O artigo nº 5 ainda prevê que a outorga de lançamento de águas pluviais decorrente de impermeabilização do solo se limita a vazão específica de pré-desenvolvimento de **24,4 L/s por hectare**.

A obtenção desse valor está presente no Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal (ADASA, 2018) e pode ser explicada conforme abaixo:

- ❖ A partir da Equação 3 já citada anteriormente;
- ❖ Se aplica as condições T= 10 anos e t= 60 minutos;
- ❖ Resulta em uma intensidade I= 58,57 mm/h;
- ❖ A vazão específica é calculada pelo Método Racional, através da Equação 4:

$$Q = 2,78 * C * i * A$$

Equação 4 - Vazão específica

Onde:

Q: vazão (L/s);

C: coeficiente de deflúvio (adimensional);

i: intensidade da chuva (mm/h);

A: área de contribuição (ha).

- ❖ Para coeficiente de deflúvio no cenário de pré-desenvolvimento: C= 0,15;
- ❖ Intensidade resultante da expressão da curva IDF: i= 58,57mm/h;
- ❖ Área de 100 ha (1.414m x 707m);
- ❖ Obtêm-se a expressão da Equação 5:

$$Q = 2442,4 \text{ L/s}$$

$$Q/A = 24,4 \text{ L/s} * \text{ha}$$

Equação 5 - Vazão específica de pré-desenvolvimento

3.10 Controle da Geração do Escoamento na Fonte

Conforme já citado, as ações que visam o controle do escoamento superficial em lotes individuais, parques e praças são classificadas como métodos de controle na fonte (*source control*). Para Tucci e Genz (2015) as principais medidas desta forma de controle localizado se dividem em duas vertentes, sendo elas:

- o aumento de áreas de infiltração e percolação e
- o armazenamento temporário em reservatórios residenciais ou telhados.

As principais características do controle localizado que valem ressaltar conforme Urbonas e Stahre (1993 apud TUCCI, 2015) são:

- crescimento da eficácia do sistema de drenagem de jusante dos locais controlados;
- maior capacidade de controle de enchentes dos sistemas;
- dificuldade de controlar, projetar e fazer manutenção de um grande número de sistemas;
- possibilidade de altos custos de operação e manutenção.

3.10.1 Técnicas Compensatórias Aplicáveis

Dentre os variados métodos desenvolvidos ao longo do estudo de drenagem urbana junto com novas medidas motivadas pelo Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), estão algumas técnicas que podem possuir maior probabilidade de adesão pela população que reside em centros urbanos, principalmente em edifícios multifamiliares compostos por muitos pavimentos. Essa conexão depende de muitas condicionantes como a facilidade de instalação, a complexidade da aplicação em edificações já finalizadas e o custo-benefício da manutenção do sistema, tendo em vista as vantagens ambientais e a economia financeira gerada em alguns casos.

Algumas técnicas compensatórias de drenagem urbana conhecidas, que podem ser aplicadas ao LID, são apresentadas a seguir.

Pavimento Permeável: a Figura 9 mostra uma pavimentação que possibilita a infiltração das águas pluviais em solos subjacentes, assim diminuindo o escoamento superficial e proporcionando a remoção de poluentes e a recarga de água subterrânea (US EPA, 2000 apud BAHIENSE, 2013).

Figura 9 - Pavimento permeável possibilitando infiltração da água



Fonte: Acervo eletrônico (Associação Brasileira de Cimento Portland)

Telhado Verde: revestimento total ou parcial formada de vegetação sobre camadas de membranas impermeáveis, desta forma compensando o aumento da área impermeabilizada do lote devido a construção da edificação (Figura 10) (ROWE, 2011 apud BAHIENSE, 2013).

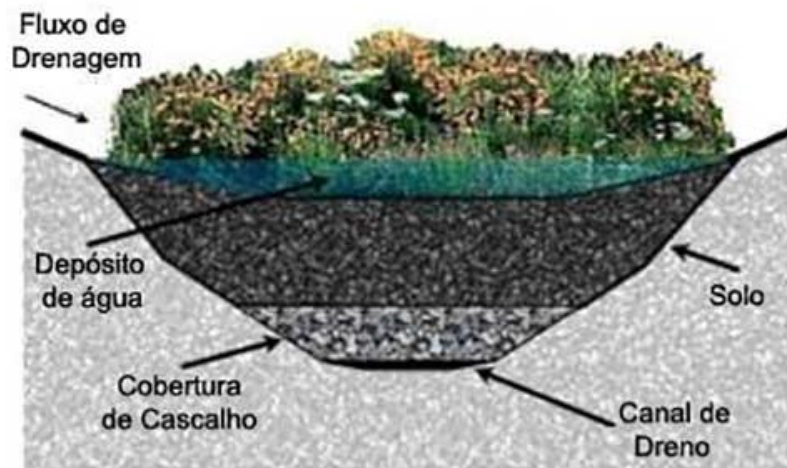
Figura 10 - Telhado verde na cobertura do Centro de Convenções de Vancouver, Canadá



Fonte: Acervo eletrônico (Vancouver Convention Center)

Célula de biorretenção: prática de tratamento de águas pluviais através do armazenamento em depressões rasas, onde vegetações qualificadas para o processo de filtração de poluentes são plantadas (Figura 11) (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Figura 11 - Corte esquematizado de uma célula de biorretenção



Fonte: Acervo eletrônico (Fórum da Construção - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura)

Jardim de chuva: áreas para armazenar águas pluviais cobertas de vegetação, reduzindo o volume de escoamento superficial por meio da infiltração no solo (Figura 12) (BAHIENSE, 2013).

Figura 12 - Jardim de chuva na cidade de Sydney, Austrália



Fonte: Acervo eletrônico (Instituto de Engenharia)

Trincheira de infiltração: valas permeáveis preenchidas com pedras, criando uma área de armazenamento temporário de água pluvial para posterior infiltração (Figura 13) (US DoD, 2004 apud BAHIENSE, 2013).

Figura 13 - Trincheira de infiltração de um estacionamento público em Toronto, Canadá



Fonte: Acervo eletrônico (Kortright Centre for Conservation)

Reservatório ou cisterna: recipientes que recolhem as águas pluviais oriundas do escoamento de toda a área impermeável do lote, podendo ou não ser utilizada posteriormente (Figura 14) (US DoD, 2004 apud BAHIENSE, 2013).

Figura 14 - Exemplo de cisternas verticais para captação de águas pluviais



Fonte: Acervo eletrônico (Ecycle)

4 METODOLOGIA

4.1 Escolha da Edificação

Para a realização deste estudo foi selecionado o Condomínio Residencial Cedro (Figura 15), localizado entre as ruas 4 e 5 Norte de Águas Claras - DF (Figura 16), com o intuito de examinar a contribuição na rede de drenagem proveniente da geração de escoamento superficial causada por suas áreas impermeáveis.

Figura 15 - Fachada do Condomínio Residencial Cedro



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Figura 16 - Localização do condomínio



Fonte: Geoportal (SEDETH)

4.2 Características do Condomínio

O condomínio em análise foi inaugurado em Junho de 2005 e construído para servir como residência multifamiliar. O imóvel ocupa a área de dois lotes de 1800 m² (Figura 17), referentes ao lote 5 da rua 4 norte e ao lote 2 da rua 5 norte, somando um total de 3600 m².

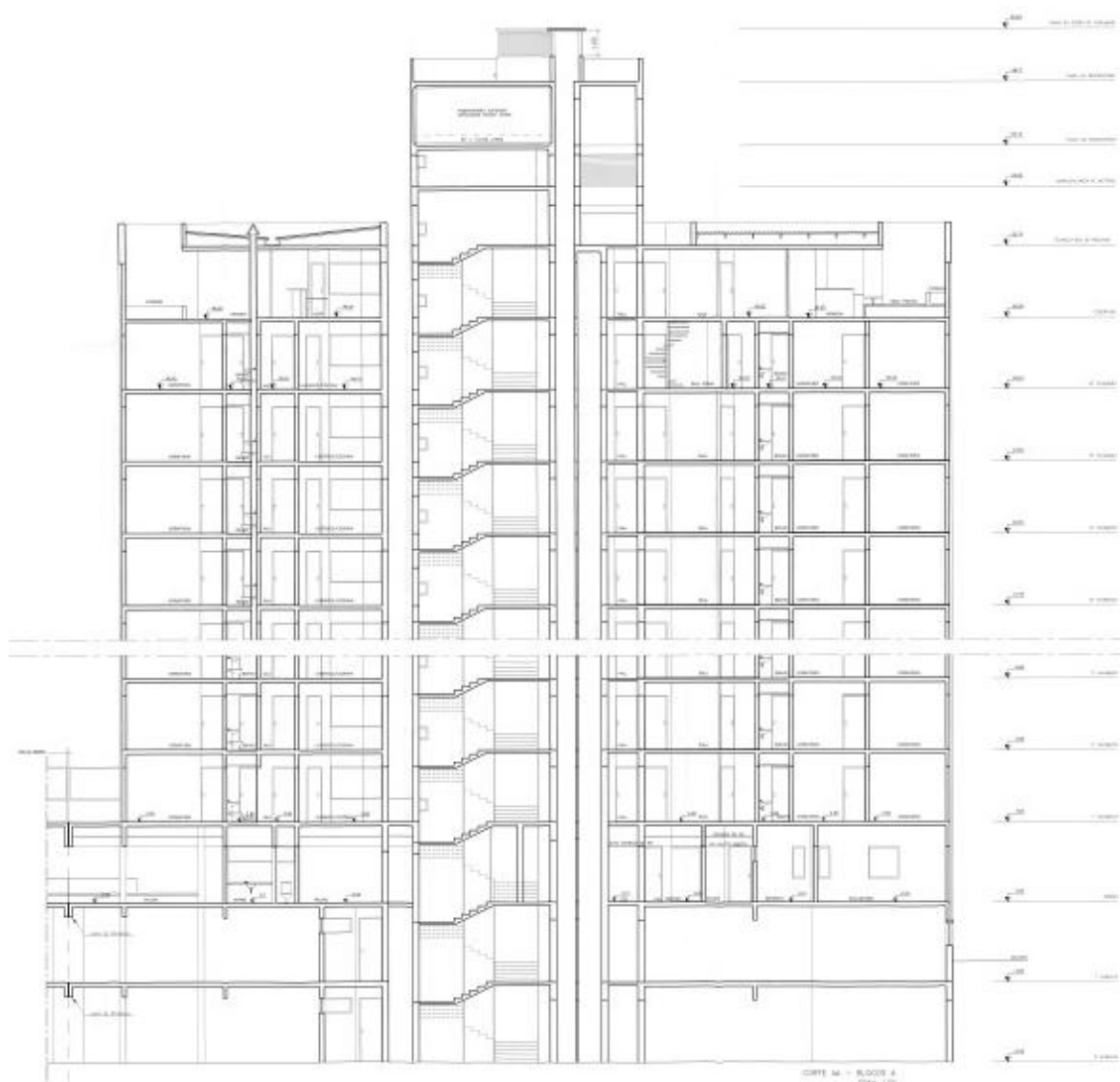
Figura 17 - Informações sobre os lotes



Fonte: Geoportal (SEDETH)

Sua estruturação é formada por duas torres A e B compostas de 17 pavimentos com apartamentos mais 4 pavimentos referentes ao telhado, barrilete, reservatório e porão de ventilação cada, sobre um pilotis único e compartilhado por ambas as torres, totalizando uma altura de 60,83 metros, além de dois subsolos de garagem que juntos apresentam 6,4 m de profundidade, destacados na Figura 18.

Figura 18 - Corte longitudinal de uma torre residencial



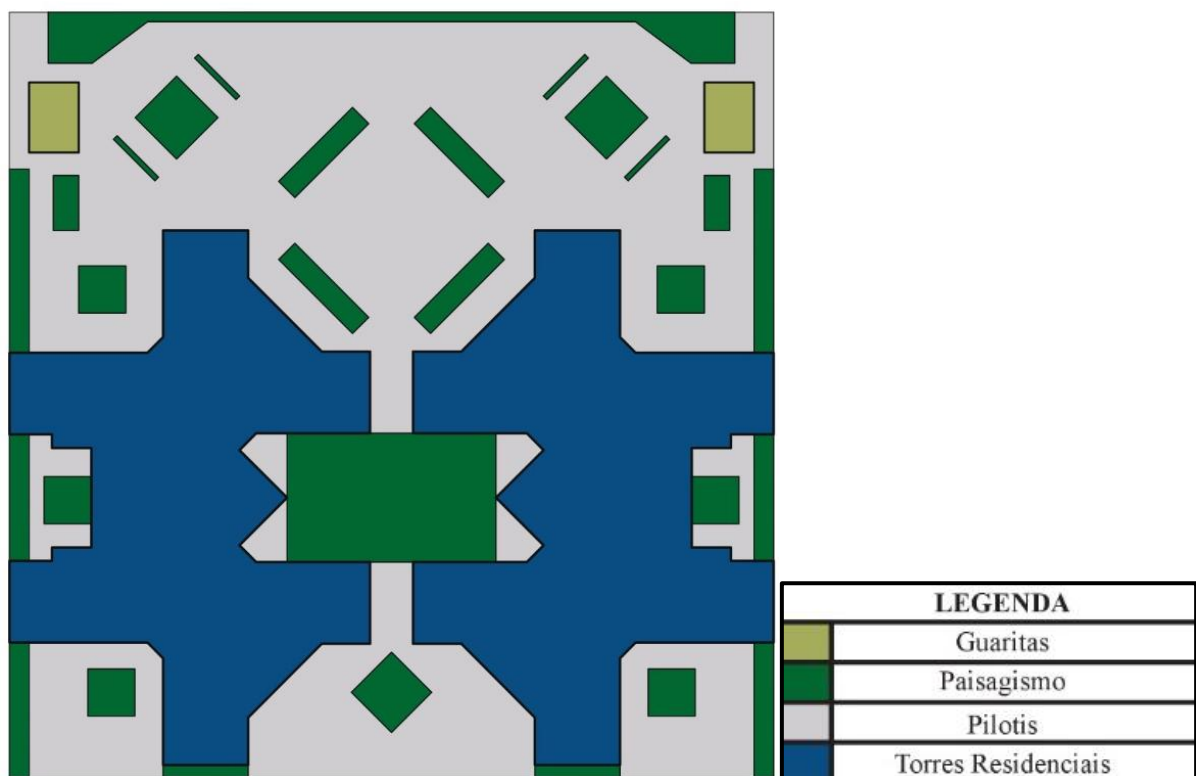
Fonte: Acervo da administração do condomínio(2002)

Os dados aqui apresentados foram obtidos por meio da leitura de projetos concedidos pela administração do condomínio e no que diz respeito às dimensões do lote, os valores estão conforme o exibido no Geoportal, ferramenta disponibilizada pela Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (SEGETH) em seu endereço eletrônico.

4.3 Levantamento das Áreas

Para mensuração das dimensões correspondentes as regiões impermeabilizadas do condomínio e conseqüente cálculo de suas áreas, foi realizada a consulta nos projetos arquitetônicos disponibilizados por meio digital no formato pdf. Com o propósito de organizar e facilitar a execução, as etapas do levantamento tiveram como base a seguinte esquematização apresentada na Figura 19:

Figura 19 - Esquematização das áreas do condomínio



Fonte: Elaboração própria (AutoCAD)

Também foram executadas visitas técnicas nas áreas comuns do residencial, com o auxílio de trena a laser (Figura 20), para conferir os dados obtidos, além de eventuais aferições de medidas não especificadas em projeto ou modificadas ao longo da vida de utilização do edifício.

Figura 20 - Trena BOSCH DLR130



Fonte: Acervo pessoal (2018)

4.4 Especificação do Tempo de Retorno

O artigo 4º da Resolução nº 9 de 08/04/2011 da ADASA indica condições a serem levadas em consideração para o estabelecimento da outorga prévia e da outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos, sendo a primeira delas: "a vazão máxima gerada pelo empreendimento, considerando-se as chuvas com tempo de recorrência de 10 (dez) anos". Logo, será utilizado o tempo de retorno estabelecido.

4.5 Duração da Chuva de Projeto

Na aplicação do método racional, o tempo de duração equivale ao tempo de concentração da bacia. De acordo com a Secretaria Municipal de Obras da Prefeitura do Rio de Janeiro, através de um manual contendo instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana, elaborado pela

sua Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas (RIO-ÁGUAS) em 2010, o tempo de concentração para áreas urbanas em projetos de microdrenagem, quando a área a montante for urbanizada, é obtido através da Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Tempos de concentração baseados na tipologia da área a montante

Tipologia da área a montante	Declividade da sarjeta	
	< 3%	> 3%
Áreas de construções densas	10 min.	7 min.
Áreas residenciais	12 min	10 min
Parques, jardins, campos	15 min	12 min

Fonte: Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas (RIO-ÁGUAS), 2010, p. 3

Desta forma, tendo conhecimento que a região onde o condomínio se encontra, na cidade de Águas Claras, possui áreas de construções densas com declividade das sarjetas menor que 3%, o tempo de duração escolhido é de $t = 10$ min.

4.6 Seleção do Coeficiente (C)

Conforme apresentado anteriormente na Tabela 4, onde se encontram diversos valores para o coeficiente de escoamento superficial do método racional, será adotado um valor representativo na faixa correspondente a área comercial com edificação muito densa (Tabela 7), em virtude desta ser a realidade de grande parte da ocupação do uso do solo de Águas Claras, desta forma, foi selecionado o valor de $C = 0,85$.

Tabela 7 - Faixa de valores selecionada para o coeficiente C

Uso do Solo	C
Área Comercial/Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas, em cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95

Fonte: Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal, ADASA, 2018, p. 303

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Áreas do Condomínio

Após o levantamento de toda a área construída do empreendimento, foi realizada a divisão da mesma de acordo com a influência na geração de escoamento superficial. Sendo assim, as áreas apresentadas anteriormente na Figura 19 foram classificadas da seguinte maneira:

- Paisagismo = Retenção
- Guaritas, Pilotis e Torres Residenciais = Contribuição

O resultado do levantamento é apresentado na Tabela 8:

Tabela 8 - Valores das áreas levantadas

ÁREAS	LOTE	RETENÇÃO (PAISAGISMO)	CONTRIBUIÇÃO (IMPERMEABILIZADA)
m ²	3600	592,186	3007,814
hectare	0,360	0,059	0,301

Fonte: Elaboração própria

Prosseguindo com uma análise mais aprofundada da parcela de área impermeável, se obtém os dados da Tabela 9:

Tabela 9 - Valores aprofundados das áreas de contribuição

ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO			
Unidade	m ²	hectare	%
TORRES	1325,214	0,133	37%
GUARITAS	42,829	0,004	1%
PILOTIS	1639,771	0,164	46%
TOTAL	3007,814	0,301	84%

Fonte: Elaboração própria

5.2 Vazão de Pré-Desenvolvimento

A partir do estabelecido na Resolução nº 9 de 08/04/2011 da ADASA, a vazão específica de pré-desenvolvimento limita-se a 24,4 L/s por hectare, conforme exibido previamente na Equação 5. Aplicando o valor total da área de projeto de 3600 m² do empreendimento no cálculo apresentado, é possível determinar a vazão de escoamento superficial gerado no lote em uma situação natural de cobertura do solo:

$$Q = 24,4 \text{ L/s} * 0,36 \text{ ha} = 8,78 \text{ L/s}$$

5.3 Vazão Máxima de Projeto

5.3.1 Intensidade da Precipitação

Como primeira parte da apuração da vazão máxima gerada pela impermeabilização do solo, conseqüente da construção do condomínio, se faz irrecusável a conta para determinação do valor da intensidade da chuva de projeto. Foi empregada na equação da curva IDF do Distrito Federal (Equação 3) os parâmetros T (tempo de retorno) e t (tempo de duração) adotados, resultando na seguinte intensidade de precipitação (Tabela 10):

Tabela 10 - Resultado da intensidade da precipitação

para	T =	10	anos
para	t =	10	minutos
Intensidade (IDF) =		171,932	mm/h

Fonte: Elaboração própria

5.3.2 Aplicação do Método Racional

Reconhecida a intensidade média da chuva, é possível calcular o valor da vazão máxima de projeto do imóvel através do emprego do método racional (Tabela 11). Essa aplicação é feita a partir da Equação 1 mediante as grandezas de intensidade e área de contribuição verificadas, junto ao coeficiente de deflúvio escolhido:

Tabela 11 - Resultado da vazão máxima pelo método racional

Vazão de Escoamento - Método Racional			
para	C =	0,85	
para	I =	171,932	mm/h
para	A =	0,301	hectare
Vazão de Pico =		0,122	m³/s
		122,10	L/s

Fonte: Elaboração própria

Desta forma, o volume máximo de escoamento superficial gerado pelo condomínio (122,10 L/s) se encontra acima do que seria nas condições de cobertura natural do solo, conforme vazão de pré-desenvolvimento apurada anteriormente (8,78 L/s). Segundo a ADASA, essa diferença (113,32 L/s) não deve ser drenada diretamente para ruas, sarjetas e/ou redes de drenagem sem a devida contenção, de forma a retardar o seu lançamento.

5.4 Implantação de Técnicas Compensatórias

Pelo fato da vazão máxima de escoamento gerada pelo imóvel ser superior a vazão de pré-desenvolvimento do lote, estando em desacordo com o idealizado na Resolução nº 9 de 08/04/2011 da ADASA, será apresentada a seguir uma análise da implantação de algumas técnicas alternativas para o controle e redução deste volume, citadas previamente neste trabalho, além de seus efeitos na quantidade de água pluvial que é lançada nas redes públicas de drenagem.

5.4.1 Pavimento Permeável/Célula de Biorretenção/Trincheira de Infiltração

A realização destas técnicas geralmente ocorre em locais com o contato direto da superfície em que serão empregadas com o solo em condições naturais, de forma a permitir a infiltração e armazenamento direto da água nos vazios do substrato. As áreas de contribuição para a vazão de escoamento do condomínio se trata do pilotis, onde logo abaixo se encontra o estacionamento comum dos moradores, e se trata também das torres, formada por apartamentos e estruturas da cobertura dos edifícios. Logo, devido às áreas de contribuição do condomínio não permitirem o contato direto com o solo de modo a possibilitar a infiltração da água, a implementação destas medidas se torna inviável por razões de limitações do espaço físico.

5.4.2 Telhado Verde e Jardim de Chuva

Como ambas as técnicas utilizam do mesmo princípio, de redução das áreas impermeabilizadas por meio da transformação dessas em novas áreas de retenção, será realizada uma demonstração tomando de exemplo a implantação do sistema de telhado verde no condomínio.

- a) Partindo das áreas equivalentes a regiões onde é viável a execução do telhado verde, Torres e Guaritas, somadas = $1368,042 \text{ m}^2 = 0,137 \text{ ha}$;
- b) Subtraindo-se da área total de contribuição do condomínio (0,301 ha);
- c) Aplicando o método racional com os mesmos valores de coeficiente de escoamento superficial (0,85), intensidade de precipitação (171,932 mm/h) e a nova área de contribuição $A = 0,164 \text{ ha}$;
- d) Se obtém uma vazão de pico igual a **66,57 L/s**.

Há uma diferença de pouco mais de 55 L/s na geração máxima de escoamento se comparado ao valor inicial de 122,10 L/s. Ou seja, a implementação de um sistema de telhado verde no condomínio causa uma **redução de 45% de sua vazão de pico**.

5.4.3 Reservatório de Quantidade

Segundo a Resolução nº 9 de 08/04/2011 da ADASA, o reservatório de quantidade tem como objetivo "reter determinado volume de água originado pelo escoamento superficial, reduzindo as vazões de pico e retardando o escoamento das águas pluviais provenientes de impermeabilização do solo".

O artigo 8º da mesma Resolução, que trata sobre o dimensionamento do reservatório de quantidade, em seu primeiro parágrafo estabelece que para áreas de contribuição inferiores a 200 hectares, o volume do reservatório é determinado através da Equação 6:

$$V = (4,705 * Ai) * Ac$$

Equação 6 - Volume reservatório de quantidade

Sendo,

V: Volume do reservatório (m³);

Ai: Percentual da área impermeável;

Ac: Área de contribuição (ha).

Aplicando a Equação 6 e considerando os dados apresentados anteriormente na Tabela 9 sobre o percentual da área de contribuição do condomínio e seu respectivo valor em hectares, resulta:

$$V = (4,705 * 84) * 0,301 = \mathbf{118,96 m^3}$$

Agora levando em consideração o exemplo anterior, da implantação de um sistema de telhado verde, onde a área de contribuição foi reduzida para 0,164 ha, tem-se:

$$V = (4,705 * 84) * 0,164 = \mathbf{64,82 m^3}$$

Então, o volume de um reservatório de quantidade a ser instalado para conter a água gerada pelo escoamento superficial do condomínio é de 118,96 m³, e após a implementação de um sistema de telhado verde é de 64,82 m³, o que representa uma **diferença de aproximadamente 55 m³**.

6 CONCLUSÃO

A urbanização é realidade para mais de 80% da população brasileira já a alguns anos, e essa taxa só tende a acompanhar a tendência mundial de crescimento desordenado, porém o modo como a sociedade modifica e adapta regiões antes não ocupadas deve ser observado de perto, para que não crie problemas para si e para o planeta.

Tendo em vista as problemáticas trazidas pelas inundações e alagamentos em centros urbanos, faz-se necessário o estudo de questões ligadas a Hidrologia como o ciclo hidrológico e todas suas características. Esses problemas são gerados em grande parte pela falta de conhecimento da maneira como uma bacia hidrográfica responde a modificações em sua área de drenagem. Ao longo dos anos o homem aprendeu cada vez mais sobre a consequência de suas ações, prova disso é a escala evolutiva da gestão das águas urbanas, mostrando que alguns anos atrás a sociedade se preocupava apenas em buscar água no rio a montante e descartar seus dejetos a jusante, sem nenhuma preocupação com o que ocorria com a água das chuvas. Atualmente já existem estudos, pesquisas e ensaios na área de saneamento básico, com pessoas conscientes da importância de seus resultados para um desenvolvimento saudável e que se preocupa e respeita o meio ambiente.

É a partir desse pensamento e, de acordo com novas abordagens como a do Desenvolvimento de Baixo Impacto, que trabalhos como este são realizados, e foi através disso que se permitiu relacionar a impermeabilização dos solos urbanos com a geração de escoamento superficial e também como algumas técnicas que devem ser pensadas em todos projetos podem mudar essa situação, tudo isso por meio de cálculos, que foi a base deste trabalho de conclusão de curso.

Sobre a vazão máxima do condomínio, que está bem acima da vazão de pré-desenvolvimento de seu lote, vale destacar que a idealização junto a projetos, e consequente execução do empreendimento vieram antes da Resolução da ADASA tantas vezes citadas aqui. O residencial Cedro foi inaugurado no ano de 2005 enquanto as limitações e conceitos surgiram em 2011, o que explicaria tanta diferença entre os valores apresentados.

Acerca das técnicas compensatórias, apesar de algumas não serem viáveis no estudo de caso, outras despertam bastante atenção quanto aos efeitos positivos causados com sua implementação. O sistema de telhado verde apresentou uma redução de 45% na vazão máxima do edifício, demonstrando que essa alternativa é muito promissora em regiões com alta densidade de urbanização, visto que essas se caracterizam por possuir poucos espaços

físicos disponíveis no mesmo nível que a área urbanizada, onde poderiam se implantar alguma medida de controle de águas pluviais.

A respeito do reservatório de quantidade, surge a principal consideração a ser aprendida neste estudo, que as técnicas compensatórias possuem muito mais efeitos para a conservação do ambiente se trabalharem juntas. Ou seja, não basta apenas realizar o estudo e adotar um método de controle do escoamento, apesar de já ser algo bom, mas se deve tentar mesclar ao máximo a utilização de sistemas baseados na gestão voltados para a visão ambiental ou sustentável das águas urbanas.

Este trabalho revelou que quando adotado apenas o reservatório de quantidade, este teria de apresentar dimensões muito difíceis ou até impossíveis de serem executadas, enquanto se feita em conjunto com o telhado verde, um reservatório de dimensões bem menores e viáveis seria necessário para o total controle do escoamento superficial do condomínio.

Através da realização deste estudo, foi possível perceber a grande responsabilidade que a área de Engenharia e Arquitetura possui sobre um dos principais problemas da urbanização em certas regiões. Também foi possível a realização de uma meta pessoal que foi alcançada simultaneamente com o crescimento profissional, e o mais importante é que este trabalho tenha grande valia em estudos e pesquisas futuras na área de drenagem urbana.

7 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Realizar um estudo de viabilidade econômica, com critérios comparativos, da implantação das técnicas compensatórias;
- Efetuar um estudo sobre o dimensionamento, desde a concepção até o processo executivo, de um reservatório de quantidade no condomínio;
- Avaliar a possibilidade da implantação de um reservatório de qualidade no condomínio;
- Produzir o estudo da geração de escoamento superficial pela escala de microdrenagem, em alguns lotes da cidade de Águas Claras ou outras cidades do DF;
- Elaborar o estudo da geração de escoamento superficial em escala macro, podendo se estender para outras cidades e estados do Brasil.

8 BIBLIOGRAFIA

2º SEMINÁRIO de Capacitação: Pavimento Permeável. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, 24 jun. 2016. Imprensa. Notícias. São Paulo. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/2-seminario-de-capacitacao-pavimento-permeavel/>>. Acesso em: 30 out. 2018.

ADASA. **Resolução nº 9 de 08/04/2011**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=125832>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

ADASA. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal**. Brasília: Superintendência de Drenagem Urbana, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro. 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520: Informação e documentação - Citações em documentos - Apresentação**. Rio de Janeiro. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração**. Rio de Janeiro. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação**. Rio de Janeiro. 2011.

BAHIENSE, J. M. **Avaliação de técnicas compensatórias em drenagem urbana baseadas no conceito de desenvolvimento de baixo impacto, com o apoio de modelagem matemática**. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2013.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 2ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico**, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 17 set. 2018.

BRASIL.MINISTÉRIO DAS CIDADES.SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL - SNSA. **Águas Pluviais: Técnicas Compensatórias para o Controle de Cheias Urbanas**. Belo Horizonte: ReCESA, 2007.

BRASIL.MINISTÉRIO DAS CIDADES.SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL - SNSA. **Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas - 2015**. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, 2018.

BRITO, D. S. D. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)- Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília. 2006.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.

ECYCLE. Sistema de captação de água de chuva prático, bonito e econômico. **eCycle**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/3313-sistema-de-captacao-de-agua-da-chuva-cisterna-vertical-modular-externa-como-captar-coletar-coletor-coleta-residencial-cisternas-verticais-modelo-aproveitamento-onde-encontrar-comprar>>. Acesso em: 30 out. 2018.

FEREGUETTI, L. Saiba mais sobre o controle da drenagem na fonte. **Fórum da construção**, IBDA - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=36&Cod=2018>>. Acesso em: 30 out. 2018.

GARCEZ, L.; ALVAREZ, G. **Hidrologia**. 2ª. ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1988.

INFILTRATION TRENCHES. **Kortright Centre for Conservation**. Disponível em: <<https://tour.kortright.org/tech/infiltration-trenches>>. Acesso em: 30 out. 2018.

NAHB RESEARCH CENTER INC. **The Practice of Low Impact Development**. Washington, D.C.: U.S. HUD, PD&R, 2003.

PINTO, N. L. D. S. *et al.* **Hidrologia Básica**. 13ª reimpressão da 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2011.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO.SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS. **Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana**. Rio de Janeiro: Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas, 2010.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. **Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach**. Maryland: Department of Environmental Resources, 1999.

SEGETH. **Geoportal**. Disponível em: <<https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/#>>. Acesso em: 31 out. 2018.

SOUSA, C. S. D.; MORAIS, L. R. D.; ALMEIDA, F. Estudo sobre técnicas compensatórias de drenagem urbana: um estudo de caso na revitalização do córrego cascavel. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Goiânia, v. 03, n. 19, p. 111-134, 2015.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio Grande do Sul, v. 17, n. 2, p. 9-18, Abr./Jun. 2012.

SYDNEY APOSTA nos jardins de chuva para reduzir poluição das águas. **Instituto de Engenharia**, 16 maio 2018. Notícias. Urbanismo. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2018/05/16/sydney-aposta-nos-jardins-de-chuva-para-reduzir-poluicao-das-aguas/>>. Acesso em: 30 out. 2018.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para obras municipais**. São Paulo: Navegar, 2002.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, Rio Grande do Sul, v. 55, n. 4, p. 36-37, Oct./Dec. 2003. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 19 set. 2018.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Porto Alegre: Ministério das Cidades - Global Water Partnership - World Bank - Unesco, 2005.

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

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 5ª reimpressão. 4ª. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem Urbana e Controle de Erosão. **VI Simpósio Nacional de Controle da Erosão**, Presidente Prudente, São Paulo, 29/3 a 1/4 1998.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. D. **Drenagem Urbana**. reimpressão da 1ª. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.

UNIC RIO DE JANEIRO. ONU lança relatório sobre cidades latino-americanas. **UNIC RIO**, 2012. Disponível em: <<http://unicrio.org.br/onu-lanca-relatorio-sobre-cidades-latino-americanas/>>. Acesso em: 22 out. 2018.

VANCOUVER CONVENTION CENTRE. Disponível em: <<https://www.vancouverconventioncentre.com/>>. Acesso em: 30 out. 2018.