



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

DIMENSIONAMENTO DE BACIA DE DETENÇÃO NA SUB-BACIA DO
RIBEIRÃO ARRUDAS, NA REGIÃO OESTE DE BELO HORIZONTE
UTILIZANDO O MODELO SWMM

DANIEL TEIXEIRA REZENDE COELHO

BELO HORIZONTE

2018

DANIEL TEIXEIRA REZENDE COELHO

DIMENSIONAMENTO DE BACIA DE DETENÇÃO NA SUB-BACIA DO
RIBEIRÃO ARRUDAS, NA REGIÃO OESTE DE BELO HORIZONTE
UTILIZANDO O MODELO SWMM

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Ambiental e Sanitarista.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Luciana Peixoto Amara

BELO HORIZONTE

2018

DANIEL TEIXEIRA REZENDE COELHO

DIMENSIONAMENTO DE BACIA DE DETENÇÃO NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO
ARRUDAS, NA REGIÃO OESTE DE BELO HORIZONTE

Trabalho de Conclusão de
Curso II apresentado ao
Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para
obtenção do título de
Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Data de aprovação 22/11/2018

Banca Examinadora:



Luciana Peixoto Amaral – Presidente da Banca Examinadora
Prof.^a Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais



Lilia Maria de Oliveira
Prof.^a Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais



Vandeir Robson da Silva Matias
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

RESUMO

COELHO, D. T. R. *Dimensionamento de bacia de retenção na sub-bacia do Ribeirão Arrudas, na região oeste de Belo Horizonte utilizando o modelo SWMM*. 2018. 65 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Drenagem urbana é o conjunto de medidas cujos objetivos são minimizar os riscos que a população está sujeita, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável. Entre os problemas gerados pelo processo de urbanização estão a contaminação dos recursos hídricos por meio do descarte indevido de resíduos e o agravamento de enchentes oriundas de obras mal planejadas e ocupações irregulares nas encostas. A bacia de retenção é um dispositivo de macrodrenagem que permite o amortecimento do pico de vazão, retardando o tempo de escoamento, evitando problemas de enchentes através do armazenamento temporário de água proveniente da chuva e controlando sua vazão de saída. O presente estudo visa ao dimensionamento de uma bacia de retenção por meio do software Storm Water Management Model (SWMM), em uma sub-bacia do Ribeirão Arrudas, na região Oeste de Belo Horizonte. Para o dimensionamento, foram utilizados dados que compõem o balanço hídrico como: precipitação, infiltração e o desenvolvimento de hidrogramas. Os dados foram inseridos no programa, indicando o volume escoado pelo evento de precipitação com período de retorno de 25 anos, no período de pré urbanização e pós urbanização, para a obtenção do volume do reservatório, calculado pela área do hidrograma. O tempo de concentração registrado foi de 6,12 minutos, utilizando o método de Kirpich. Utilizou-se a curva IDF de Belo Horizonte para encontrar a série de precipitação a ser inserida no programa. O volume total de precipitação registrado pelo programa foi de 27,5 mm. As vazões de pico evidenciadas pelas simulações de pré urbanização e pós urbanização foram de 1,36 m³/s e 3,65 m³/s, respectivamente. A partir dos hidrogramas, foi definido o volume mínimo do reservatório, de 582 m³, para que as vazões do período de pré urbanização sejam restituídas. Propôs-se, assim, a construção de uma quadra poliesportiva, para que, no período seco, possa ser utilizada pela população local como forma de interesse social para práticas de lazer. Pode-se afirmar que há a necessidade da inserção de uma bacia de retenção no local estudado, devido ao intenso volume de água oriundo das precipitações, provocando inundações, sendo um problema enfrentado frequentemente pelos moradores da região.

Palavras-Chave: Drenagem urbana. Inundações. Modelagem hidrológica. SWMM. Bacia de retenção.

ABSTRACT

COELHO, D. T. R. *Dimensioning of detention basin in the sub-basin of Ribeirão Arrudas, in the western region of Belo Horizonte using SWMM model*. 2018. 65 p. Monograph (Graduate) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Urban drainage is the set of measures whose objectives are to minimize the risks that the population is subject to, to reduce the damages caused by floods and to enable urban development in a harmonious, articulated and sustainable way. Among the problems generated by the urbanization process are the contamination of water resources through improper waste disposal and the aggravation of floods from poorly planned works and irregular occupations on the slopes. The detention basin is a major drainage device permitting the damping of the peak flow, slowing the flow time, while avoiding flooding problems by temporarily storing water from rain and controlling their output flow. The present study aims at the design of a detention basin by Storm Water Management Model (SWMM) in a subbasin of Ribeirão Arrudas, in the western region of Belo Horizonte. For the design, we used data that compose the water balance as: precipitation, infiltration and the development of hydrograms. Data were entered into the program, indicating the volume drained by precipitation event 25 years return period in the pre and post urbanization urbanization for obtaining reservoir volume, calculated by the area between their hydrograms. The recorded concentration time was 6.12 minutes, using the Kirpich method. The Belo Horizonte IDF curve was used to find the series of precipitation to be inserted in the program. The total volume of precipitation registered by the program was 27.5 mm. The peak flows evidenced by the pre-urbanization and post-urbanization simulations were $1.36 \text{ m}^3 / \text{s}$ and $3.65 \text{ m}^3 / \text{s}$, respectively. From the hydrographs, the minimum reservoir volume of 582 m^3 was defined, so that the flows of the pre-urbanization period are restored. It was proposed, therefore, the construction of a multi-sport court, so that in the dry period it can be used by the local population as a form of social interest for leisure practices. It is possible to affirm that there is a need for the insertion of a basin of detention in the studied area, due to the intense volume of water coming from the precipitations, causing floods, being a problem frequently faced by the inhabitants of the region

Keywords: Urban drainage. Floods. Hydrological modeling. SWMM. Detention basin.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CN – *Curver Number* (Número da Curva)

DRENURBS - Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte

EPA – Agência de Proteção Ambiental

IDF – Intensidade, Duração e Frequência

SUDECAP – Superintendência de Desenvolvimento da Capital

SWMM – *Storm Water Management Model*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Canalização x Reservação.	16
Figura 2- Esquema representativa de uma bacia de detenção.....	20
Figura 3– Carta de Inundações de Belo Horizonte.....	34
Figura 4– Representação gráfica do hidrograma.....	23
Figura 5- Carta de Inundações de Belo Horizonte (Regional Oeste).	36
Figura 6- Área de estudo.	36
Figura 7– Representação da região em estudo no modelo SWMM.....	38
Figura 10 – Desenho esquemático da bacia de detenção.	56
Figura 11 – Quadra poliesportiva inserida no fundo do reservatório.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Hietograma de projeto para tempo de retorno de 25 anos.	47
Gráfico 2 – Hidrograma de pré urbanização	50
Gráfico 3 – Hidrograma de pós urbanização	53
Gráfico 4 – Hidrograma com ênfase no volume mínimo de reservação....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Vantagens e desvantagens das bacias de detenção.	17
Quadro 2– Coeficiente de escoamento.	22
Quadro 3 – Grupos de solos e suas características.	27
Quadro 4 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.	28
Quadro 5– Modelos hidrológicos aplicados à drenagem urbana.	30
Quadro 6– Características das sub-bacias em estudo.	38
Quadro 7 – Características das sub-bacias requeridas pelo SWMM de Pré e Pós urbanização.	40
Quadro 8- Constantes da equação IDF de Belo Horizonte	41
Quadro 9 – Valores de armazenamento de depressões.	43
Quadro 10 - Balanço hídrico das sub-bacias pré urbanizada.	48
Quadro 11 – Balanço hídrico do sistema de pré urbanização.	49
Quadro 12 - Balanço hídrico de cada sub-bacia no cenário de pós urbanização.	51
Quadro 13 - Balanço hídrico da simulação de pré urbanização	52
Quadro 14 - Volume de detenção por métodos diferentes	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Impacto da urbanização no ciclo hidrológico	14
3.2	Técnicas de drenagem urbana.....	15
3.2.1	Bacia de detenção	17
3.2.2	Bacia de retenção.....	19
3.3	Drenagem urbana em Belo Horizonte.....	31
3.4	Estudos hidrológicos na drenagem urbana	20
3.4.1	Risco hidrológico e tempo de retorno.....	21
3.4.2	Escoamento superficial	21
3.4.3	Hidrograma	22
3.4.4	Intensidade de precipitação.....	23
3.4.5	Tempo de concentração	24
3.4.6	Infiltração.....	25
3.4.7	Armazenamento em depressões	29
3.5	Modelos hidrológicos de drenagem urbana	29
3.5.1	Modelo SWMM (Storm Water Management Model)	30
4	METODOLOGIA	35
4.1	Caracterização da área de estudo	35
4.2	Parâmetros do balanço hídrico	41
4.2.1	Chuva e hietograma de projeto.....	41
4.2.2	Infiltração.....	42
4.2.3	Armazenamento em depressões	43
4.2.4	Determinação dos hidrogramas pelo SWMM	43

4.3	Dimensionamento da bacia de detenção	44
4.3.1	Volume da Bacia de Detenção.....	44
4.3.2	Proposta de localização da bacia de detenção.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
5.1	Parâmetros do balanço hídrico.....	46
5.1.1	Chuva e hietograma de projeto.....	46
5.2	Construção dos hidrogramas utilizando o SWMM.....	48
5.2.1	Simulação de pré urbanização	48
5.2.2	Simulação de pós urbanização	51
5.3	Dimensionamento da bacia de detenção	54
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	58
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
8	APÊNDICE	65

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno de urbanização, intenso no século XX, trouxe diversos problemas no que diz respeito aos recursos hídricos, como a contaminação dos corpos d'água por meio de resíduos e agravamento de enchentes ocasionadas por obras mal planejadas e/ou ocupações irregulares em encostas.

A drenagem urbana apresenta-se como um conjunto de medidas aplicadas na bacia hidrográfica ou a nível local (escala de lote) para solucionar os riscos, associados às inundações, enfrentados pela população urbana, promovendo bem-estar e qualidade de vida.

Para as soluções dos diversos problemas relacionados aos recursos hídricos foram introduzidas as chamadas medidas compensatórias de drenagem urbana que visam à atenuação dos efeitos da urbanização, atuando em processos hidrológicos de forma a reduzir volumes ou vazões (NASCIMENTO et al.,1997).

Essas medidas compensatórias podem ser subdivididas em: a) medidas estruturais, como a construção de reservatórios para acumulação de água oriunda da precipitação, além do amortecimento de cheias (POMPÊO, 2000); e b) não estruturais, realizadas por meio de legislações, regulamentações e práticas de educação ambiental com a população.

Em várias regiões da cidade de Belo Horizonte, os alagamentos são frequentes na ocorrência de precipitações intensas, sendo causa de perdas materiais e humanas, bem como de prejuízos muitas vezes irreparáveis.

O presente estudo visa à aplicação de uma das técnicas compensatórias de drenagem urbana, bacia de detenção, com o intuito de minimizar os riscos, promovendo segurança para a população.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do presente trabalho é dimensionar uma bacia de retenção, de forma a minimizar riscos de alagamento no Ribeirão Arrudas, localizada na região oeste de Belo Horizonte.

2.2 Objetivos Específicos

Têm-se como objetivos específicos:

- Diagnosticar a região de estudo: caracterização e levantamento dos problemas da região afetada;
- Gerar mapa do local;
- Propor a implantação da bacia de retenção;
- Dimensionar a bacia de retenção; e
- Propor usos potenciais de caráter multifuncional para bacia de retenção;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Impacto da urbanização no ciclo hidrológico

Diversos problemas ambientais, sociais e econômicos estão presentes nos grandes aglomerados urbanos. Nos países em desenvolvimento, esses problemas se agravam devido à falta de recursos técnicos e financeiros para solucionar o nível de degradação que essas grandes cidades chegaram (CANHOLI, 2014).

Segundo Canholi (2014, p.10), "O aumento das áreas urbanizadas e, conseqüentemente, impermeabilizadas, ocorreu a partir das zonas mais baixas, próximas às várzeas dos rios ou à beira-mar, em direção às colinas e morros em face da interação da população com os corpos hídricos, utilizados como fonte de alimento e dessedentação, além de via de transporte".

A alta taxa de urbanização aliada às intervenções antrópicas sem planejamento, levaram a grandes complicações para a questão das águas urbanas (FRITZEN e BINDA, 2011). Segundo Tucci (2003a, p.12): "O ciclo hidrológico natural é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem entra dentro deste sistema se concentra no espaço, produz grandes alterações que modificam dramaticamente este ciclo e trazem consigo impactos significativos (muitas das vezes irreversível) no próprio homem e na natureza".

Estão entre os fatores que alteram o ciclo hidrológico nas cidades: impermeabilização dos solos, retirada da vegetação, alterações morfológicas na topografia, obras em canais fluviais, além da disposição irregular de resíduos (FRITZEN e BINDA, 2011). Os fatores citados desencadeiam e/ou intensificam impactos como a ampliação da magnitude de frequência de enchentes, erosão dos solos e dos canais fluviais, movimentos de massa como deslizamento e desmoronamento, entre outros

processos resultantes da intensa degradação ambiental (TUCCI, 2003).

3.2 Técnicas de drenagem urbana

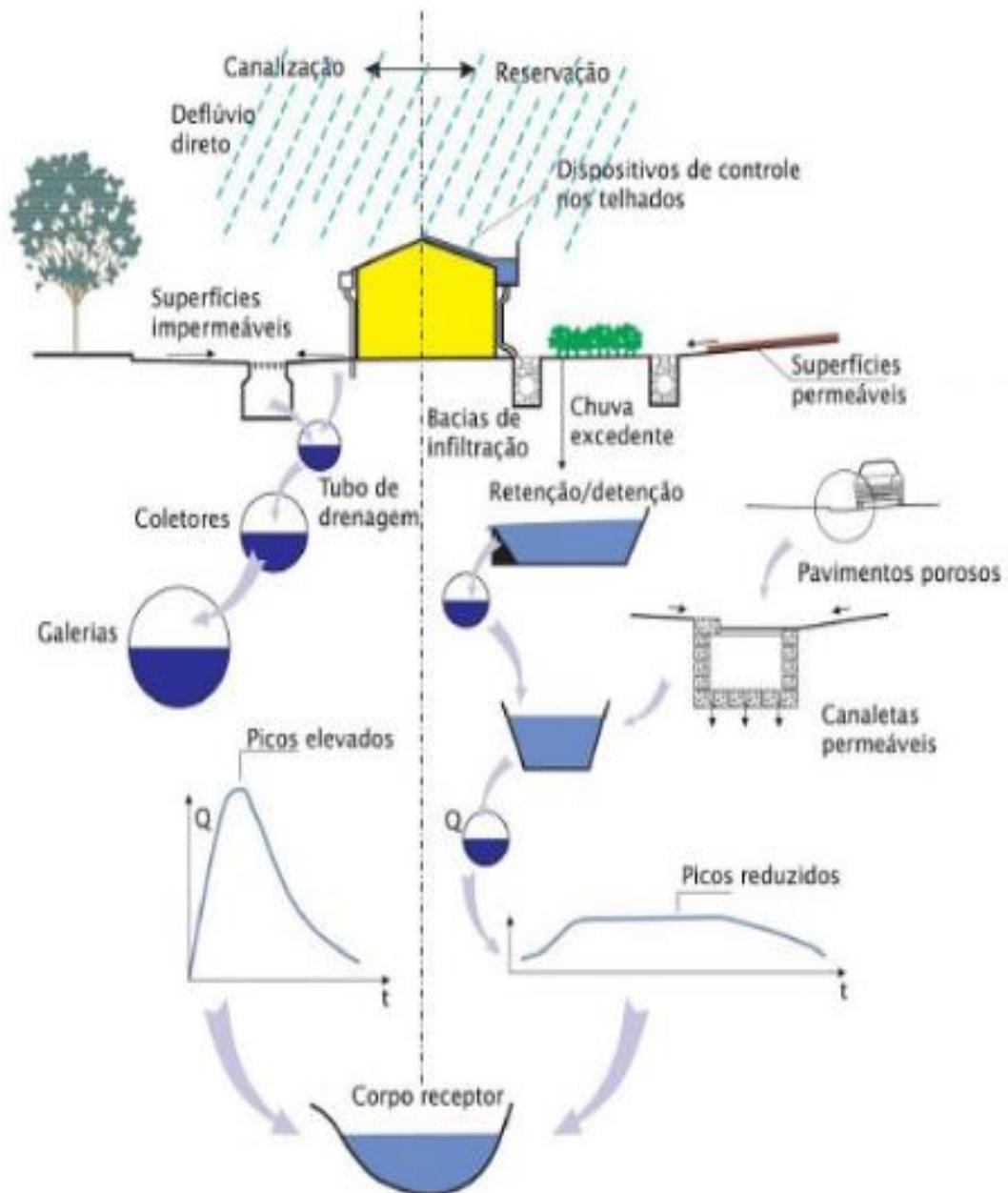
No intuito de resolver os problemas ambientais causados pelas intervenções antrópicas, a drenagem urbana fornece técnicas que visam minimizar os danos que as inundações provocam, sendo classificadas, de acordo com sua natureza, em medidas estruturais e não estruturais (CANHOLI, 2005).

As medidas estruturais são àquelas que podem ser implantadas por meio de obras com o objetivo de corrigir e/ou prevenir problemas decorrentes de enchentes. Compreendem, como medidas estruturais, obras de engenharia, que variam de acordo com o objetivo. Quando há a necessidade de acelerar o escoamento é realizada a canalização dos cursos d'água; entretanto, quando se deseja retardar o fluxo com fins de amortecimento de cheias, utiliza-se a implantação de bacias de detenção/retenção e restauração de calhas naturais, além da introdução de ações individuais visando à resistência das edificações na ocorrência de enchentes (CANHOLI, 2015).

As ações de detenção dos escoamentos visam à redução de picos das enchentes através do armazenamento do volume escoado, a fim de promover o amortecimento das ondas de cheia. A utilização dessas estruturas está diretamente ligada a usos como recreação e lazer aliado à melhoria da qualidade da água (CANHOLI, 2005).

Na Figura 1 são apresentados dispositivos utilizados no conceito de reservação, tanto na fonte quanto a jusante, identificando os seus efeitos no que se diz respeito à redução de picos de cheia, contrapondo-se com a canalização.

Figura 1- Canalização x Reservação.



Fonte: CANHOLI (2015).

A finalidade das técnicas de reservação, como é mostrado na Figura 1, é de amortecimento de vazões de pico, tornando-as mais suaves e em um período maior de duração comparado com as técnicas de canalização, onde se visa o encaminhamento da água proveniente de forma rápida, tornando as vazões de pico mais altas (CANHOLI,2015).

3.2.1 Bacia de detenção

As bacias ou reservatórios de detenção são dispositivos de drenagem urbana onde certo volume de água oriundo de precipitações são armazenadas com o objetivo de reduzir o pico dos hidrogramas de cheias, além de retardar a taxa de resposta do escoamento superficial (TUCCI, 1997).

A implantação das bacias de detenção tem a função de minimizar o impacto hidrológico gerado principalmente pelo grande aumento de áreas impermeabilizadas resultante da intensa urbanização das grandes cidades, amortecendo os picos de vazão desde sua entrada até sua disposição final (TUCCI, 1997; CANHOLI, 1995).

No Quadro 1 são apresentadas as vantagens e desvantagens da tecnologia de detenção de águas pluviais.

Quadro 1– Vantagens e desvantagens das bacias de detenção.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Pode atender a eventos chuvosos de diferentes intensidades	<ul style="list-style-type: none">• Baixa remoção de poluentes
<ul style="list-style-type: none">• Podem ser usadas onde a reserva de água subterrânea é vulnerável	<ul style="list-style-type: none">• A profundidade de detenção pode ser limitada pela diferença de nível entre entrada e saída
<ul style="list-style-type: none">• Projeto e construção simples	
<ul style="list-style-type: none">• Pode ter funções complementares	
<ul style="list-style-type: none">• Fácil manutenção	

Fonte: Adaptado de CANHOLI (2014).

Os reservatórios de detenção de águas pluviais são diferenciados em relação ao curso d'água podendo ser "on-line" ou "off-line". Os reservatórios on-line são desenvolvidos na linha principal do sistema, armazenando todo o escoamento proveniente da seção a montante, retardando as vazões de

pico (CANHOLI, 2005). Os reservatórios off -line redirecionam o fluxo do escoamento, onde após o fim das chuvas, a água é novamente inserida no sistema por meio de válvulas controladas ou bombeamento.

O dimensionamento de uma bacia de detenção tem a finalidade de estimar as vazões que são geradas em uma precipitação associada a um período de retorno para determinação do volume do reservatório.

Entre os cálculos necessários para o dimensionamento do sistema de amortecimento de cheias há entrada de dados utilizando simulações matemáticas, como: hidrograma de projeto, características físicas do reservatório (curva cota x área x volume, níveis de água máximo e mínimo admissíveis), curva da estrutura de controle de saída, no intuito de desenvolver o hidrograma de vazões efluentes, os níveis de água na saída da bacia e seu volume armazenado (CANHOLI, 2005).

Com base nos hidrogramas de pré-urbanização, período anterior ao processo de urbanização e pós-urbanização, período posterior ao processo de urbanização, determina-se o volume mínimo de reservação da bacia, sendo definida pela área entre os hidrogramas apresentados.

O método de Baker (1979) é um dos métodos expeditos para o cálculo do volume do reservatório. Utilizando o método racional, permite a estimativa do volume do reservatório de detenção associado ao hidrograma triangular para entrada e saída (MCcuen, 1998). O método considera conceitos de pós-desenvolvimento, quando a bacia está desenvolvida, ou seja, com construções, e de pré-desenvolvimento, onde a área era constituída de matas, por exemplo. O método de Baker é representado pela equação 1 a seguir.

$$\frac{V_s}{V_{pós}} = 1 - \alpha \quad (1)$$

Sendo:

V_s = volume do piscinão (m^3);

$$\alpha = \frac{Q_{pré}}{Q_{pós}} \quad (2)$$

$V_{pós}$ = volume do runoff do escoamento (m^3), dado por:

$$V_{pós} = Q_{pós} \times t_{c \text{ pós}} \quad (3)$$

Em que:

$Q_{pós}$ = vazão de pico no pós-desenvolvimento (m^3/s);

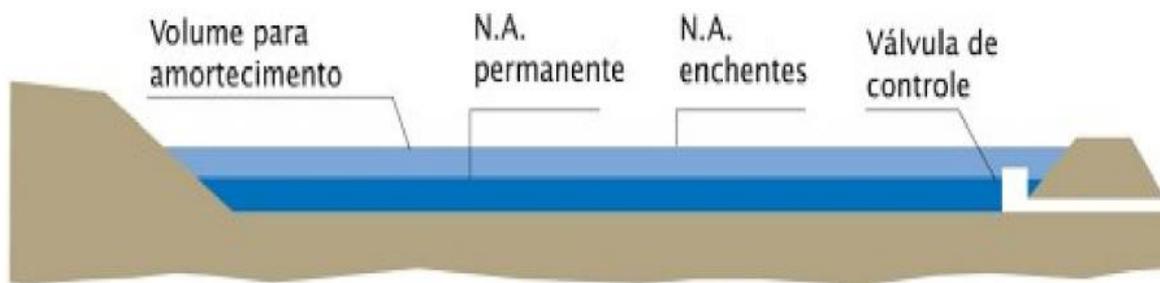
$t_{c \text{ pós}}$ = tempo de concentração no pós-desenvolvimento (min);

$Q_{pré}$ = vazão de pico no pré-desenvolvimento (m^3/s).

3.2.2 Bacia de retenção

Os reservatórios ou bacias de retenção, diferentemente de detenção, são dispositivos que armazenam um volume considerável de água com o intuito de ser utilizado para atividades recreativas ligadas ao lazer, paisagismo e também como abastecimento de água, em alguns casos. A Figura 2 ilustra uma bacia de retenção.

Figura 2- Esquema representativa de uma bacia de detenção.



Fonte: CANHOLI (2015).

Em seu funcionamento, a altura da lâmina d'água se eleva na ocorrência de precipitações intensas, de forma temporária e, ao fim do evento de precipitação, com o uso da válvula de controle, esse excedente de água é liberado, retomando o nível de água original (CANHOLI, 2015).

3.3 Estudos hidrológicos na drenagem urbana

Segundo Tucci (2009), a hidrologia atua como uma ciência interdisciplinar, acompanhando o crescimento dos problemas no que se diz respeito à ocupação das bacias e à alta demanda pelo uso da água, por exemplo. Ela é uma ciência não só descritiva e qualitativa, mas desenvolvida para que se utilizem modelos matemáticos e estatísticos através de métodos quantitativos, melhorando assim a previsão da ocorrência de inundações.

3.3.1 Risco hidrológico e tempo de retorno

No âmbito das inundações, a maior preocupação está em avaliar os riscos de um evento ocorrer em comparação aos danos causados, sendo, assim, proporcionar a probabilidade de recorrência desse acontecimento seja ele de pequena, média ou grande intensidade, em um intervalo de tempo (SANTOS, 2007). O risco de uma inundação, por exemplo, é definido através da vulnerabilidade do local, levando em consideração a ocupação, podendo gerar consequências mais graves (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

Segundo Tucci (2003), o tempo de retorno (TR), chamado também de período de retorno ou recorrência, é definido como o intervalo médio de anos, em que um evento hidrológico máximo pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez. Nas bacias de detenção ou certas estruturas de macrodrenagem, o tempo de retorno a ser adotado é de 50 a 100 anos, para fins de evitar o risco de falha (FRANCO, 2004).

3.3.2 escoamento superficial

Destaca-se entre os principais problemas causados pelo aumento do escoamento superficial, a erosão hídrica. Segundo Mamo e Buebenzer (2011), esta erosão é considerada como a causa da perda de nutrientes do solo, assim como a produtividade deste. A cobertura do solo da bacia é fator preponderante no comportamento do escoamento superficial, bem como a declividade, o sistema de drenagem, a precipitação, o tipo de solo e sua umidade. O escoamento superficial é resultado da água proveniente das precipitações, que não se infiltrou no solo ou não foi interceptada pela cobertura vegetal e, assim, escoando por caminhos de maior declividade

(TUCCI, 2008).

Deve-se conhecer, para cálculos de vazões, o coeficiente de escoamento superficial que representa a parcela total de escoamento gerado em uma bacia a partir de uma precipitação, podendo ser variável à medida que a bacia se urbaniza (TUCCI, 2000).

No Quadro 2 são apresentados valores médios de coeficiente de escoamento, apresentados nas literaturas existentes.

Quadro 2- Coeficiente de escoamento.

Ocupação	Coeficiente -C
Área Rural – Agricultura	0,35
Área Rural – Eucalipto	0,25
Área Rural – Pastagem	0,30
Área Urbana – Residencial	0,65

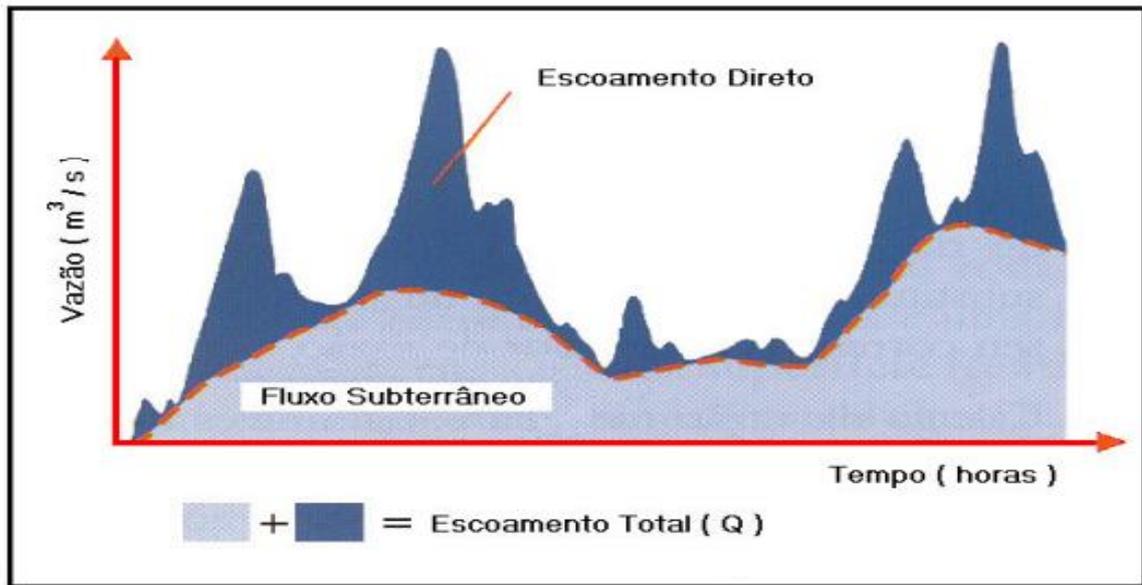
Fonte: Adaptado de TREVISOL (2012).

O quadro 2 indica que quanto maior a impermeabilização do solo, maior será a porcentagem da precipitação que gera o escoamento superficial.

3.3.3 Hidrograma

O hidrograma pode ser definido como a representação gráfica das vazões em um determinado tempo. A construção do hidrograma de um curso d'água é desenvolvido pela análise das vazões ao decorrer do tempo, como mostrado na Figura 4.

Figura 3– Representação gráfica do hidrograma.



Fonte: COELHO (2003).

A figura 4 enfatiza as vazões ocorridas no escoamento direto, ou seja, na superfície e na área subterrânea. As duas vazões formam o escoamento total de uma bacia em um determinado tempo.

3.3.4 Intensidade de precipitação

Ao efetuar a análise climática de uma determinada região, uma das variáveis de maior relevância é a precipitação, devido às consequências que ela pode causar, de acordo com sua intensidade. A chuva considerada de grande magnitude ou intensa apresenta uma grande lâmina precipitada, em um intervalo muito curto de tempo, originando prejuízos tanto materiais quanto humanos (SILVA et al., 2003).

A intensidade de precipitação pluvial pode ser obtida por meio de curvas de intensidade, duração e frequência (IDF) conforme expressão apresentada na equação 4. Elas fornecem elementos básicos para o cálculo de precipitações de projeto da drenagem urbana (FRANCO, 2004).

$$I = \frac{K Tr^a}{(t+b)^c} \quad (4)$$

Em que:

I = Intensidade de precipitação máxima (mm/ h)

Tr = período de retorno (anos)

t = Duração da chuva (min)

a, B, c, K = parâmetros a determinar

3.3.5 Tempo de concentração

Um conceito hidrológico preponderante no planejamento da drenagem urbana é o tempo de concentração, sendo ele fundamental para o zoneamento de áreas susceptíveis a enchentes e alagamentos, bem como na produção de sistemas de alerta e planos de contingência. Pode-se relacioná-lo ao hidrograma de projeto, onde ele ocorre no pico de descarga durante a ocorrência de uma precipitação, cuja duração seja igual ao tempo de concentração da bacia avaliada.

Segundo Cruz e Tucci (2007), "o tempo de concentração é o tempo que uma gota de água leva para escoar superficialmente do ponto mais distante da bacia até a seção principal. É indicador da memória de resposta da bacia".

Uma das equações utilizadas para o cálculo do tempo de concentração é a equação de Kirpich (1940), aplicada para bacias com declividades de 3% a 10% e áreas de até 0,50 km². A equação de Kirpich é dada pela seguinte expressão:

$$T_c = 0,019 \times \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (5)$$

Sendo:

T_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue (km);

S = declividade do talvegue (m/m).

3.3.6 Infiltração

A infiltração, por definição, é um processo que envolve a quantidade máxima de água que pode ser absorvida pelo solo, dependendo principalmente da natureza do solo e suas características, como o estado de sua superfície e as concentrações de ar e água presentes nele (TUCCI, 2009).

A importância da infiltração nos processos que envolvem o fluxo de água é enorme, por ser associado como medida de prevenção à ocorrência de desastres naturais como enchentes e deslizamentos, servindo também para prever as características do escoamento e caracterizar o transporte de poluentes (FURTADO, 2013).

Entre os métodos de cálculo de infiltração, está o método proposto pelo Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS – USDA), conhecido como número da curva (*curver number* – CN). Este método foi desenvolvido com o intuito de determinar o volume do escoamento superficial e sua vazão de pico. Para isso, é necessário o conhecimento da precipitação e a infiltração de acordo com o sistema solo-vegetação da bacia hidrográfica de estudo (ROJAS, 1984).

Para se obter o CN, identificado como coeficiente de escoamento superficial, a fim de se obter a relação entre a infiltração e o escoamento superficial gerado pela ocorrência de precipitação, são necessários os conhecimentos das características do solo da região, capacidade mínima de infiltração no solo e seu uso e ocupação.

Em relação aos tipos de solos (TUCCI, 1993;PORTO, 1995), classificaram-se os tipos de solo conforme a capacidade mínima de infiltração pelo método SCS, conforme apresentados no Quadro 3, onde estão descritos os grupos de solos e suas características.

O CN é um índice que agrega empiricamente três fatores: grupo do solo, cobertura do solo e suas condições de umidade (McCuen,1998). No Quadro 3, traduzido por (Tucci, 1993), são mostrados os valores referentes ao número CN da curva de runoff para bacias em zonas urbanas.

Quadro 3 – Grupos de solos e suas características.

Grupo de solo	Características do solo
A	<p>solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (Tucci et al, 1993).</p>
B	<p>solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1979 e 1995)</p> <p>Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci et al, 1993).</p>
C	<p>solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al, 1993).</p>
D	<p>solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al, 1993).</p>

Fonte: PORTO (1995) e TUCCI (1993).

Quadro 4 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.

Utilização ou cobertura do solo	Grupo de solos			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Floresta: cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
Lotes de (m ²)	% média impermeável			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas				
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: TUCCI (1993).

3.3.7 Armazenamento em depressões

A parcela de água que fica retida em depressões ou terraços de contenções são representadas pelo armazenamento em depressões, outra variável importante no balanço hídrico. Nessas depressões, a água pode infiltrar ou evaporar (SOARES, 2004).

3.4 Modelos hidrológicos de drenagem urbana

No decorrer do tempo, as bacias hidrográficas podem apresentar diversas mudanças em suas características. Seu monitoramento é de suma importância para que as mudanças que podem ou não ser favoráveis estejam ocorrendo a partir das técnicas de manejo (RENNÓ e SOARES, 2000). O monitoramento hidrológico é um dos aspectos mais importantes para que a análise tanto qualitativa quanto quantitativa dos recursos hídricos seja realizada com uma grande eficiência (MARTINS e PAIVA, 2001).

Modelos podem ser utilizados com o intuito de representar a realidade de modo simplificado, sendo uma ferramenta importante para compreensão dos processos que estão sendo representados. Nos estudos ambientais, esses modelos são extremamente necessários para que haja a compreensão dos impactos gerados no solo, por exemplo, além de promover a previsão de mudanças no ecossistema no futuro. O modelo hidrológico nada mais é que uma representação matemática do fluxo de água, associado com as características localizadas na superfície terrestre (COLLODEL, 2009).

Existem atualmente muitos modelos hidrológicos no mercado para auxiliar profissionais da área dos recursos hídricos, variando de acordo com a finalidade de cada modelo, além de suas formulações matemáticas (MACHADO, 1981). No Quadro 5 são mostrados os modelos hidrológicos aplicados à drenagem urbana proposto por Viessman e Lewis (2002), modificado por Collodel (2009).

Quadro 5– Modelos hidrológicos aplicados à drenagem urbana.

Código	Nome	Agência Criadora	Ano
MOUSE	Modelling of Urban Sewer	DHI	1985
CHM	Chicago Hydrograph Method	City of Chicago	1959
ILLUDAS	Illinois Urban Drainage Area Simulator	I11. Water Survey	1972
STORM	Storage, Treatment, Overflow Runoff Model	Corps of Engineers	1974
TR-55	SCS Technical Release 55	SCS	1975
DR3M	Distributed Routing Rainfall-Runoff Model	USGS	1978
IPH-2	Instituto de Pesquisas Hidráulicas	IPH-UFRS	1981
SWMM	Storm Water Management Model	EPA	1971

Fonte: VIESMMAN e LEWIS (2002), adaptado por COLLODEL (2009).

3.4.1 Modelo SWMM (Storm Water Management Model)

O software SWMM, desenvolvido nos Estados Unidos, em 1971, pela EPA (Agência de Proteção do Meio Ambiente), permite a inserção do nível de detalhamento desejado, a nível micro e/ou macrodrenagem. Sendo ele um modelo dinâmico, permite, a partir de dados de entrada, simular hidrogramas resultantes e magnitude do escoamento gerado em cada sub-bacia. Essas características tornam esse modelo muito popular nos estudos hidrológicos, além de ser de domínio público e de fácil acesso (COLLODEL, 2009).

O SWMM possui diferentes aplicações, entre elas estão:

- Concepção e dimensionamento de componentes de rede de drenagem para controle de inundações;
- Dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios de controle de inundações e a proteção da qualidade das águas;
- Delimitação de zonas de inundação em leitos naturais;
- Geração de poluição difusa para estudos de lançamento de efluentes (carga de contaminante); e
- Avaliação da eficácia de boas práticas de manejo para reduzir o carregamento de poluentes durante a chuva.

Entre as limitações da modelagem por SWMM, estão:

- Dificuldade e complexidade de inserção de dados, sujeito a erros;
- É uma ferramenta de simulação hidráulica, servindo como análise de comportamento nas estruturas; e
- Não deve ser usado para longos tempos de duração de chuva.

3.5 Drenagem urbana em Belo Horizonte

Uma ferramenta bastante utilizada nas cidades brasileiras para a solução de problemas de drenagem é o Plano Diretor de Drenagem Urbana. Segundo Tucci (2003, p.68), "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 a evitar perdas econômicas, melhoria das condições de saúde e do meio ambiente da cidade dentro dos princípios econômicos, sociais e ambientais definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano”.

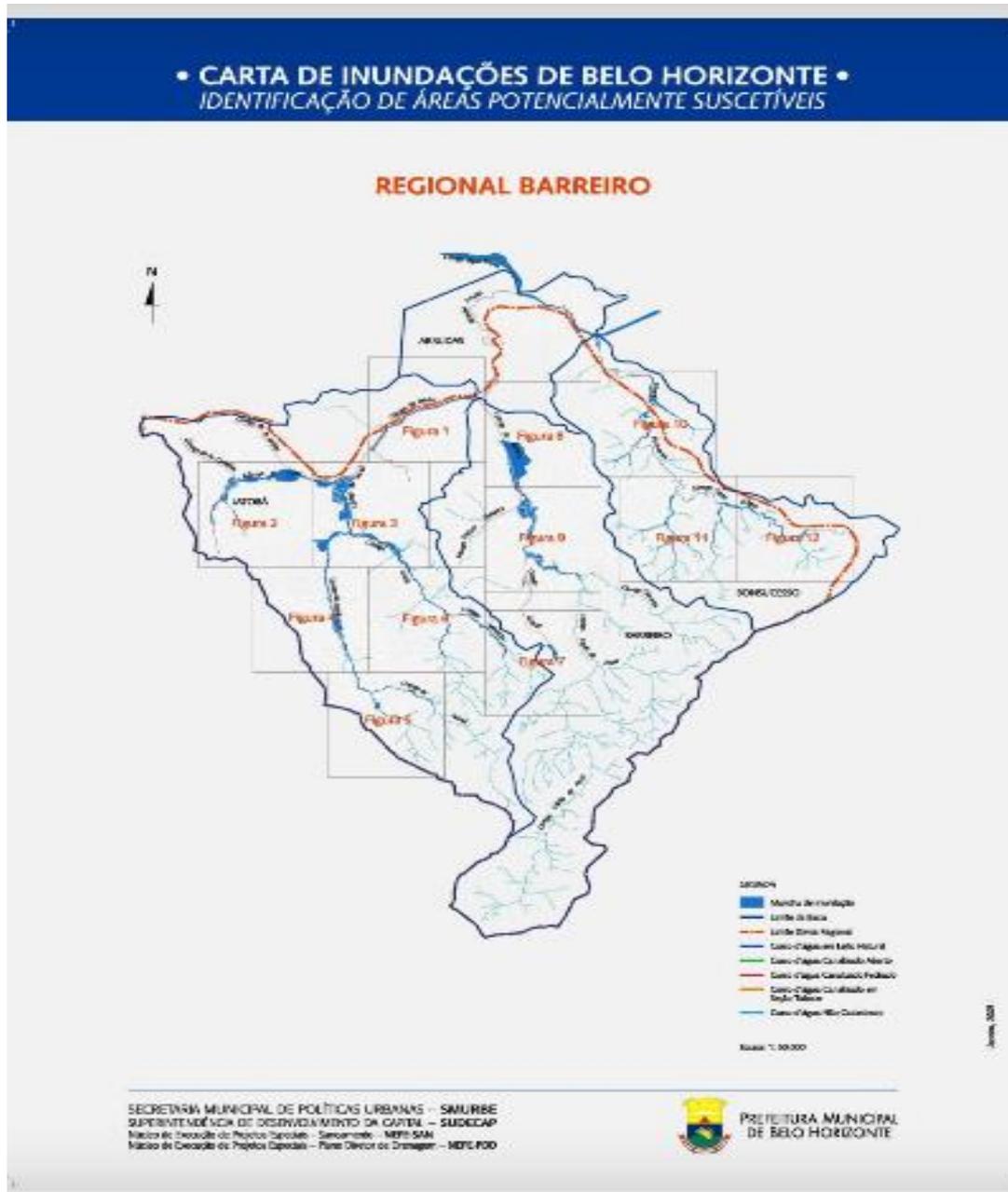
O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem como metas: planejar a distribuição da água pluvial no tempo, tendo em vista a ocupação urbana, aliando o desenvolvimento e a infraestrutura com o objetivo de evitar prejuízos econômicos e ambientais; controlar a ocupação de áreas susceptíveis a inundações, restringindo essas áreas; e estabelecer uma convivência mais harmonizada com as enchentes nas áreas onde estas não ocorrem com frequência (TUCCI, 2003).

O município de Belo Horizonte possui uma área total de aproximadamente 335 km², sendo que maior parte desse território se encontra ocupado pela urbanização, cerca de 83% (FELIPPE; MAGALHÃES Jr, 2007). Isto implica em diversos tipos de problemas ambientais associados à drenagem pluvial, uma vez que o escoamento da água não é realizado de maneira adequada devido à supressão da vegetação juntamente com a impermeabilização do solo.

Com o objetivo de reforçar a necessidade de adoção de medidas estruturais e não estruturais para a solução da drenagem urbana na cidade de Belo Horizonte, em 1999, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte elaborou o Plano Diretor de Drenagem Urbana, onde a preocupação era mitigar as inundações na cidade. Sendo um dos primeiros programas do Plano Diretor de Drenagem Urbana, o Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte – DRENURBS foi desenvolvido pela Secretaria Municipal de Política Urbana de Belo Horizonte, trazendo um novo entendimento dos recursos hídricos presentes na zona urbana onde o objetivo é a retomada dos corpos d’água para a paisagem do município. Esta visão vai contra a ideia da canalização como solução dos problemas de drenagem de Belo

Horizonte. Entre as medidas propostas pelo programa, como inserção de calhas vegetais, que facilitam a permeabilidade do solo; implantação de bacias de retenção, reduzindo o risco de alagamentos, além do tratamento integrado dos recursos hídricos à paisagem urbana. A partir do fortalecimento do Programa DRENURBS, ocasionado pelo Plano Diretor, a Prefeitura de Belo Horizonte viabilizou os estudos de drenagem das bacias, identificando, assim, os trechos críticos e potencialmente sujeitos a ocorrências de inundações, desenvolvendo a Carta de Inundações de Belo Horizonte. A carta apresenta a delimitação de manchas de inundação distribuídas no território do município, foi usado como exemplo, a da regional do Barreiro, como mostrado na Figura 3.

Figura 4- Carta de Inundações de Belo Horizonte.



Fonte: SUDECAP.

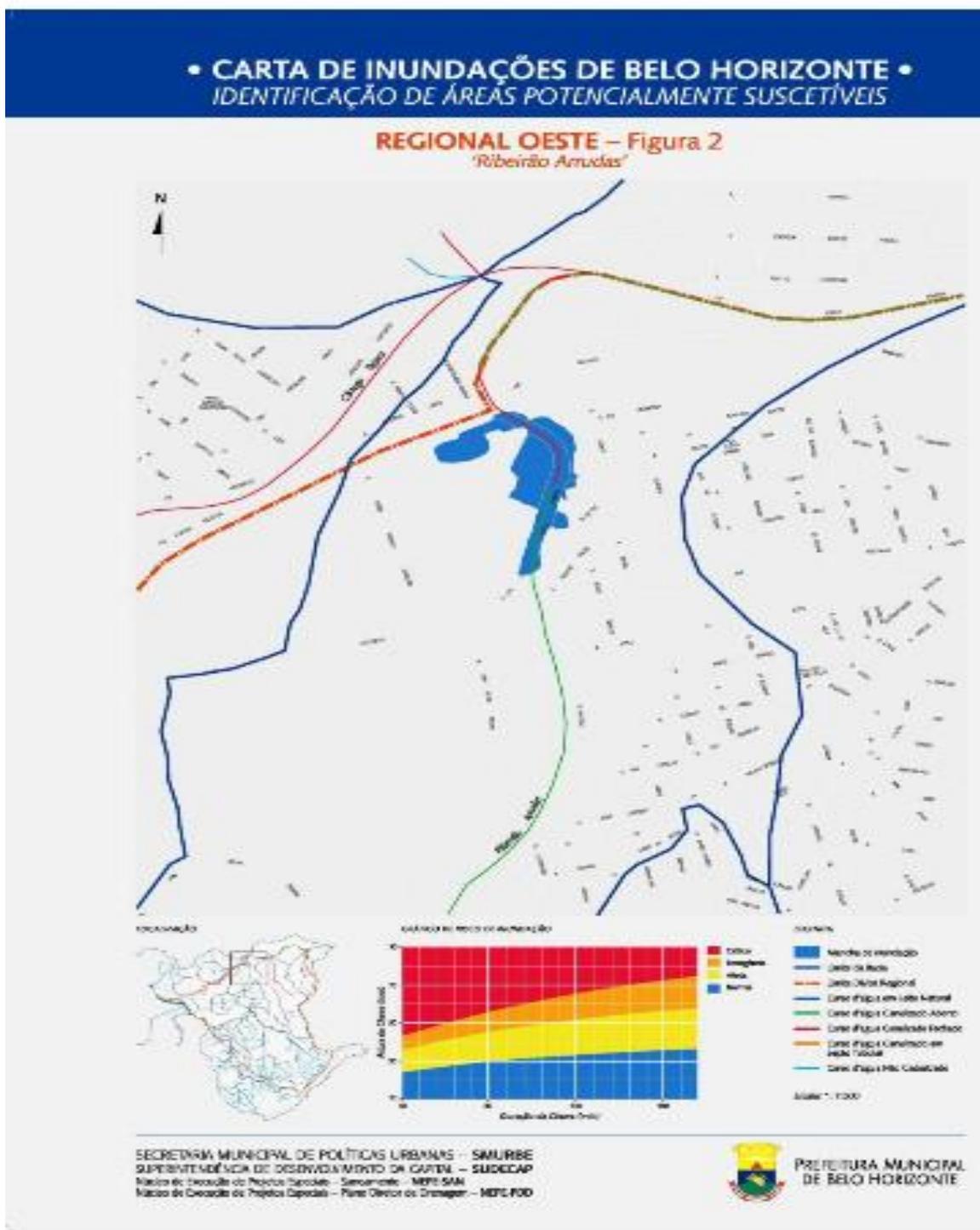
A carta de inundações apresentada como exemplo, indica as áreas vulneráveis à ocorrência de enchentes no município de Belo Horizonte.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo escolhida para o desenvolvimento do projeto, selecionada a partir da Carta de Inundações da SUDECAP, situa-se na região oeste de Belo Horizonte, no bairro Nova Suíssa, próximo ao Ribeirão Arrudas, como mostrado na Figura 5. A caracterização da região foi realizada por meio da coleta de dados secundários obtidos em artigos científicos e na Prefeitura de Belo Horizonte. A área escolhida é apresentada na Figura 5. A regional no qual o estudo é realizado é a regional oeste, entre os bairros Nova Suíssa e Calafate.

Figura 5- Carta de Inundações de Belo Horizonte (Regional Oeste).



Fonte: SUDECAP.

Figura 6- Área de estudo.

Área de Projeto



0 30 60 120 180 240 Metros

Legenda

- Área de contribuição
- Local da Bacia de Detenção
- Rio Arrudas

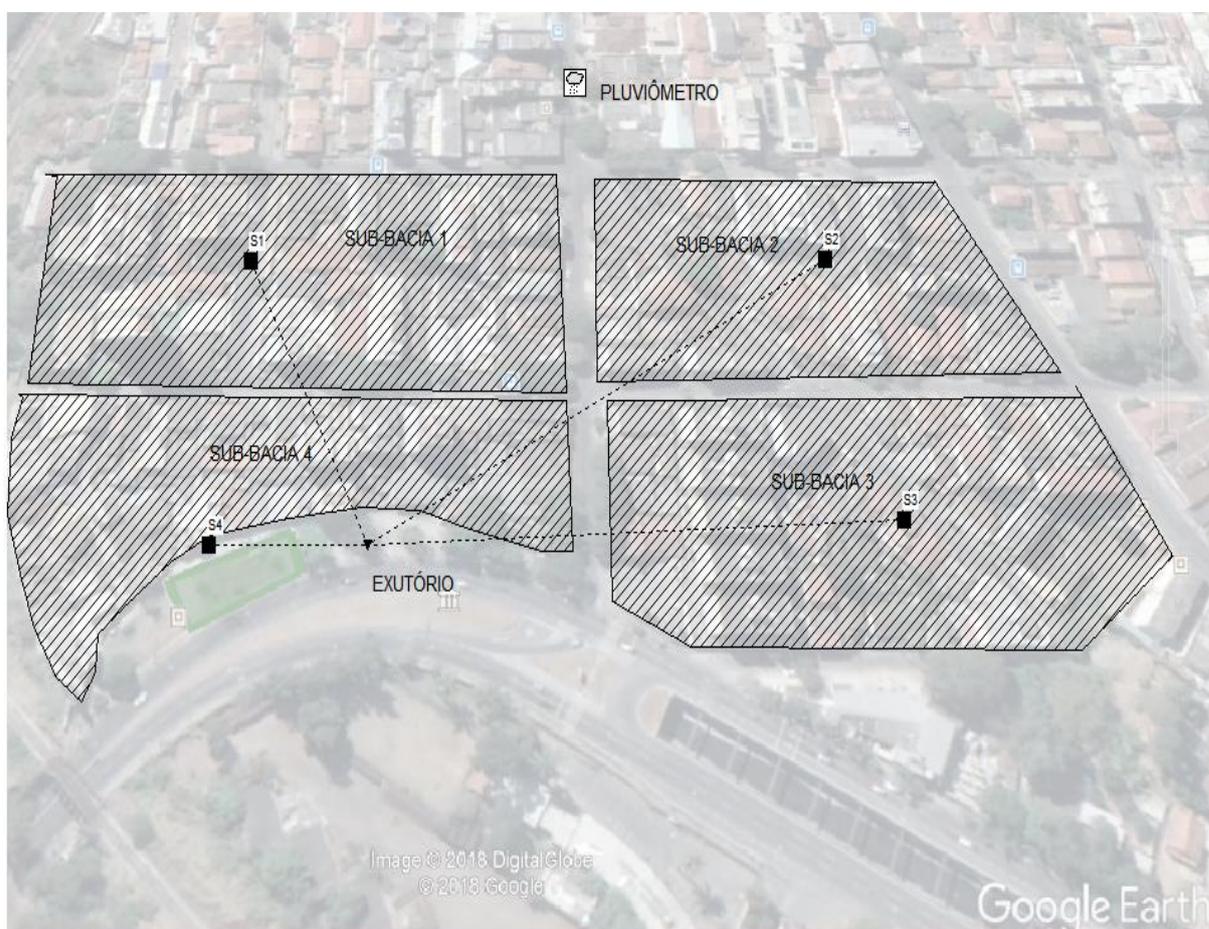
Fonte: Google Earth

Fonte: Google Maps.

O local escolhido para o desenvolvimento da pesquisa possui uma

área de 6,33 ha, sendo dividido em 4 sub-bacias representadas pelas quadras, como mostrado na Figura 7. As características de cada uma delas são mostradas no Quadro 6. Os dados a serem gerados referem-se aos períodos de pré e pós urbanização, de modo que seja feito o dimensionamento da bacia de detenção para retornar o escoamento o mais natural possível.

Figura 7– Representação da região em estudo no modelo SWMM.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 6– Características das sub-bacias em estudo.

Sub-bacias			
Nº	Área(ha)	Declividade(%)	Largura(m)
1	2,05	5	200
2	1,22	5	140
3	1,62	11	79
4	1,43	6	130
Área Total	6,32		

Fonte: Autoria própria.

Para o desenvolvimento do trabalho, o software utilizado foi o SWMM (EPA), que permite a simulação de uma precipitação que incide sobre uma determinada área. Com isso, foram simuladas duas situações: a) pré urbanização, adotando a ausência de residências e construções, conforme características apresentadas no quadro 7.

Quadro 7 – Características das sub-bacias requeridas pelo SWMM de Pré e Pós urbanização

Pré Urbanização		Pós Urbanização	
Área da sub-bacia	Varia	Área da sub-bacia	Varia
Declividade da sub-bacia	Varia	Declividade da sub-bacia	Varia
Largura da sub-bacia	Varia	Largura da sub-bacia	Varia
Impermeabilidade da sub-bacia	20%	Impermeabilidade da sub-bacia	65%
n de Manning na parcela impermeável	0,01	n de Manning na parcela impermeável	0,01
n de Manning na parcela permeável	0,01	n de Manning na parcela permeável	0,01
Profundidade do armazenamento em depressão na parcela impermeável	2 mm	Profundidade do armazenamento em depressão na parcela impermeável	2 mm
Profundidade do armazenamento em depressão na parcela permeável	4mm	Profundidade do armazenamento em depressão na parcela permeável	4 mm
Método de Infiltração	Número da curva	Método de Infiltração	Número da curva
Porcentagem da área impermeável sem armazenamento	25%	Porcentagem da área impermeável sem armazenamento	75%

Fonte: Autoria própria.

As características hidráulicas e hidrológicas de cada sub-bacia em sua respectiva simulação, seja ela de pré ou pós urbanização, foram consideradas homogêneas, adotando-as de mesma forma em toda a área. Essas características vão ser justificadas posteriormente.

4.2 Parâmetros do balanço hídrico

Os parâmetros para o balanço hídrico incluem: chuva e hietograma de projeto, evaporação, infiltração, hidrogramas e armazenamento em depressões. Na simulação o software calcula a propagação de vazões pelo método de onda dinâmica.

4.2.1 Chuva e hietograma de projeto

Para o cálculo da intensidade da precipitação que incide sobre a área de estudo foram utilizadas as constantes correspondentes à equação IDF da cidade de Belo Horizonte (Quadro 8).

Quadro 8- Constantes da equação IDF de Belo Horizonte

K	A	b	C
682,87	0,169	3,993	0,671

Fonte: Pluvio 2.1(UFV).

Dessa forma, a intensidade da precipitação (curva IDF) da cidade de Belo Horizonte, utilizada na construção do hietograma de projeto, é dada pela equação 6.

$$I = \frac{682,87 Tr^{0,169}}{(t+3,993)^{0,671}} \quad (6)$$

Para o duração da chuva (t) foi utilizado o valor do tempo igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica determinado pelo método de Kirpich (1940), utilizando a equação 5.

O período de retorno escolhido para o desenvolvimento da chuva de projeto do dimensionamento da bacia de detenção foi de 25 anos, proposto por Canholi (2005) para obras de macrodrenagem, como a bacia de detenção.

Na construção do hietograma de projeto, foi utilizado o Método dos Blocos Alternados (Zahed e Marcellini,1995). O método se baseia na distribuição do volume total da precipitação de projeto em intervalos na duração da chuva incluindo as seguintes etapas: (I) Determinação do tempo de concentração (T_c) e o intervalo de tempo (Δt); (II) Cálculo da intensidade de precipitação para cada duração, a partir da equação IDF, obtida pelo software PLUVIO 2.1 (UFV); (III) Cálculo dos incrementos de precipitações acumuladas e; (IV) Organização das intensidades de precipitação, sendo que a de maior intensidade deve estar entre 1/3 e metade da duração total da chuva.

4.2.2 Infiltração

O método utilizado para a obtenção das variáveis de infiltração foi o número da curva (CN), do método SCS, onde varia de acordo com tipo de solo, seu uso e ocupação e sua umidade antecedente. O CN varia de 0 a 100 condicionadas pelas suas condições como mostra o quadro 4, apresentado anteriormente.

Para as duas concepções, pré e pós urbanização do local de estudo, foram adotados solos do tipo C, nos quais se gera um escoamento superficial acima da média, com baixas taxas de infiltração e de alto teor de argila, evidenciados em solos próximos aos cursos d'água.

Na concepção de pós urbanização o CN utilizado foi de 90, justificada pela região se apresentar como zona residencial com lotes menores que 500 m² e solo do tipo C, como indicado anteriormente. Na concepção de pré urbanização, foi adotado um CN de 79, indicando que o local antes do desenvolvimento urbano era um local de espaço aberto parcialmente gramado com o solo do tipo C.

4.2.3 Armazenamento em depressões

Para os valores de armazenamento de depressões em superfícies permeáveis e impermeáveis foram utilizados os padrões dados pelo manual do software como mostrado no Quadro 9. Os valores utilizados foram de 2mm para superfícies impermeáveis e 4 mm superfícies permeáveis, constituídas de gramados.

Quadro 9 – Valores de armazenamento de depressões.

Superfícies Impenetráveis	1,57 – 2,54 mm
Gramados	2,54 – 5,08 mm
Pastagens	5,08 mm
Serrapilheira	7,62 mm

Fonte: Manual SWMM 5.1.

4.2.4 Determinação dos hidrogramas pelo SWMM

Após os resultados obtidos através da simulação da precipitação das duas concepções de projeto, de pré e pós urbanização, foram desenvolvidos os hidrogramas correspondentes a cada situação. Para o desenvolvimento do Hidrograma, o tempo de duração de chuva considerado foi de 7 minutos, mas para a melhor visualização das características do hidrograma, estendeu-se para 15 minutos.

Para a determinação das vazões utilizou-se o método da onda dinâmica, fornecida pelo programa, calculado através de equações de velocidade.

As simulações de precipitação foram feitas utilizando o modelo de onda dinâmica, com análise realizada a cada 1 minuto durante os 7 minutos de duração da chuva.

4.3 Dimensionamento da bacia de detenção

O dimensionamento da bacia de detenção é feito em várias etapas desde o volume necessário até as estruturas de entrada e de saída do escoamento. Em relação ao volume, foram comparados os dados obtidos através do desenvolvimento dos hidrogramas de pré urbanização e pós urbanização com os métodos de cálculo do volume da bacia de detenção propostos por Baker (1979), Abt e Grigg (1978) e Wycoff e Singh (1976).

4.3.1 Volume da Bacia de Detenção

O volume mínimo de reservação da bacia de detenção é dada pela área entre os hidrogramas de pré e pós urbanização, gerando a quantidade em m³ do volume da bacia de detenção.

Entre os métodos de cálculo do volume de bacia de detenção estão: o método de Baker (1979), equação 1; método de Abt e Grigg (1978), equação 8; e método de Wycoff e Singh (1976), equação 9.

$$\frac{V_s}{V_{pós}} = (1 - \alpha)^2 \quad (8)$$

$$\frac{V_s}{V_{pós}} = 0,97 \times (1 - \alpha)^{0,753} \quad (9)$$

Onde:

V_s = Volume requerido da bacia de detenção, em m³;

$V_{pós}$ = Volume escoado após a urbanização, em m³;

α = Razão entre a vazão de pico antes da urbanização ($Q_{p,a}$), ou pretendida, com a vazão de pico pós urbanização($Q_{p,b}$).

4.3.2 Proposta de localização da bacia de detenção

A área disponível para a implantação da bacia de detenção é de 600 m². Atualmente a área não tem uso, constituída por gramado. A partir dos dados obtidos do volume de reservação, foi possível esboçar através do software AutoCad 2016, a localização da bacia de detenção dimensionada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a metodologia apresentada, foram gerados os resultados referentes aos objetivos propostos no presente trabalho.

5.1 Parâmetros do balanço hídrico

5.1.1 Chuva e hietograma de projeto

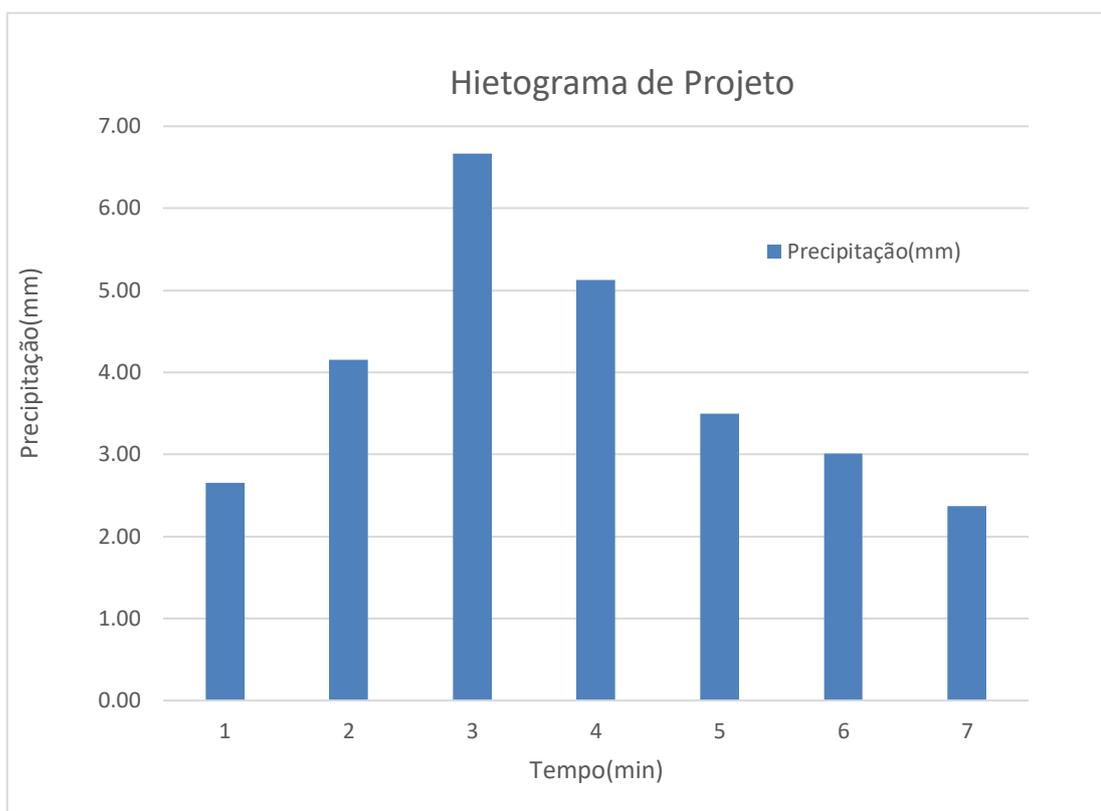
Para estimar a distribuição da chuva sobre a área de projeto, é necessário o conhecimento de aspectos do local analisado, como a duração da chuva. O tempo de concentração (T_c), utilizando o método de Kirpich (1940), foi calculado considerando o comprimento do talvegue, de 0,4 km, e a declividade média do talvegue, de 5%. Utilizando a equação 5, obtém-se um valor de aproximadamente 6,1 min, conforme equação 11.

$$T_c = 0,019 \times \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \rightarrow T_c = 0,019 \times \frac{0,4^{0,77}}{0,05^{0,385}} \rightarrow T_c \cong 6,1 \text{ min} \quad (11)$$

A duração da chuva foi considerada igual ao tempo de concentração. A partir da equação IDF, do município de Belo Horizonte, foi obtida uma intensidade de precipitação de 247,1 mm/h para a área, de projeto

Com a precipitação efetiva do local, foi gerado o hietograma de projeto utilizado o Método dos Blocos Alternados (Zahed e Marcellini,1995), representado no Gráfico 1, para um tempo de retorno de 25 anos, recomendado para sistemas de macrodrenagem como, por exemplo, as bacias de retenção (CANHOLI,2005).

Gráfico 1– Hietograma de projeto para tempo de retorno de 25 anos.



Fonte: Autoria própria.

A altura de precipitação, calculada para a duração crítica de 6,1 minutos, foi de 27,48 mm.

5.2 Construção dos hidrogramas utilizando o SWMM

A hipótese utilizada nas simulações foi de que todo o escoamento gerado pela precipitação tem como destino o exutório, ou seja, o local onde se implantaria a bacia de detenção. Após as simulações realizadas no SWMM, foram gerados os resultados, conforme apresentados a seguir.

5.2.1 Simulação de pré urbanização

No quadro 10 é apresentado um balanço hídrico utilizando o conceito de pré urbanização com os dados gerados pela simulação do software SWMM.

Quadro 10 - Balanço hídrico das sub-bacias pré urbanizada.

Sub-bacia	Precipitação Total mm (1)	Infiltração Total mm (2)	Runoff Total mm (3)	Runoff Total (10⁶L) (4)	Pico Runoff m³/s (5)	Coef. Runoff (6)
1	27,48	15,62	5,23	0,11	0,44	0,19
2	27,48	15,62	5,3	0,06	0,26	0,193
3	27,48	15,62	5,44	0,09	0,36	0,198
4	27,48	15,62	5,2	0,07	0,3	0,189

Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados referentes ao quadro 10, pode-se observar que, devido à ausência de construções e pavimentos no período anterior à urbanização, a infiltração é maior que o escoamento superficial, sendo de 15,62 mm e 5,3 mm na sub-bacia 2, respectivamente.

A simulação do software proporcionou os valores de runoff total

(coluna 3), ou altura, em mm, e em litros (coluna 4) de precipitação que gera escoamento superficial. Os dados obtidos desses parâmetros indicam a grande diferença entre o volume de água no período pré urbanização e no de pós urbanização, que será abordado a seguir.

Também pelo programa foi possível obter as vazões de pico ou runoff pico (coluna 5), em cada uma das sub-bacias, indicando assim, números menores, cerca de um terço da vazão registrada no período posterior ao desenvolvimento urbano.

A coluna 6, referente ao coeficiente de runoff ou de escoamento indica que 20% de toda precipitação que incide sobre as sub-bacias gera escoamento superficial, diminuindo, assim, os riscos de enchentes.

A partir das informações do balanço hídrico de cada sub-bacia, foi obtido o balanço hídrico do sistema, a partir do exutório, considerando a simulação no período anterior à urbanização (Quadro 11).

Quadro 11 – Balanço hídrico do sistema de pré urbanização.

PARÂMETRO	ALTURA (mm)
PRECIPITAÇÃO TOTAL	27,48
PERDAS POR INFILTRAÇÃO	15,63
ESCOAMENTO SUPERFICIAL	5,29
ARMAZENAMENTO EM DEPRESSÕES	6,88

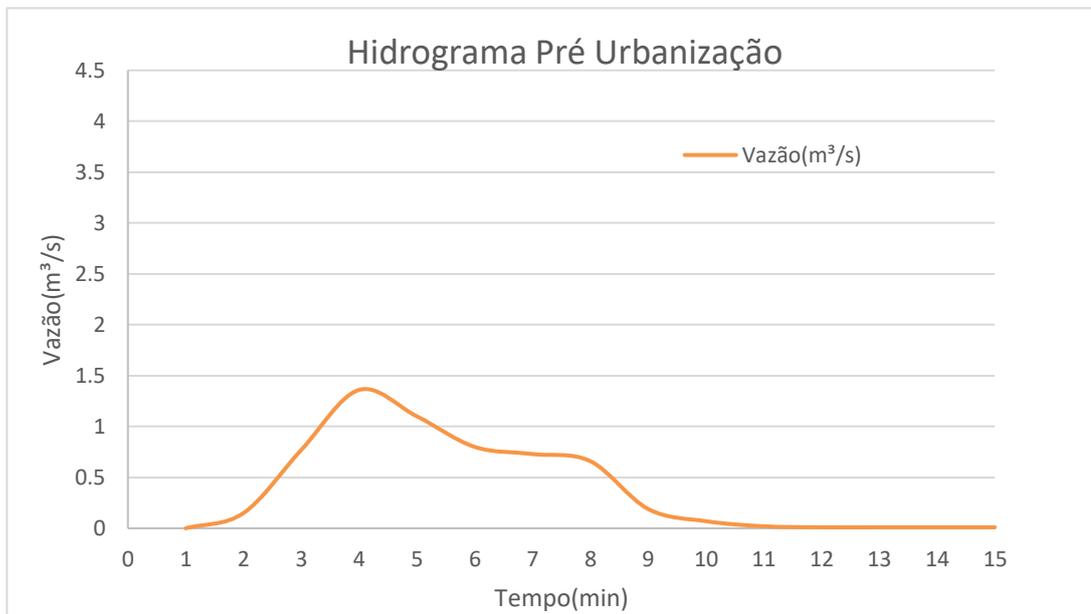
Fonte: Autoria própria.

Analisando o quadro 11 se percebe que grande maioria da precipitação é designada à infiltração, aproximadamente 57%, minimizando

o volume da precipitação que gera o escoamento superficial e como consequência, diminuindo a vazão de pico e os problemas ocasionados como alagamentos.

No Gráfico 2 é apresentado o hidrograma de pré urbanização no exutório da bacia.

Gráfico 2 – Hidrograma de pré urbanização.



Fonte: Autoria própria.

A vazão e o tempo de pico no exutório, considerando o conceito de pré urbanização, foi de 1,36 m³/s e 4 minutos, respectivamente. O volume total escoado foi de 294 m³ ou 294.000 L.

5.2.2 Simulação de pós urbanização

O quadro 12 apresenta os dados do balanço hídricos realizados pela simulação do software no período posterior ao desenvolvimento urbano na área de projeto.

Quadro 12 - Balanço hídrico de cada sub-bacia no cenário de pós urbanização.

Sub-bacia	Precipitação Total mm	Infiltração Total mm	Runoff Total mm	Runoff Total (10⁶L)	Pico Runoff (m³/s)	Coef. Runoff
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	27,48	4,87	15,71	0,32	1,17	0,572
2	27,48	4,87	16,13	0,2	0,71	0,587
3	27,48	4,87	16,86	0,27	1,02	0,613
4	27,48	4,87	15,51	0,22	0,81	0,565

Fonte: Autoria própria.

Para a altura de precipitação (coluna 1) de 27,48mm, a infiltração total (coluna 2) em cada bacia na simulação de pós urbanização foi drasticamente menor que na simulação de pré urbanização, enquanto a de pós foi 4,87 mm, a de pré foi de 15,62 mm. Esta diferença é indicada pelo uso e ocupação do solo, onde o atual panorama do local de projeto indica uma impermeabilização de 60%, em média, gerando escoamento superficial com alta intensidade, evidenciado no valor do coeficiente de escoamento superficial (coluna 6) de cada bacia.

Os valores das vazões de pico (coluna 5), obtidas através do método de propagação de vazão de onda dinâmica, no qual as ondas se propagam

nas direções de montante-jusante. Pode-se identificar que a vazão de pico do período de pós urbanização é quase 200% maior que a registrada na simulação de pré urbanização.

No Quadro 13 são mostrados os dados do balanço hídrico obtidos pelo software na simulação de pós urbanização.

Quadro 13 - Balanço hídrico da simulação de pré urbanização

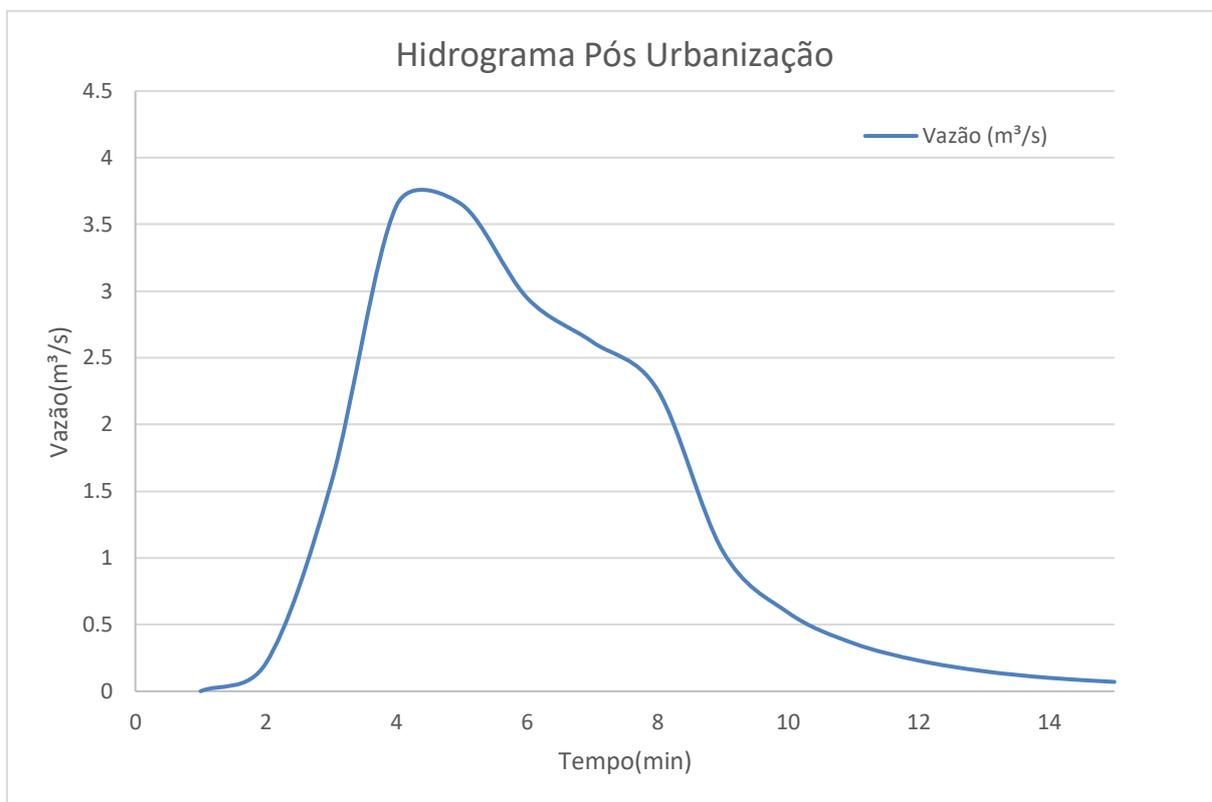
PARÂMETRO	ALTURA (mm)
PRECIPITAÇÃO TOTAL	27,48
PERDAS POR INFILTRAÇÃO	4,87
ESCOAMENTO SUPERFICIAL	16,04
ARMAZENAMENTO EM DEPRESSÕES	7,72

Fonte: Autoria própria.

A partir da síntese do balanço hídrico registrado do sistema , ou seja, no exutório, proporcionado pelo quadro 13, indica-se que a soma de escoamento superficial gerado pela precipitação no período posterior ao desenvolvimento urbano com o armazenamento gerado em depressões, representam aproximadamente 87% do volume precipitado, evidenciando a necessidade de técnicas de drenagem que minimizam estes números e explicando porque a região é alvo de constantes alagamentos.

No Gráfico 3 é mostrado o hidrograma no exutório na situação de pós urbanização.

Gráfico 3 – Hidrograma de pós urbanização



Fonte: Autoria própria.

A vazão de pico registrada no exutório no cenário de pós urbanização foi de 3,65 m³/s, aproximadamente 270% maior que a vazão de pico evidenciada na situação anterior ao desenvolvimento urbano. Outro fator que corrobora, que quanto mais impermeável for o solo maior o risco de enchentes, é o volume total escoado, que na situação de pós urbanização é de 875 m³ ou 875.000 litros.

No cenário de pós urbanização ficou evidente o aumento drástico de escoamento superficial gerado nas sub-bacias da área de projeto, caracterizadas pela intensa urbanização das cidades, tornando o solo predominantemente impermeável, agravando fenômenos de alagamento.

5.3 Dimensionamento da bacia de detenção

A partir dos hidrogramas de cada situação, de pré e pós urbanização, foi possível dimensionar a bacia de detenção.

O volume mínimo de reservação foi calculado pela diferença das áreas entre os hidrogramas de pré e pós urbanização, de modo que a bacia de detenção tenha o objetivo de retomar o escoamento antes do período de urbanização ou mais próximo ao natural (Gráfico 4). O volume mínimo de reservação é de 582 m³.

Como comparação, foi realizado o cálculo do volume da bacia de detenção por outros métodos expeditos (Quadro 14).

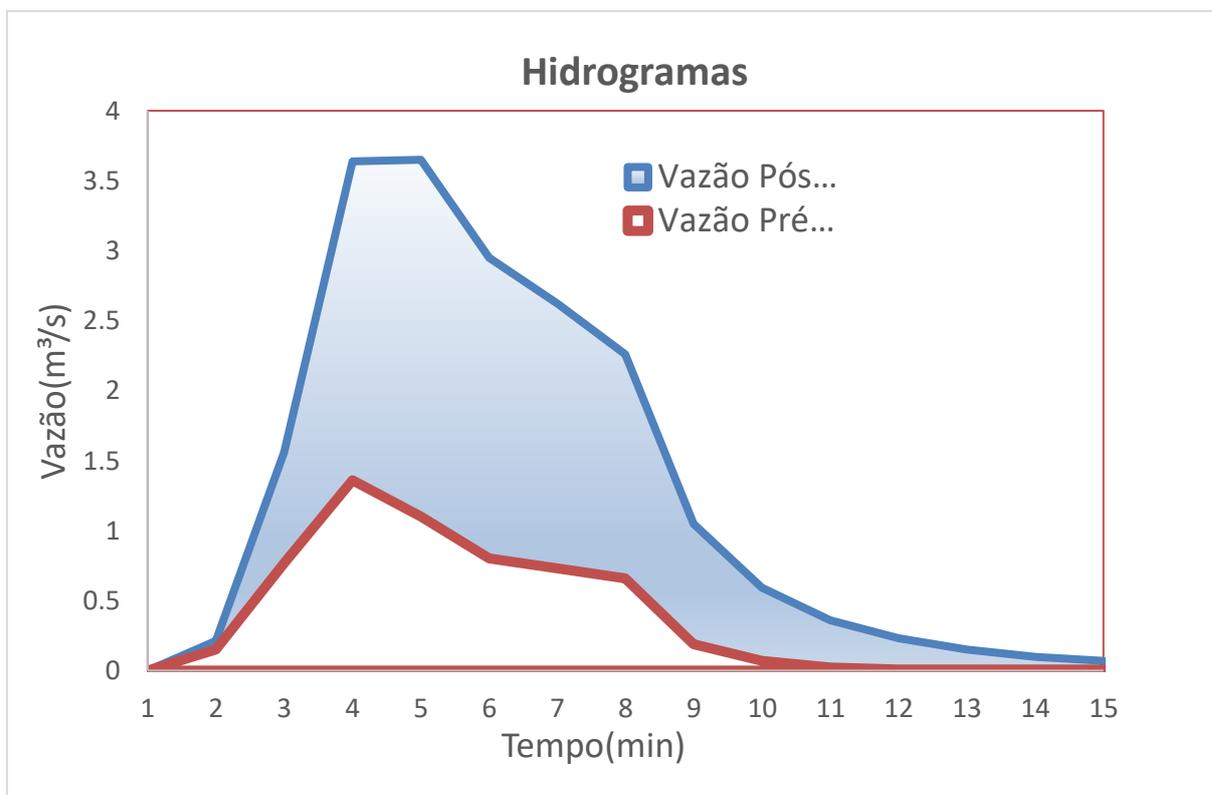
Quadro 14 - Volume de detenção por métodos diferentes

VOLUME DE DETENÇÃO POR MÉTODOS DIFERENTES (m³)	
ÁREA ENTRE OS HIDROGRAMAS DE PRÉ E PÓS URBANIZAÇÃO	582
MÉTODO DE BAKER (1979)	550
MÉTODO DE WYCOFF E SINGH (1976)	598

Fonte: Autoria própria.

Os três métodos estão próximos no que se diz respeito ao volume de reservação. Importante salientar que a diferença entre os números se dá pelo método utilizado, onde os métodos expeditos apresentados seguem o método racional.

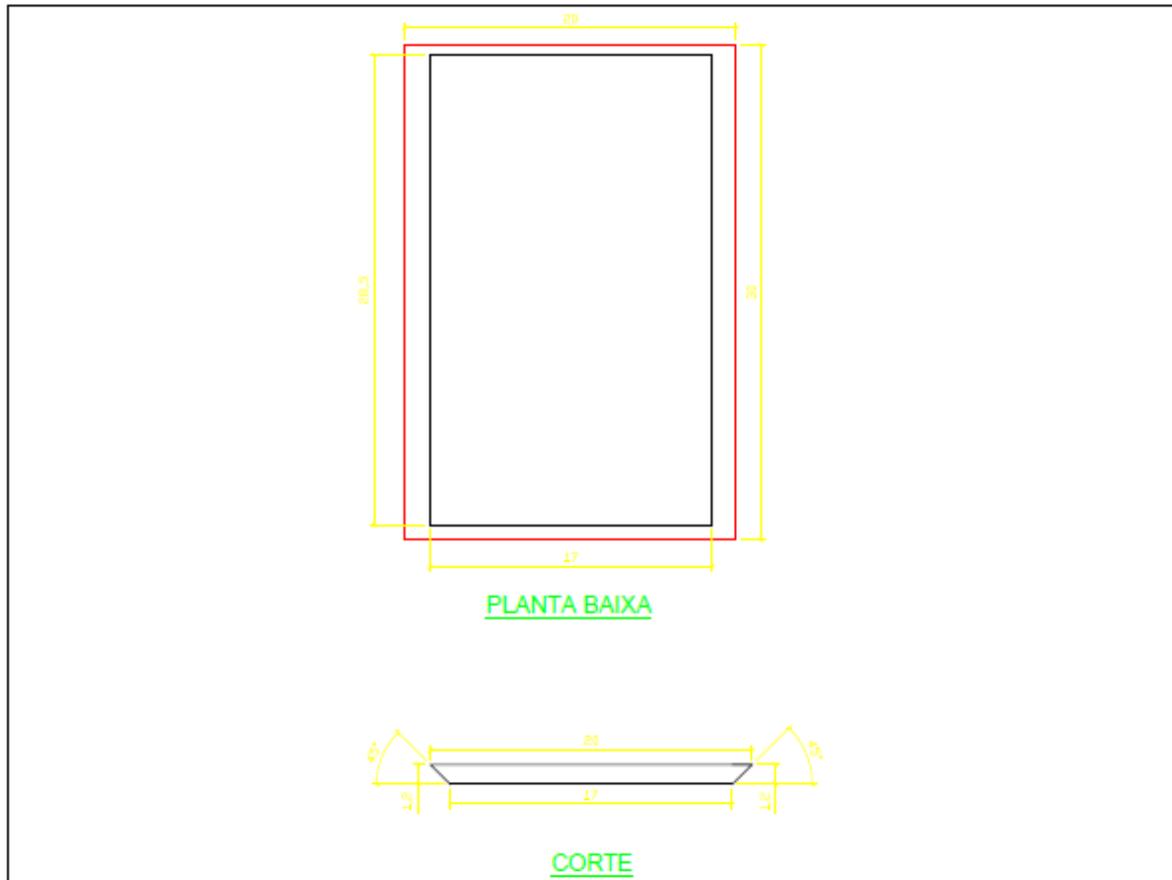
Gráfico 4 – Hidrograma com ênfase no volume mínimo de reservação



Fonte: Autoria própria.

A área disponível para a construção da bacia de detenção é de 600 m². O formato da bacia foi definido como poligonal de 4 lados, com taludes inclinados à 45° e profundidade de 1,20 metro. O volume disponível é cerca de 651 m³, ou seja, 12% a mais que o volume mínimo estimado., Na Figura 8 é apresentado um desenho esquemático da bacia, utilizando a ferramenta AutoCad, localizada na área de estudo. No APÊNDICE é mostrada a planta detalhada da localização da bacia.

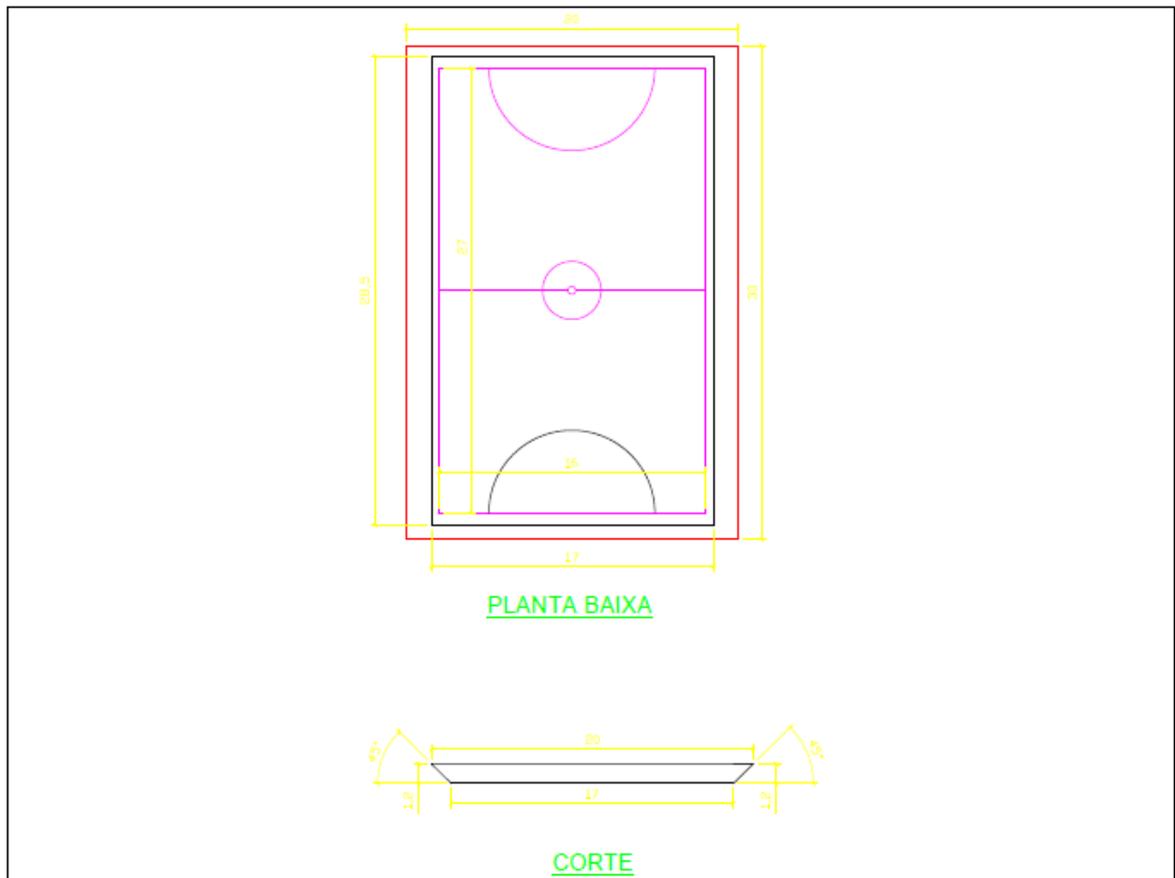
Figura 8 – Desenho esquemático da bacia de retenção.



Fonte: autoria própria

A proposta é que a bacia de retenção tenha usos potenciais de caráter multifuncional em períodos secos, sendo assim, propõe-se a construção de uma quadra poliesportiva de dimensões 27x16 metros no fundo do reservatório, que possui uma área de 486 m², servindo como espaço de lazer da população da região, em períodos secos, e como bacia de retenção, nos períodos chuvosos. Na Figura 9 é representada a quadra poliesportiva inserida na planta da bacia de retenção.

Figura 9 – Quadra poliesportiva inserida no fundo do reservatório.



Fonte: autoria própria

A implantação da bacia de detenção pode beneficiar diretamente, cerca de 15 mil habitantes que moram na região estudada e indiretamente muito mais, por ser uma avenida de constante fluxo de veículos. A sua proposta não inclui desapropriação, sendo viável socialmente e economicamente, pois constitui-se de um espaço público.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A adoção de medidas compensatórias de drenagem urbana é de extrema importância em área densamente povoadas e com alto grau de urbanização, devido à significativa redução da vazão de pico.

A área em estudo apresenta grande suscetibilidade a inundações frequentes. Conforme os resultados obtidos no trabalho, destaca-se a necessidade da implementação de técnicas de drenagem urbana, de forma a minimizar os prejuízos e aumentar o bem-estar da população.

Com o volume mínimo do reservatório de 582 m³, de acordo com as simulações realizadas, as condições naturais de vazão serão restituídas, com o amortecimento das cheias, evitando assim enchentes no local. Com a área disponível de 600 m², a bacia de detenção apresenta uma estrutura poligonal de quatro lados, com taludes de 45° e profundidade de 1,20 m, obtendo-se, assim, uma área de fundo de aproximadamente 486 m² e com capacidade de armazenar um total de 651 m³ de água proveniente das precipitações; valor maior que o volume mínimo, portanto, viável para a implantação da bacia.

Na área de fundo do reservatório, este estudo propôs a implantação de uma quadra poliesportiva de dimensões 27x16 m, em concreto pintado, atendendo aos padrões da ABNT para sua construção, representando 89% da área disponível no fundo da bacia de detenção. O espaço multifuncional, além de promover a segurança da população servirá também como lazer, trazendo vários benefícios à população local.

Recomenda-se a realização do dimensionamento dos elementos estruturais da bacia de detenção, bem como a obtenção das curvas de

descargas das estruturas, para posterior simulação da região em estudo, sem e com a presença da bacia de detenção proposta, de forma a verificar o impacto hidrológico de sua construção em relação à diminuição da vazão de pico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABT, S. R.; GRIGG, N. S. **An approximate method for sizing detention reservoirs**. Water Resources Bulletin, American Water Resources Association. Vol. 14, nº 4, Agosto, 1978. Pg. 956-965.

BAPTISTA, Márcio. NASCIMENTO, Nilo. BARRAUD, Sylvie. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto-Alegre: ABRH, 2005.

BARBOSA JUNIOR, A.R. **Elementos de Hidrologia Aplicada a Estudo de Graduação: 1, 2, 3, 4, 5 e 8**. 2013, disponível em: <<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/index.php?menu=3&disc=143e101>> Acesso em 08 de novembro de 2018.>

BAKER, W.R. **Stormwater detention basin design for small drainage areas**. Public Works. 1979.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. SUDECAP. **Carta de Inundações do Município de Belo Horizonte**.

CANHOLI, Aluísio. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos, 2005.

CANHOLI, Aluísio. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos, 2014.

COELHO, Fernando Sergio Amaral et al. **Desenvolvimento de um modelo chuva: deflúvio, para pequenas bacias rurais, a partir dos modelos do hidrograma unitário instantâneo e geomorfológico e do TOPMODEL**. 2003.

COLLODEL, Milena Gardai. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CORREIA, Evaldo Flávio Gomes; RIBEIRO, Gilberto Pessanha; BAPTISTA, Alessandra Carreiro. **Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco de inundação**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 67, n. 6, 2016.

CRUZ, Marcus Aurélio Soares; SOUZA, Christopher Freire; TUCCI, Carlos EM. **Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos-ABRH, 2007.

DA SILVEIRA, André Luiz Lopes. **Provável efeito urbano nas relações IDF das chuvas de Porto Alegre**. 1997.

EPA. **User's Manual, SWMM 5.0**. 2005.

FELIPPE, M. F; MAGALHÃES JR., A. P. **Espacialização e classificação dos topos como zonas preferenciais de recarga de aquíferos em Belo Horizonte-MG**. Monografia (graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES JR, A. P. **Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte-MG**. ENCONTRO NACIONAL SOBRE MIGRAÇÕES, VI, p. 1-19, 2009.

FÉLIX, Amanda Santos. **A gestão do risco de desastres: um olhar para os registros de ocorrências da defesa civil do município do Rio de Janeiro. 2016**. 133 f. Dissertação - Mestrado em Defesa e Segurança Civil, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Desastres, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

FRANCO, Edu José. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional**. 2004.

FRITZEN, Maycon; BINDA, Andrey Luis. **Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente-DOI 10.5216/ag.v5i3.16703**. Ateliê Geográfico, v. 5, n. 3, p. 239-254, 2011.

FURTADO, Igor da Cunha. **Infiltração em meios porosos: uma solução heurística da equação de Richards**. 2013.

KUREK, Roberta KarinneMocva. **Avaliação do tempo de retorno dos níveis das inundações no Vale do Taquari/RS**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.

MACHADO, Enéas Souza. **Modelo hidrológico determinístico para bacias urbanas**. 1981. Tese de Doutorado. Universidade de Sao Paulo. Escola de Engenharia de Sao Carlos.

MAMO, M., BUBENZER, G. D. **Detachment rate, soil erodibility, and soil strength as influence by living plant roots**. Part II: field study. Transactions of the ASABE, v. 44, n. 5, p.1175-1181, 2001.

MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, JBD de. **Quantidade dos recursos hídricos. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, v. 1, p. 531-566, 2001.

MCCUEN, R. H. **Hydrologic design and analysis**. Prince Hall, New Jersey, v. 814, 1998.

MOURA, Priscilla Macedo. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Brasil.

NASCIMENTO, N.O.; BATISTA, M.B. e DE SOUZA, V.C.B. (1997) **Sistema Hidrourb para o pré-dimensionamento de soluções compensatórias em drenagem urbana**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, CD-Rom, art. 330, Vitória, ES.

POMPÊO, Cesar Augusto. **Drenagem urbana sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

PRUSKI, F. F. et al. **Plúvio 2.1: chuvas intensas para o Brasil**. PRUSKI, FF; SILVA, DD; TEIXEIRA, AF; CECÍLIO, RA, p. 15-25, 2006.

RENNÓ, Camilo Daleles; SOARES, João Viane. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) Programa de Ciência e Tecnologia para a Gestão de Ecossistemas**. Ação "Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental". Relatório Técnico Parcial. São Paulo, 60p, 2000.

RIQUELME, Alexandra Maciel; DA LUZ, Larissa Helena Barbosa Pinheiro; DA SILVA FILHO, Eliomar Pereira. **Velocidade de infiltração de água em latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes cultivos**. Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon, v. 1, n. 1, p. 187-191, 2012.

ROJAS, R.M. **Drenaje superficial de tierras agrícolas**. Mérida, Venezuela, 1984. 96p. não publicada.

SANTOS, R. F. (org.) **Vulnerabilidade Ambiental**. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília, 2007.

SILVA, DD da et al. **Equações de intensidade-duração-freqüência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 11, n. 1/4, p. 7-14, 2003.

SILVA, José Márcio Alves da et al. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. 2002.

SILVA JUNIOR, Geraldo Pereira da; DALL'AGNOL, Guilherme; BARROS, Matheus Gabe Viana. **Bacia de retenção como medida mitigadora para redução do escoamento pluvial**. 2015. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

SILVA, Karla Alcione da et al. **Análise da eficiência de métodos de controle de Enchentes na atenuação de picos de cheias utilizando o modelo computacional SWMM StormWater management model.** 2007.

SOARES, J.V. **Introdução a Hidrologia de Florestas, Capítulo 7 – Água Superficial, Hidrógrafa e o processo de Runoff.** São José dos Campos, 2004.

SOUZA, Fernanda Pereira de. **Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do Lago Paranoá-Brasília/DF-e avaliação de bacias de detenção.** 2015.

TRAVASSOS, Luciana. **Inundações Urbanas: Uma Questão Socioambiental.** Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade-GeAS, v. 1, n. 1, p. 88-105, 2012.

TREVISOL, Jéssica Pasini. **Avaliação dos impactos da urbanização na drenagem superficial no centro de Forquilha, SC.** 2012.

TUCCI, Carlos EM; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario TD. **Drenagem urbana.** In: Drenagem urbana. ABRH/UFRGS, 1995.

TUCCI, Carlos EM; URBANAS, Inundações. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção.** Revista brasileira de recursos hídricos, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

TUCCI, Carlos EM. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Inundações e drenagem urbana.** Inundações Urbanas na América do Sul, Porto Alegre: ABRH, p. 45-129, 2003.

TUCCI, Carlos EM. **Gestão integrada das águas urbanas.** Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 5, n. 2, p. 71-81, 2008.

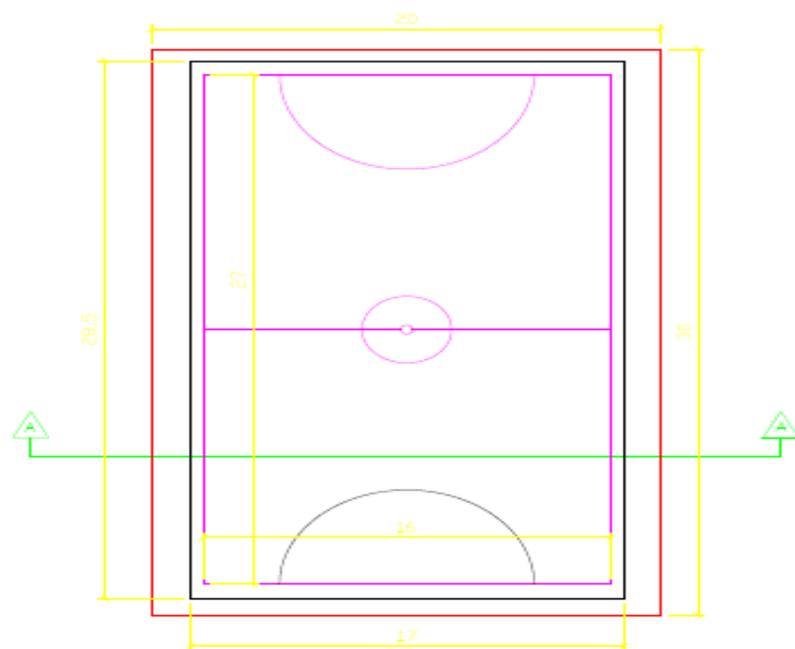
TUCCI, Carlos EM. **Gestão da drenagem urbana.** 2012.

VISSMAN, W.; LEWIS, G. L. **Introduction to Hydrology (Hardcover) Prentice Hall;** 5 edition (Oct 19 2002), ISBN-10: 067399337X, ISBN-13: 978-0673993373. 2002

WYCOFF, R.L; SINGH, U.P. **Preliminary hydrologic design of small flood detention reservoirs.** Water Resource Bulletin, 1976.

ZAHED FILHO, K.; MARCELLINI, S. S. 1995. **Precipitações máximas**. In: C. E. M. Tucci; R. L. L Porto; M. T. Barros (Org.). Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH, p. 37-76.

8 APÊNDICE



EMPRESA				CEFET - MG			
ALUNO				DANIEL TEIXEIRA REZENDE COELHO			
TÍTULO				PLANTA - BACIA DE DETENÇÃO COM QUADRA POLIESPORTIVA			
ESCALA	DATA	VERSÃO	FECHA	ESCALA	DATA	VERSÃO	FECHA
1:100	13/11/2018	00					01 / 01