



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

GUILHERME MATHEUS INÁCIO DE MELO

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE
DETENÇÃO COMO CONTROLE DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL NA ZONA DE EXPANSÃO DE ARACAJU**

São Cristóvão – SE

2016

GUILHERME MATHEUS INÁCIO DE MELO

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO
COMO CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA ZONA
DE EXPANSÃO DE ARACAJU**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Ludmilson Abritta Mendes

São Cristóvão – SE

2016

É concedida à Universidade Federal de Sergipe permissão para reproduzir cópias desta monografia e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Guilherme Matheus Inácio de Melo

MELO, Guilherme Matheus Inácio de.

DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO
COMO CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA ZONA DE
EXPANSÃO DE ARACAJU / Guilherme Matheus Inácio de Melo

São Cristóvão, 2016

54 p.: il.

Trabalho Acadêmico Orientado. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia,
Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

I. Universidade Federal de Sergipe/Sergipe. CCET/DEAM. II. Título.

GUILHERME MATHEUS INÁCIO DE MELO

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO
COMO CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA ZONA
DE EXPANSÃO DE ARACAJU**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em: _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

_____ Nota _____

Prof. Dr. Ludmilson Abritta Mendes (UFS)

(Orientador)

_____ Nota _____

Prof.^a Dr.^a Denise Conceição de Gois Santos Michelan (UFS)

(1º Examinador)

_____ Nota _____

Prof.^a Dr.^a Inaura Carolina Carneiro da Rocha (UFS)

(2º Examinador)

Hidráulica e Recursos Hídricos

Dimensionamento de Reservatórios de Detenção como Controle do Escoamento Superficial na Zona de Expansão de Aracaju

Autor: Guilherme Matheus Inácio de Melo – DEAM/CCET/UFS

Orientador: Prof. Dr. Ludmilson Abritta Mendes – DEC/CCET/UFS

Examinadores: Prof.^a Dr.^a Denise Conceição de Gois Santos Michelin – DEC/CCET/UFS

Prof.^a Dr.^a Inaura Carolina Carneiro da Rocha – DEAM/CCET/UFS

Resumo

Nos últimos anos, a urbanização da Zona de Expansão de Aracaju vem crescendo devido à grande especulação imobiliária, motivada pela proximidade de praias e pela distância dos engarrafamentos dos centros urbanos. Essa forte urbanização causa o aumento da área impermeabilizada da região, diminuindo a porcentagem de água de chuva que infiltra no solo e aumentando o escoamento superficial. Com base nesses argumentos, este trabalho busca avaliar o dimensionamento preliminar de reservatórios de detenção na sub-bacia SB-10, localizada na Zona de Expansão de Aracaju. O dimensionamento preliminar foi calculado por diversos métodos com o objetivo de encontrar um método recomendável para a região estudada. Apesar do Brasil não recomendar nenhum método de dimensionamento preliminar para reservatórios de detenção, foi observado que os métodos que utilizam apenas as áreas de drenagem e de impermeabilização como variáveis devem ser interpretados com um cuidado maior, analisando as características físicas da bacia. Entre todos os métodos utilizados, o Método Racional foi escolhido para o dimensionamento preliminar dos reservatórios de detenção, graças a sua facilidade de aplicação e parâmetros que geram uma maior segurança nos resultados se comparados com os Métodos de Silveira e Goldenfum, Urbanas e Glidden, do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre, Baker, Wycoff e Singh e ABT e GRIGG. Com o método Racional, os volumes de detenção encontrados para os reservatórios R1 e R2 foram 48073,87 m³ e 18677,82 m³, respectivamente. Além disso, foi realizada análise da disponibilidade de área para a construção dos reservatórios de detenção e o dimensionamento de uma estrutura de saída com uma vazão de saída adequada.

Palavras-chave: drenagem, reservatório de detenção, dimensionamento.

Abstract

Over the past few years, the urbanization of the Expansion Zone in Aracaju is growing exponentially due to the large real estate speculation driven by proximity to beaches and the distance of traffic jams in urban centers. This strong urbanization causes increased waterproofed area of the region, reducing the percentage of rainwater that infiltrates the soil and increasing runoff. Therefore, this study evaluated the preliminary sizing of detention reservoirs in the SB-10 sub-basin located in Expansion Zone in Aracaju. The preliminary sizing was calculated by various methods with the aim to find a recommendable method for the studied region. Although Brazil does not recommend any preliminary sizing method for detention reservoirs, it was observed that the methods that uses only the areas of drainage and waterproofing as variables must be interpreted with greater care, analyzing the physical characteristics of the basin. Among all the methods used, the Rational Method was chosen for the preliminary sizing of detention reservoirs due to its ease of application and parameters that generate greater security in the results. Furthermore, an analysis was made of the area available for the construction of the detention reservoir and sizing an output structure with adequate output flow.

Keywords: drainage, detention reservoir, sizing.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (RUNOFF) – “C”	34
TABELA 2 – CONVERSÃO DOS COEFICIENTES PARA A IDF DO TIPO TALBOT.	36
TABELA 3 – RESULTADOS PARA O PERÍODO DE ATUAL URBANIZAÇÃO PELO MÉTODO RACIONAL.	40
TABELA 4 – RESULTADOS PARA O PERÍODO DE PÓS-DESENVOLVIMENTO PELO MÉTODO RACIONAL.	40
TABELA 5 – RESULTADOS PARA O PERÍODO DE ATUAL URBANIZAÇÃO PELO MÉTODO DE SILVEIRA E GOLDENFUM.	41
TABELA 6 – RESULTADOS PARA O PERÍODO DE PÓS-DESENVOLVIMENTO PELO MÉTODO DE SILVEIRA E GOLDENFUM.	41
TABELA 7 – RESULTADOS PARA O PERÍODO DE ATUAL URBANIZAÇÃO PELO MÉTODO DE URBONAS E GLIDDEN.	42
TABELA 8 – RESULTADOS PARA O PERÍODO DE PÓS-URBANIZAÇÃO PELO MÉTODO DE URBONAS E GLIDDEN.	42
TABELA 9 – RESULTADOS PARA O PERÍODO DE ATUAL URBANIZAÇÃO PELO MÉTODO DO DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS DA PREFEITURA DE PORTO ALEGRE.	43
TABELA 10 – RESULTADOS PARA O PERÍODO DE PÓS-DESENVOLVIMENTO PELO MÉTODO DO DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS DA PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. ...	44
TABELA 11 – RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR PELOS MÉTODOS DE BAKER, WYCOFF E SINGH E ABT E GRIGG.	45
TABELA 12 – COMPARAÇÃO DE TODOS DOS MÉTODOS PARA A FASE DE PÓS-URBANIZAÇÃO.	46
TABELA 13 – DIMENSÕES DOS RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO PROJETADOS PELO MÉTODO RACIONAL.	47
TABELA 14 – DIMENSÕES DO VERTEDOR RETANGULAR DE SOLEIRA DELGADA.....	48
TABELA 15 – VALORES PARA O COEFICIENTE METCALF & EDDY “K”.	49
TABELA 16 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO PARA VERIFICAÇÃO DA VAZÃO DE SAÍDA.	49

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- PROCESSOS QUE OCORREM EM UMA ÁREA URBANIZADA OU EM URBANIZAÇÃO.	13
FIGURA 2 - ESTÁGIOS DO DESENVOLVIMENTO DA DRENAGEM.....	17
FIGURA 3 - BACIA DE RETENÇÃO NO PARQUE CAMPOLIM – SOROCABA, SP.....	21
FIGURA 4 - BACIA DE DETENÇÃO NA PRAÇA JÚLIO ANDREATA - PORTO ALEGRE, RS.	22
FIGURA 5 - TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO EM UM ESTACIONAMENTO.	23
FIGURA 6 - PAVIMENTO PERMEÁVEL EM UM ESTACIONAMENTO.	24
FIGURA 7 - MAPA COM A DIVISÃO DAS SUB-BACIAS DA ZONA DE EXPANSÃO.....	27
FIGURA 8 - LIMITES DA SUB-BACIA DESTE ESTUDO.	28
FIGURA 9 – PLANTA TOPOGRÁFICA DA SUB-BACIA EM ESTUDO.	30
FIGURA 10 - FOTO DE SATÉLITE DA ÁREA DO ESTUDO.....	31
FIGURA 11 – INDICAÇÃO DA DIVISÃO DA SUB-BACIA E SEUS COMPONENTES.	32

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Considerações iniciais.....	11
1.2 Objetivos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Impacto da urbanização na drenagem urbana e no ciclo hidrológico	13
2.2 Drenagem Urbana Convencional	16
2.3 Drenagem urbana sustentável	18
2.3.1 Medidas não-estruturais	19
2.3.2 Medidas estruturais.....	19
3. ÁREA DE ESTUDO.....	25
4. METODOLOGIA	29
4.1 Cenários	29
4.2 Identificação das bacias de contribuição	29
4.2.1 Topografia	29
4.2.2 Uso e ocupação do solo.....	30
4.2.3 Divisão da sub-bacia e localização dos reservatórios de detenção.....	31
4.3 Dados hidrológicos	32
4.3.1 Equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF)	32
4.3.2 Declividade e Tempo de concentração.....	33
4.3.3 Coeficiente de escoamento superficial.....	33
4.4 Métodos de dimensionamento preliminar de reservatório de detenção	35
4.4.1 Método Racional	35
4.4.2 Método de Silveira e Goldenfum.....	35
4.4.3 Método de Urbonas e Glidden	36
4.4.4 Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre	37
4.4.5 Método de Baker	37
4.4.6 Método de Wycoff e Singh	38
4.4.7 Método de ABT e GRIGG	38
4.5 Pré-dimensionamento da estrutura de saída do reservatório.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1 Método Racional	40
5.2 Método de Silveira e Goldenfum	41

5.3 Método de Urbonas e Glidden	42
5.4 Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre	43
5.5 Métodos de Baker, Wycoff e Singh e ABT e GRIGG	44
5.6 Comparação dos Métodos para a fase de pós-urbanização	45
5.7 Dimensões dos reservatórios e das estruturas de saída	47
6. CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS.....	52

1. Introdução

1.1 Considerações iniciais

De acordo com a Divisão de População das Nações Unidas, pela primeira vez o número de pessoas vivendo em cidades ultrapassou o número de pessoas vivendo no campo (ONU, 2012). Com este grande movimento do campo para cidade e a falta de planejamento dos gestores, ocorreu o crescimento desordenado das cidades, dando origem as favelas e uma grande carência de infraestrutura nas grandes cidades.

A drenagem deficiente de águas pluviais é um dos problemas gerados devido ao crescimento desenfreado da população nas cidades. A falta de drenagem se ocorre pela impermeabilização de grandes áreas, aterramento de rios e lagos, ocupação de áreas de amortecimento de cheias, não havendo para onde a água das chuvas irem, se acumulando em áreas gerando as inundações.

O aumento do escoamento superficial é devido à falta de controle do crescimento populacional das cidades e à falta de planejamento. Para haver um controle deste problema segundo CHANEY (1982), citado por SILVA (2009), em vários locais dos Estados Unidos, foram construídas as bacias de retenção. Estas bacias são práticas de baixo custo, se comparada com a ampliação de escoamento de redes existentes, e que ajudam a solucionar o problema de drenagem. É essencial que haja uma continuidade na avaliação do uso e ocupação do solo em meios urbanos, principalmente em regiões de baixa variação topográfica.

Um outro grande problema é um alto escoamento superficial que se dá devido à impermeabilização do solo. O escoamento superficial nas cidades é considerado um dos principais meios de poluição dos cursos d'água e aquíferos de uma cidade. Por meio deste processo são carregados o lixo doméstico, restos de construções, as partículas de pneus e freios desgastados, matéria orgânica (materiais de jardinagem e fezes de animais) e ainda há as ligações clandestinas de esgotos (TUCCI, 2005).

Por conta desta poluição difusa se faz necessário que não haja apenas medidas quantitativas, mas também medidas qualitativas. Portanto, deve-se fazer com que haja

uma interação das medidas compensatórias para a drenagem, com medidas que reduzam as consequências da urbanização juntamente com o escoamento superficial, sendo conhecido no Brasil como Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável.

De forma geral a carência de sistemas de drenagem, devido a uma urbanização descontrolada, atinge o Brasil todo. Em Aracaju, capital de Sergipe, recentemente pode ser visto na área conhecida como Zona de Expansão. Devido à especulação imobiliária (por conta da proximidade de praias e distância dos grandes engarrafamentos dos centros urbanos) e uma falta de planejamento dos gestores, houve uma rápida urbanização da área, fazendo com que planos de drenagem não fossem aplicados e com que haja grandes inundações na área, causando um descontentamento da população local.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é dimensionar reservatórios de retenção para a sub-bacia SB-10, localizada na Zona de Expansão do município de Aracaju, com o intuito de prevenir inundações em um cenário de total urbanização da bacia.

Os objetivos específicos são:

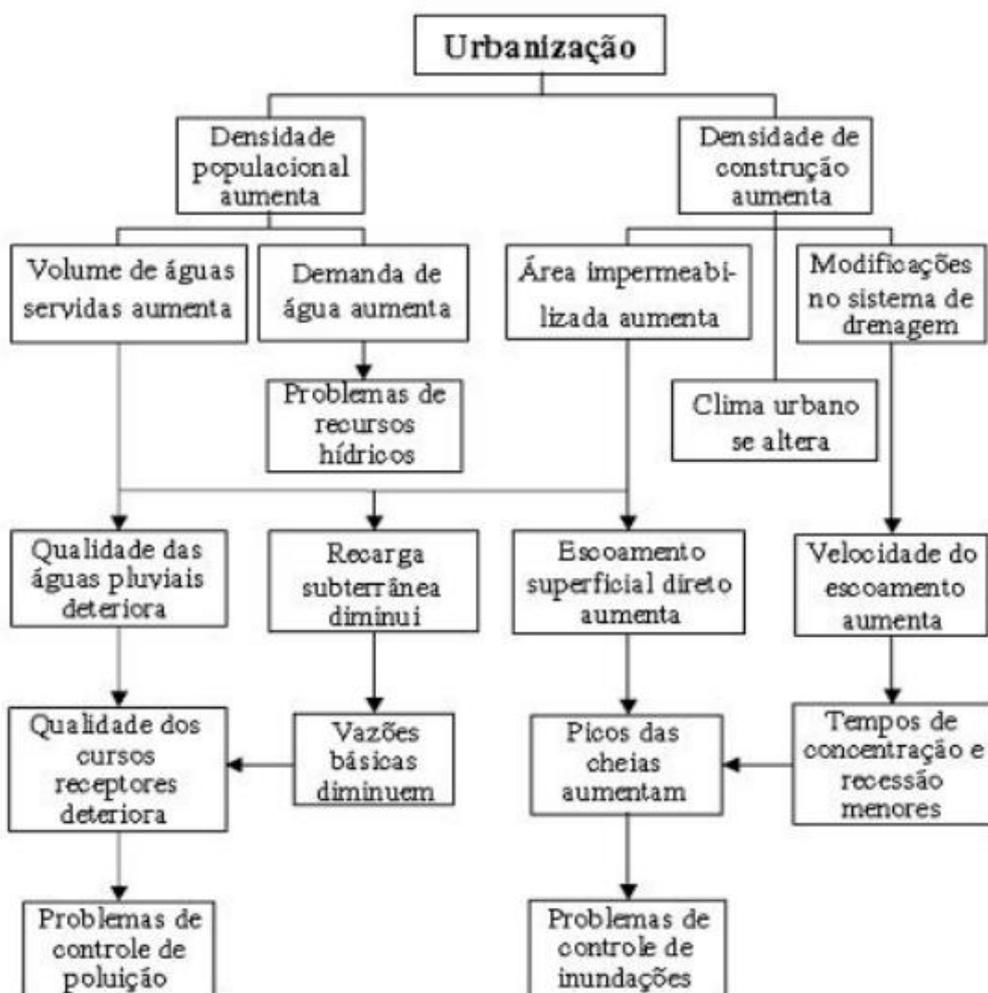
- Analisar a disponibilidade de área de construção de dois reservatórios de retenção por diferentes métodos;
- Determinar um método mais recomendável para o pré-dimensionamento de reservatório de retenção para a sub-bacia estudada;
- Determinar uma estrutura de saída do reservatório de retenção a partir de uma vazão de saída permitida e segura para chuvas intensas.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Impacto da urbanização na drenagem urbana e no ciclo hidrológico

Com o processo de urbanização, há um crescimento populacional e de obras de infraestrutura que acarretam consequências para o ciclo hidrológico como o aumento da geração de efluentes domésticos, aumento da área impermeabilizada e alterações no sistema de drenagem urbana. Tais consequências provocam problemas no controle de enchentes e da poluição hídrica. Um resumo das consequências da urbanização é mostrado na figura 1.

Figura 1- Processos que ocorrem em uma área urbanizada ou em urbanização.



Fonte: Hall (1984 apud Porto, 2001).

É certo que o processo de urbanização causa grandes modificações no uso e ocupação do solo. Devido a essas modificações, os picos de cheias e a ocorrência de enchentes são alterados e seus efeitos mais perceptíveis são o aumento do escoamento superficial e a diminuição da infiltração.

Tucci (2003) aponta outros impactos em decorrência da urbanização que são:

- Aumento das vazões máximas e de sua frequência devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- Aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo);
- Deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto cloacal ao pluvial e contaminação de aquíferos;

O crescimento desordenado da população urbana acrescenta ainda os problemas de falta de planejamento adequado, no que se refere às instalações de sistemas de esgotos sanitário e pluvial e à inexistência de restrições quanto à ocupação das áreas de risco quando da formulação dos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano. Esses problemas culminam invariavelmente no aumento do escoamento superficial pelas mais variadas causas e, conseqüentemente, na ocorrência de enchentes urbanas.

O processo de impermeabilização do solo devido à urbanização causa impactos ao ciclo hidrológico em todas as fases do projeto de implantação de redes de drenagem, como são descritos a seguir (TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2006).

- Com a remoção da cobertura vegetal devido à limpeza dos terrenos para a preparação do local de construção, a porcentagem de água interceptada por essa vegetação é nula;

- Com a terraplanagem do terreno, as poças naturais que diminuem a velocidade do escoamento e armazenam temporariamente a água da chuva são eliminadas;
- Com a compactação do solo, os percursos de recarga de água subterrânea são eliminados ou reduzidos, além de reduzir a capacidade do solo de reter umidade e retomar água para a atmosfera através da evapotranspiração;
- A impermeabilização do solo com prédios, ruas, calçadas, estacionamentos, reduz a porcentagem de água que infiltra no solo, aumentando o escoamento superficial;
- A implantação de serviços de drenagem agrava ainda mais os efeitos da impermeabilização do solo, pois transporta a água com maior velocidade para a jusante, ou seja, apenas transporta o problema para outra região.

Segundo Leopold (1968) os impactos da urbanização na bacia hidrográfica são divididos em impactos na quantidade, impactos na qualidade, impactos no valor ambiental:

- **Impactos na quantidade:** o aumento da impermeabilização do solo e a implantação de sistemas de drenagem podem aumentar as vazões máximas de um evento de chuva em até 6 vezes;
- **Impactos na qualidade:** o efluente de esgoto despejado *in natura* causa um aumento na quantidade dos nutrientes disponíveis, desequilibrando a biota aquática, propiciando o crescimento de bactérias e algas, provocando a eutrofização do corpo d'água;
- **Impactos no valor ambiental:** a instabilidade do canal, apresentando leito assoreado, margens instáveis e sem vegetação; o acúmulo de lixo nos canais; e o desequilíbrio da biota aquática, são os principais fatores responsáveis pela degradação do valor ambiental de uma bacia urbanizada.

2.2 Drenagem Urbana Convencional

Os sistemas de drenagem são classificados como: na fonte, de microdrenagem e de macrodrenagem.

O sistema de drenagem na fonte é aquele cujo escoamento ocorre no lote, condomínios ou empreendimentos individualizados, parques e passeios.

A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou pequenos canais a nível de loteamento ou de rede primária urbana. É projetada para atender à drenagem de precipitações com risco moderado, com períodos de retorno entre 2 a 10 anos.

Os principais elementos de um sistema de microdrenagem são: Sarjetas, Sarjetões, Bocas-de-lobo, Tubos de ligações, Poço de Visita e Galerias (TUCCI et al., 1995).

A macrodrenagem é composta por obras de grande porte como canais e galerias de maiores dimensões, assim como diques e barragens. A macrodrenagem é projetada para áreas de pelo menos 2 km² ou 200 ha e período de retorno próximo a 100 anos, que acomode precipitações superiores as da microdrenagem com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais (TUCCI, 2003).

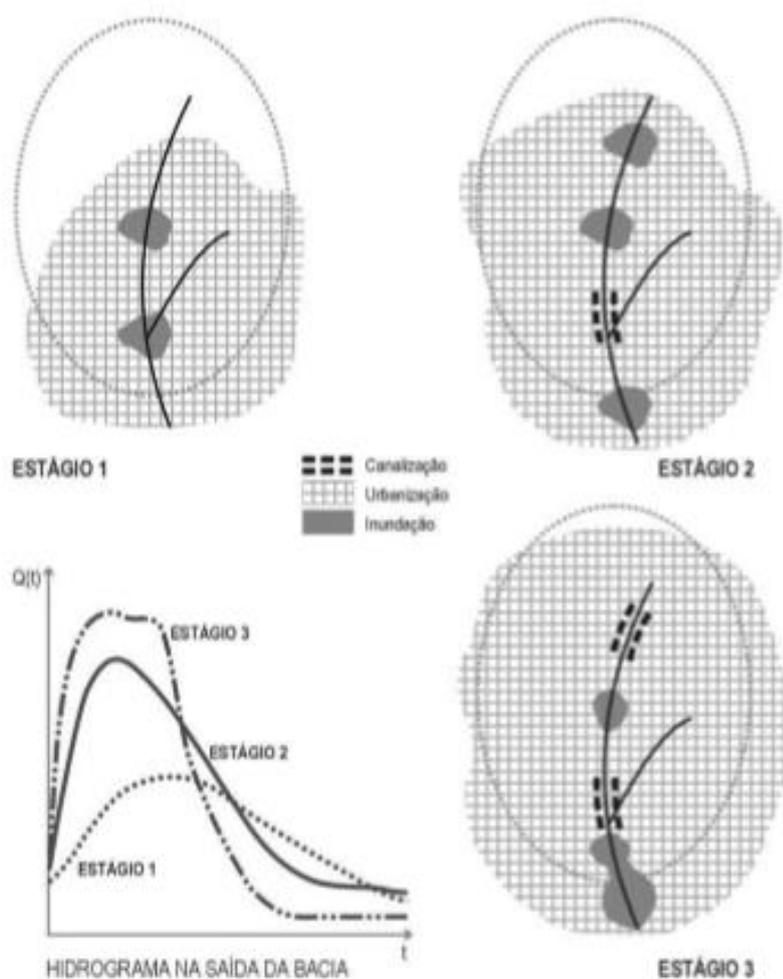
As obras de drenagem convencional devem ser escolhidas e dimensionadas corretamente para não agravar os impactos das inundações. Segundo (TUCCI, 2005), a retirada da água pluvial o mais rápido possível do seu local de origem não é uma alternativa adequada para a solução das enchentes e, por isso, os impactos na macrodrenagem das cidades podem ocorrer na seguinte sequência, que também podem ser visualizadas na Figura 2:

- Estágio 1: a bacia começa a ser urbanizada, com uma maior densidade a jusante. Com a urbanização, a impermeabilização do solo é inevitável causando inundações;

- Estágio 2: As primeiras canalizações são executadas a jusante, com base na urbanização atual, aumentando o hidrograma a jusante da canalização;
- Estágio 3: Com o aumento da ocupação da bacia a montante juntamente com a canalização, as inundações voltam a ocorrer devido ao aumento das vazões máximas. Com a falta de espaço para a construção de novos canais, uma solução é o aprofundamento dos canais, porém é uma alternativa com um custo alto.

Essa sequência está ilustrada na Figura 2.

Figura 2 - Estágios do desenvolvimento da drenagem.



Fonte: Tucci (2005).

2.3 Drenagem urbana sustentável

Conjunto de medidas que objetivam recuperar a capacidade de armazenamento que a bacia perdeu com a urbanização. Uma drenagem urbana sustentável se dá através do conjunto de atividades como o estudo dos cursos d'água e do solo, aliando o urbanismo com a valorização da paisagem e também aliando as oportunidades de lazer com a ecologia (POMPÊO, 2000).

Ainda segundo Tucci (2005), a drenagem urbana sustentável segue também os seguintes princípios:

- A bacia como sistema: devem ser levadas em consideração todas as bacias que a área urbana envolve, não impactando uma bacia mais que a outra e sim todas tratadas por igual.
- As medidas de controle no conjunto da bacia: podem ser tomadas medidas estruturais e não estruturais. Sendo as estruturais medidas com custo financeiro alto e as não-estruturais tendo que ser medidas preventivas, para que haja uma harmonização com o crescimento urbano.
- Os meios: para implantação das medidas são usados o Plano Diretor Urbano, Legislação Local e o Manual de Drenagem.
- O horizonte de expansão: o Plano Diretor Urbano deve possuir um planejamento para que não haja um crescimento desordenado ao redor da bacia trazendo consequências econômicas e sociais para a comunidade.
- Os critérios sustentáveis: as cheias naturais não devem ser intensificadas pelos ocupantes da bacia, ou seja, não deve ser feita nenhuma obra de impermeabilização do solo. Também se deve priorizar o meio de drenagem natural como a infiltração.
- O controle permanente: não basta tomar atitudes de momento, é necessário que haja um controle e vigilância para que nenhuma medida seja desobedecida. Faz-se necessário também trazer a comunidade para a participação de todo o plano, para que haja uma contínua obediência.
- A educação: todas as áreas de atuação devem ser educadas para que as medidas sejam tomadas mais prudentemente.

- A administração: serve para o controle e manutenção do processo, através de aprovação de projetos obras e drenagens.

Para um planejamento eficiente de controle de enchentes é necessário mesclar medidas estruturais e não-estruturais, pois a utilização de apenas uma das medidas não é suficiente para o controle das cheias. Quando o uso de medidas estruturais for economicamente ou tecnicamente inviável, as medidas não-estruturais podem reduzir o impacto esperado a curto prazo e com um custo menor de implantação.

2.3.1 Medidas não-estruturais

Algumas medidas não estruturais segundo Tucci (2005) são: o Plano Diretor urbano que devem apresentar medidas para remediar os problemas já existentes e também apresentar programas para a educação da comunidade, para que ela saiba como lidar com qual medida estrutural ou não aplicada naquela área; a Legislação local, que irá regulamentar as medidas tomadas na área; a participação da comunidade, para que ela tenha participação nos planos, na execução e na contínua obediência das medidas de controle; e a educação não só de comunidade, mas também daqueles que irão administrar as medidas, para que as decisões sejam tomadas conscientemente.

Além do Plano Diretor urbano, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) também pode ser citado entre as medidas não estruturais. Após a Lei Federal nº 11.445/2007, conhecida como Lei de Saneamento Básico, todas as prefeituras têm obrigação de elaborar seu PMSB. Sem ele, desde 2014, a Prefeitura não pode receber recursos federais para projetos de saneamento básico. Ainda segundo a Lei nº 11.455/2007, o saneamento básico é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais relativos aos processos de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2007).

2.3.2 Medidas estruturais

Segundo Tucci (2003), as principais medidas tomadas são: reservatório de detenção e retenção, para controlar a vazão máxima; áreas de infiltração para que haja o recebimento de água de áreas impermeáveis e, por consequência, a recuperação do

poder de infiltração da bacia; e também os pavimentos permeáveis, para um melhor escoamento da água e aumento da capacidade de infiltração.

A) Bacias de Retenção

- Definição e principais funções

Os reservatórios de retenção são estruturas construídas com a finalidade de amortecer os picos de cheias e melhorar a qualidade da água pluvial. São grandes lagoas, artificiais ou não, que possuem uma lâmina de água permanente com finalidades de recreação, paisagísticas, ou até abastecimento de água. O nível de água da bacia de retenção se eleva durante ou imediatamente após o período de cheias. Na bacia de retenção, o excesso de água é liberado por um vertedouro (CANHOLI, 2005). As bacias de retenção facilitam a remoção de material flutuante e reduzem a carga de poluentes de origem pluvial por meio da decantação das partículas sólidas, que são removidos após o período de decantação (BAPTISTA et al., 2005).

- Características do dimensionamento e manutenção

O dimensionamento das bacias de retenção segue algumas recomendações para uma melhor eficiência. O cálculo da área da bacia deve ser feito em função da profundidade do reservatório e da área impermeabilizada da bacia. A profundidade do reservatório deve ser maior que 0,6 m para evitar a estratificação térmica e menor que 1,8 m para evitar o crescimento de algas (TOMAZ, 2016).

As bacias de retenção artificiais, assim como as bacias naturais, precisam de manutenção para não comprometer suas funções como a da qualidade da água, paisagística, entre outras. Estabelecer programas de inspeção da bacia, remoção dos sedimentos quando atingir aproximadamente 1/3 da profundidade do projeto, remoção de lixo, papéis e outros resíduos gerados pela população a cada seis meses, remoção da vegetação a cada dois anos, inspeção visual após chuva com intensidade de precipitação maior a 25 mm em 24h e inspeção completa todo ano são algumas recomendações feitas por Tomaz (2016).

Na Figura 3 é apresentada uma bacia de retenção implantada no município de Sorocaba, São Paulo.

Figura 3 - Bacia de retenção no Parque Campolim – Sorocaba, SP.



Fonte: Agenda Sorocaba (2016).

B) Reservatório de Detenção

- Definição e principais funções

Estrutura para acumulação ou infiltração de águas pluviais, a qual tem como objetivo o controle de inundações em perímetros urbanos, redução de escoamento superficial e redução de poluição difusa em áreas urbanas (BAPTISTA et al., 2005).

Segundo Castro (2002), as bacias de retenção causam impactos no regime hidrológico, na qualidade da água, na paisagem urbana e na qualidade de vida. No regime hidrológico as vazões de pico são amortecidas. Há melhoria da qualidade da água com a decantação de partículas suspensas na água. A paisagem urbana ganha uma melhoria, já que a presença de superfícies com água valoriza a área. É necessário que a população seja informada sobre as funções e a manutenção, para que a qualidade de vida seja alta.

- Características do dimensionamento e manutenção

As recomendações de dimensionamento das bacias de retenção também podem ser usadas para o dimensionamento das bacias de detenção. A profundidade da bacia de detenção pode chegar até 3 m, porém são necessárias medidas de proteção a banhistas e crianças devido ao risco de afogamentos (TOMAZ, 2016).

Para a manutenção da bacia de detenção, Tomaz (2010a) recomenda um volume adicional para o depósito de sedimentos, que deve ser retirado e levado para o aterro sanitário quando estiver cheio. O autor também recomenda que as águas pluviais não fiquem empocadas mais que três dias para evitar o desenvolvimento de vetores; limpeza das estruturas de entrada e saída; corte da grama e remoção da vegetação indesejável.

Um exemplo de bacia de detenção é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Bacia de Detenção na Praça Júlio Andreatta - Porto Alegre, RS.



Fonte: Martins (2015).

C) Áreas de Infiltração

Trincheiras de infiltração são estruturas com preenchimento granular que desempenham a função estrutural, reduzindo a poluição de águas superficiais. Segundo Azzout et al. (1994), assim como a bacia de retenção, as trincheiras têm a função de reduzir as vazões, o que faz com que haja recarga do aquífero subterrâneo.

Um exemplo de trincheira de infiltração é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Trincheira de infiltração em um estacionamento.



Fonte: Tomaz (2016).

D) Pavimentos Permeáveis

Têm a mesma função urbana que os pavimentos convencionais, porém apresentam uma maior permeabilização, o que faz com que haja um menor escoamento superficial de águas pluviais.

Este pavimento pode ser vazado, de concreto ou de asfalto, não havendo materiais finos nas estruturas para que assim ocorra a infiltração da água. É necessário que este pavimento esteja pelos menos a 1,2m acima do lençol freático no período chuvoso (TUCCI, 2005). Ainda segundo o autor, as vantagens desta técnica é a redução de escoamento superficial e redução de custos com sistema de drenagem. Porém tais pavimentos só podem ser utilizados em áreas de pequenas cargas como estacionamentos ou áreas residências ou de lazer, para que não haja nenhum dano à estrutura.

Na figura 6 é apresentado um exemplo de pavimento permeável.

Figura 6 - Pavimento permeável em um estacionamento.



Fonte: Rhino Pisos (2016).

3. Área de estudo

Aracaju é a capital do estado de Sergipe e está situada no litoral da região Nordeste do Brasil. Aracaju está limitada pelos municípios de Nossa Senhora do Socorro, Barra dos Coqueiros e São Cristóvão; formando a Grande Aracaju.

Aracaju possui uma área de 181,857 km² e uma população estimada em 641.523 habitantes, que está distribuída em 39 bairros (IBGE, 2016).

Aracaju possui um clima quente e úmido, com período chuvoso de março a agosto. A temperatura média anual é de 26 °C e precipitação média anual de 1590 milímetros. Os meses mais quentes de Aracaju são janeiro, fevereiro e março, com temperatura média de 27 °C. Já os mais frios são julho e agosto, com temperatura média de 24 °C.

Os meses mais chuvosos da cidade de Aracaju são entre março e julho, onde a precipitação média de chuva atinge mais que 150 mm por mês. Entre esses meses, o mais mês mais chuvoso é maio, cuja média é de aproximadamente 334 mm.

A área escolhida para este trabalho foi a sub-bacia SB-10, que está localizada na Zona de Expansão da cidade de Aracaju, que está delimitada pela Avenida Santos Dumont, Rodovia dos Náufragos e pela Petrobrás (Terminal de Carmópolis - Tecarmo).

Um dos marcos principais para a ocupação urbana da Zona de Expansão foi quando o Governo Estadual em 1980 pavimentou a rodovia dos Náufragos e a criou da rodovia José Sarney, fazendo com que a área que anteriormente possuía uma maior atividade rural fosse mudando de características (FRANÇA E REZENDE, 2010).

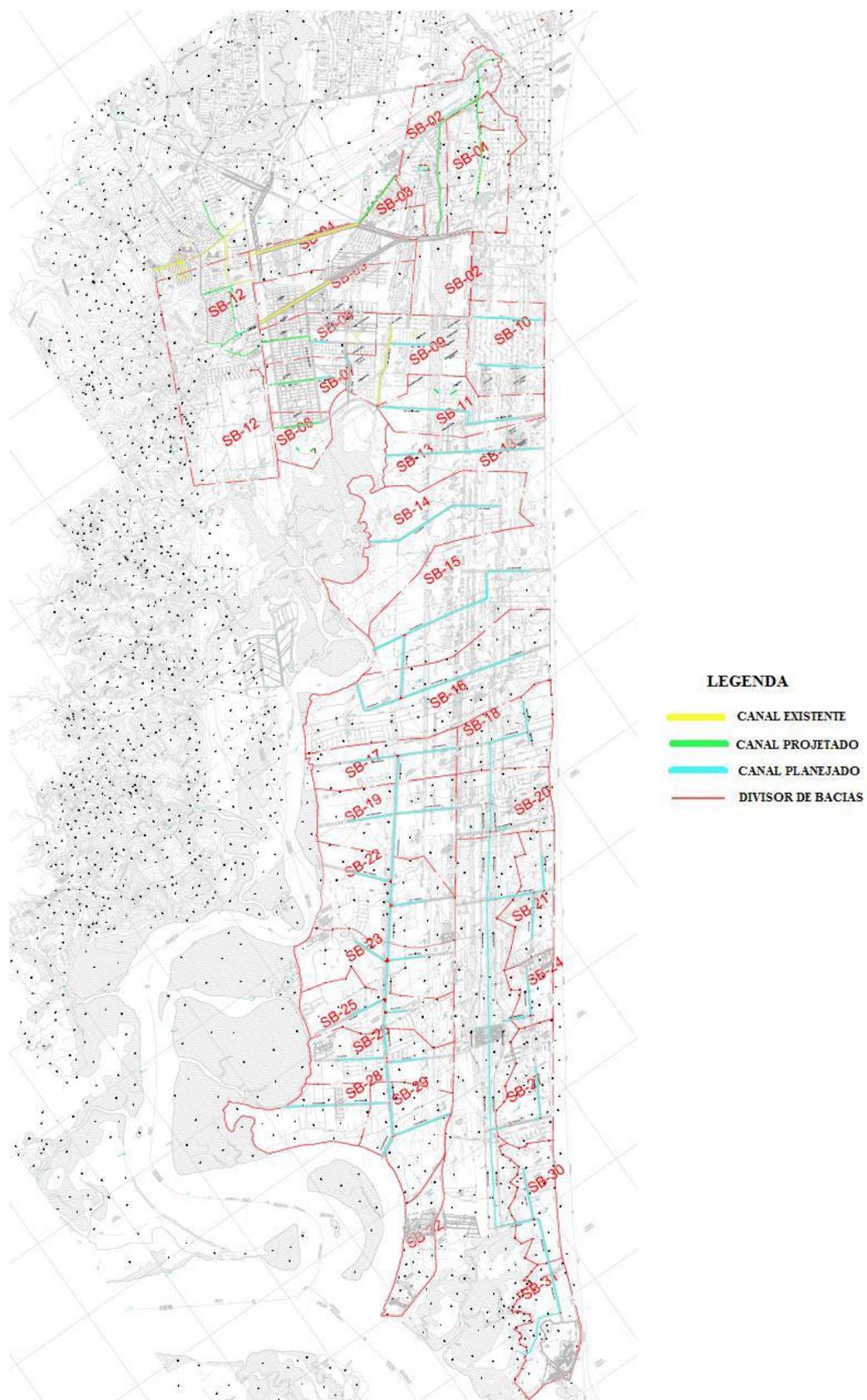
França e Rezende (2010), explicam que a ocupação urbana na Zona de Expansão ocorreu por alguns motivos. O primeiro devido à localização da área, por ser próxima à praia houve significativa ascensão no interesse imobiliário da área. Outro motivo foi o interesse do governo por tal área, fazendo com que investimentos e políticas públicas fossem adotados, com incentivo a projetos de habitação popular e ao mercado imobiliário. Outro motivo foi a ampliação da infraestrutura da área, tornando-a mais convidativa para novos moradores.

Ainda é mostrado pelas autoras que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2000 a população residente da Zona de Expansão era de 9.377, passando para 18.544 em 2007, havendo um aumento de 97,76% da população em apenas 7 anos (FRANÇA E REZENDE, 2010).

Na Figura 7 é apresentada a localização da sub-bacia SB-10 em Aracaju. Na figura 8 é apresentada uma foto aérea da sub-bacia SB-10.

A bacia SB-10 apresenta uma área de 1,02 km². É ocupada basicamente por núcleos habitacionais implantados com sistemas de drenagem individualizados e a falta de um sistema de drenagem urbana gera sérios problemas de alagamento durante o inverno. É caracterizada como plana, com baixas declividades, ocorrendo a alternância de pequenas elevações e depressões, onde se observa a formação de lagoas durante o período chuvoso. O lençol freático desta região é bastante raso, o que complica a utilização de bacias de retenção.

Figura 7 - Mapa com a divisão das sub-bacias da Zona de Expansão.



Fonte: Acervo pessoal (2015).

Figura 8 - Limites da sub-bacia deste estudo.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2016).

4. Metodologia

4.1 Cenários

Para realizar o estudo de dimensionamento dos reservatórios de detenção, os seguintes cenários foram analisados:

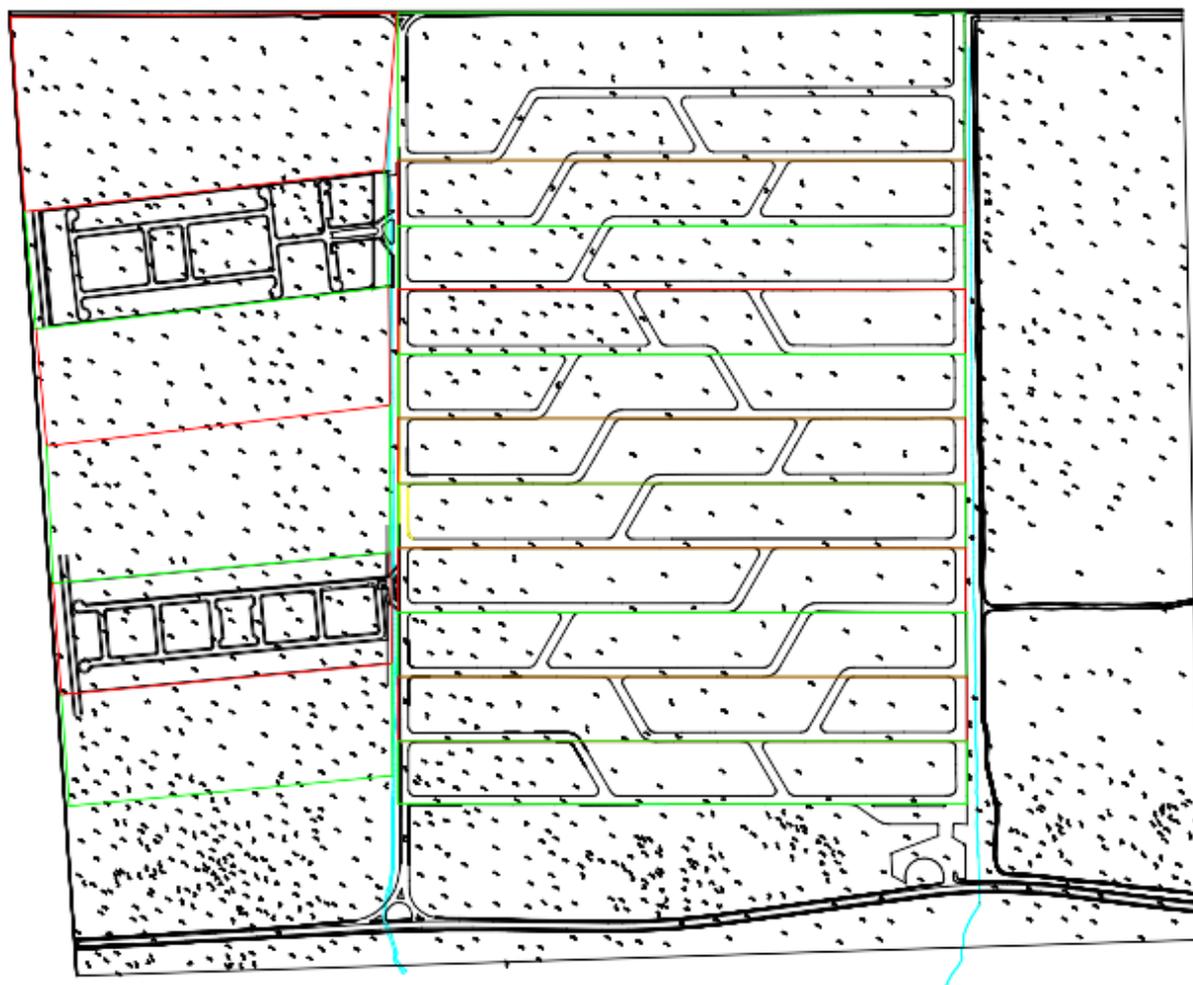
- Situação atual de urbanização: urbanização moderada com área impermeabilizada inferior a 68%, existência de várzeas, áreas verdes e lotes de condomínios de casas em fase de construção.
- Situação futura de urbanização: alta urbanização da área estudada com uma área de impermeabilização proposta em 95%.

4.2 Identificação das bacias de contribuição

4.2.1 Topografia

Para definição das características topográficas da área de estudo, foi utilizado um arquivo em “dwg”, obtido a partir de restituição estereofotogramétrica executada em escala de 1:5000, contendo sistema viário, hidrografia, curvas de nível com equidistância de 2 metros e pontos cotados altimétricos como pode ser observado na Figura 9. A partir dos dados topográficos, foram traçadas as sub-bacias e analisadas suas respectivas declividades.

Figura 9 – Planta topográfica da sub-bacia em estudo.



Fonte: Acervo pessoal (2015).

4.2.2 Uso e ocupação do solo

Para quantificar como se distribui a ocupação do solo da área de estudo, de modo a possibilitar a obtenção do grau de urbanização da bacia e dos coeficientes necessários para estimar a parcela da precipitação que esco superficialmente, foi utilizada uma imagem obtida através do software Google Earth, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Foto de satélite da área do estudo.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2016).

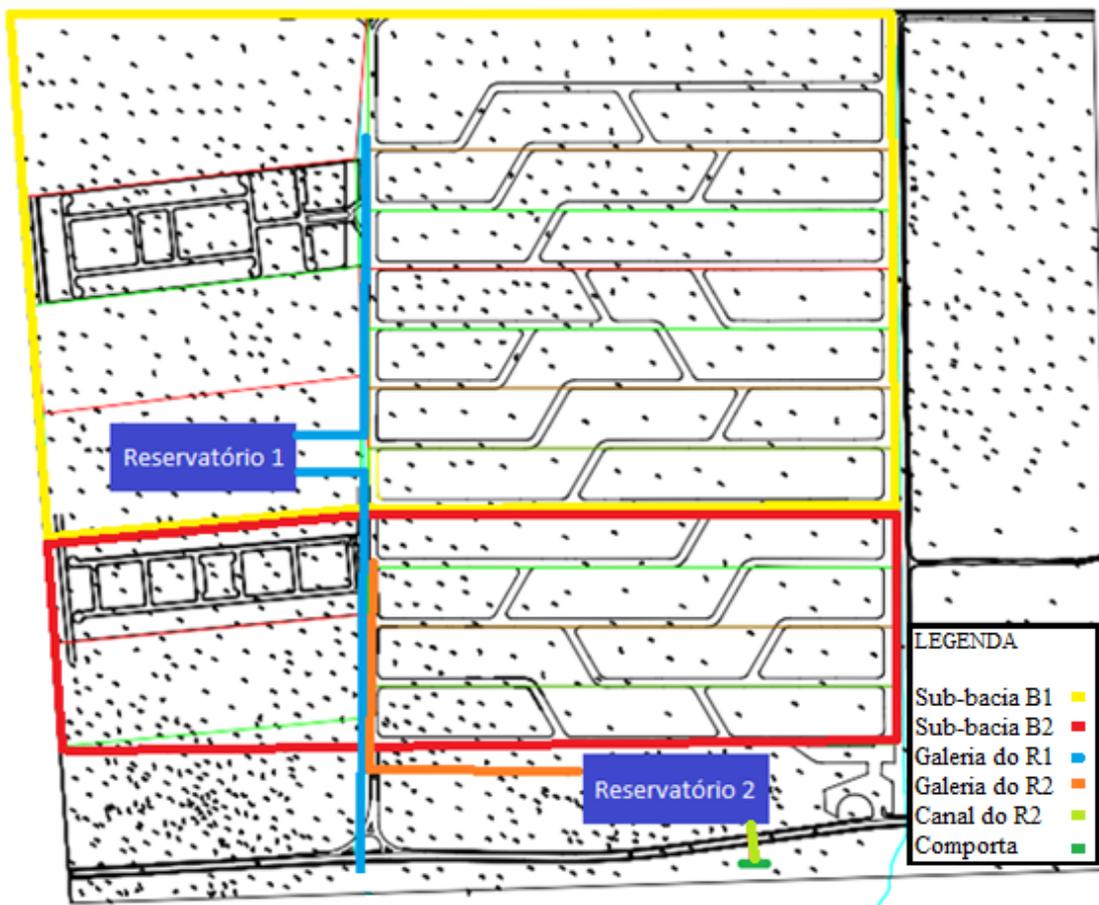
4.2.3 Divisão da sub-bacia e localização dos reservatórios de detenção

Neste trabalho, a sub-bacia SB-10 foi dividida em 2 sub-bacias com o objetivo de distribuir o volume de escoamento superficial direto em dois reservatórios. A sub-bacia B1 está delimitada em amarelo e a sub-bacia B2 está delimitada em vermelho, como mostra a figura 11.

Para a escolha do tipo de reservatório, foi levada em consideração a profundidade do lençol freático da região. Pelo fato da região apresentar lençol freático muito raso, seria inviável a implantação de reservatórios de retenção, pois a capacidade de armazenamento de água seria pouco significativa. Uma alternativa seria o rebaixamento do lençol freático, porém este tipo de obra tem expressivo custo, além de causar efeitos negativos como o rompimento de tubulações de água, esgoto e de águas pluviais, aparecimento de rachaduras nas paredes das casas e a morte da vegetação existente nas proximidades do rebaixamento.

Portanto, foi proposto neste trabalho a implantação de 2 reservatórios de detenção. O primeiro está localizado próximo à Rodovia dos Náufragos e o segundo está localizado vizinho a Avenida Santos Dumont, como observa-se na Figura 11.

Figura 11 – Indicação da divisão da sub-bacia e seus componentes.



Fonte: Acervo pessoal (2015).

4.3 Dados hidrológicos

4.3.1 Equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF)

Para determinar a intensidade de chuva de projeto, foi utilizada a equação IDF de Aracaju determinada por Aragão et al (2013) na equação 1.

$$i = \frac{20,848.Tr^{0,188}}{(t+10,52)^{0,753}} \quad (1)$$

onde i é a intensidade da chuva de projeto (mm/hora); Tr é o período de retorno (anos); e t é o tempo de duração do evento chuvoso (min).

4.3.2 Declividade e Tempo de concentração

O tempo de concentração é um parâmetro bastante complexo de ser obtido devido as inúmeras variáveis envolvidas. Silveira (2005) recomenda o uso da fórmula de tempo de concentração de Kirpich, porém a declividade da área não era um dado disponível e nem fácil de ser determinado.

Com isso, foi utilizado o software Análise de Ondas de Cheias para Bacias Complexas (ABC6), desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos (LabSid), o qual faz parte do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Com ele, foi determinado não só a declividade, como também a diferença de cotas e intensidade de chuvas, que serviu para comparar os valores encontrados por outros métodos destes mesmos coeficientes.

No presente trabalho, a determinação do tempo de concentração foi calculada pela equação Califórnia Culverts Practice (equação 2):

$$Tc = 57 \cdot L^{1,155} \cdot H^{-0,385} \quad (2)$$

onde Tc é o tempo de concentração (min); L é o comprimento do talvegue (km); e H é a diferença de cotas entre a saída da bacia e o ponto mais alto do talvegue (m).

4.3.3 Coeficiente de escoamento superficial

Neste presente trabalho, os métodos de pré-dimensionamento de reservatório de retenção tiveram o uso do método Racional na determinação dos hidrogramas afluente e efluente. A área da bacia deste trabalho é menor que 2 km², tornando o uso do método Racional totalmente aplicável. Logo, o valor do coeficiente de escoamento superficial

da bacia foi determinado a partir da média ponderada dos coeficientes das áreas parciais, os quais se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficiente de escoamento superficial (runoff) – “C”.

<i>Tipologia da área de drenagem</i>	<i>Coeficiente de escoamento superficial</i>
Áreas Comerciais	0,70 – 0,95
áreas centrais	0,70 – 0,95
áreas de bairros	0,50 – 0,70
Áreas Residenciais	
residenciais isoladas	0,35 – 0,50
unidades múltiplas, separadas	0,40 – 0,60
unidades múltiplas, conjugadas	0,60 – 0,75
áreas com lotes de 2.000 m ² ou maiores	0,30 – 0,45
áreas suburbanas	0,25 – 0,40
áreas com prédios de apartamentos	0,50 – 0,70
Áreas Industriais	
área com ocupação esparsa	0,50 – 0,80
área com ocupação densa	0,60 – 0,90
Superfícies	
Asfalto	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Blocket	0,70 – 0,89
Paralelepípedo	0,58 - 0,81
Telhado	0,75 – 0,95
solo compactado	0,59 - 0,79
Áreas sem melhoramentos ou naturais	
solo arenoso, declividade baixa < 2 %	0,05 – 0,10
solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,10 – 0,15
solo arenoso, declividade alta > 7 %	0,15 – 0,20

Fonte: Rio de Janeiro (2010).

Como foi proposto anteriormente, a fase de pós-urbanização terá uma taxa de 95% de impermeabilização. A conversão dessa taxa em coeficiente de escoamento superficial foi determinada pela fórmula de Schueler, equação 3.

$$C = 0,05 + 0,009 \cdot AI \quad (3)$$

onde AI é a porcentagem de área impermeabilizada.

4.4 Métodos de dimensionamento preliminar de reservatório de detenção

4.4.1 Método Racional

Dentre os métodos existentes, o método Racional (equação 4) é o mais simples e fácil de ser aplicado. Sua fórmula leva em consideração o conceito de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

$$V = 0,5 \cdot (Q_{pós} - Q_{pré}) \cdot tb \quad (4)$$

onde V é o volume de acumulação (m³); Q_{pós} é a vazão de pico no pós-desenvolvimento (m³/s); e Q_{pré} é a vazão de pico no pré-desenvolvimento (m³/s); tb é dado como 3 vezes o tempo de concentração (TOMAZ, 2010b).

4.4.2 Método de Silveira e Goldenfum

Este método utiliza a expressão de Talbot para a IDF. A expressão de Talbot para IDF não é muito comum no Brasil, onde predomina a equação potencial. Assim, foi desenvolvida a conversão da IDF potencial, apresentada na Equação 1, para a IDF do tipo Talbot através das equações a seguir:

- $a = 0,68 \cdot k \cdot \exp(0,06 \cdot n^{-0,26} \cdot d^{1,13})$;
- $b = m$;
- $c = 1,32 \cdot n^{-2,28} \cdot d^{0,89}$.

onde os parâmetros k , n , d e m são encontrados na IDF de Aragão et al. (2013), apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Conversão dos coeficientes para a IDF do tipo Talbot.

IDF Aragão et al. (2013)	
K	20,848
n	0,188
Do	10,52
m	0,753
Talbot	
a	35,6696223
b	0,188
c	20,46799932

Após a conversão para a IDF do tipo Talbot, os cálculos foram realizados pela equação 5:

$$V = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{C} \cdot T^{\frac{b}{2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{qs} \right)^2 \quad (5)$$

onde V é o volume de acumulação (mm); C é o coeficiente de escoamento; T é o período de retorno (anos); qs é a vazão de saída (mm/h) e a , b , c são os parâmetros para uma expressão do tipo Talbot, apresentados na Tabela 2.

4.4.3 Método de Urbonas e Glidden

Inicialmente, este método foi criado para determinar volumes de detenção na cidade de Denver (Colorado, EUA). Porém, suas relações podem ser utilizadas em outras regiões se for feita a correção do total precipitado.

As relações encontradas por Urbonas e Glidden para $TR = 10$ anos são apresentadas pelas equações 6 e 7:

- Vazão efluente máxima

$$Q = 1,68.A \quad (6)$$

- Volume de detenção

$$V = 304,8.A.(0,95.I - 1,90) \quad (7)$$

onde V é o volume de detenção (m³); A é a área de drenagem (km²); Q é a vazão (m³/s) e I é a área impermeabilizada da bacia (%).

4.4.4 Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre

Método simples realizado pela Prefeitura de Porto Alegre para estimar volumes de bacias de detenção. Por este método, a estimativa pode ser feita em função da área total da bacia contribuinte ou em função da área impermeável da bacia contribuinte, baseadas nas equações 8 e 9:

$$V = 0,02.A \quad (8)$$

$$V = 0,04.Ai \quad (9)$$

Através do Decreto Municipal 15.371 de 17 de novembro de 2006 foram estabelecidos critérios para o cálculo do volume de amortecimento e vazão máxima de saída para lotes com áreas inferiores a 100 ha. O volume é calculado pela equação 10:

$$V = 0,0425.Ai \quad (10)$$

onde V é o volume a ser armazenado (m³); A é a área da bacia contribuinte (m²) e Ai é a área impermeável da bacia contribuinte (m²).

Após os cálculos dos três volumes, o menor volume encontrado pode ser adotado.

4.4.5 Método de Baker

É um método que se baseia na premissa de que o instante de vazão máxima efluente do hidrograma amortecido ocorre no cruzamento com o hidrograma de entrada, conforme descreve a fórmula 11:

$$V = V_{pós} \cdot \left(1 - \frac{Q_{pré}}{Q_{pós}}\right) \quad (11)$$

onde V é o volume de detenção (m^3); $V_{pós}$ é o volume do escoamento no pós-desenvolvimento (m^3); $Q_{pós}$ é a vazão de pico no pós-desenvolvimento (m^3/s) e $Q_{pré}$ é a vazão de pico no pré-desenvolvimento (m^3/s).

4.4.6 Método de Wycoff e Singh

É um método simplificado para o pré-dimensionamento de pequenas bacias de detenção. A expressão 12 foi desenvolvida pela análise de regressão, com dados obtidos de estudos de modelagem hidrológica. A equação para a determinação do volume de detenção é:

$$V = 0,97 \cdot V_{pós} \cdot \left(1 - \frac{Q_{pré}}{Q_{pós}}\right)^{0,753} \quad (12)$$

onde V é o volume de detenção (m^3); $V_{pós}$ é o volume do escoamento no pós-desenvolvimento (m^3); $Q_{pós}$ é a vazão de pico no pós-desenvolvimento (m^3/s) e $Q_{pré}$ é a vazão de pico no pré-desenvolvimento (m^3/s).

4.4.7 Método de ABT e GRIGG

Método utilizado para uma verificação inicial e preliminar para dimensionamento de reservatório de detenção. Este método utiliza o método Racional com hidrograma triangular para a entrada e saída, por meio da equação 13:

$$V = V_{pós} \cdot \left(1 - \frac{Q_{pré}}{Q_{pós}}\right)^2 \quad (13)$$

onde V é o volume de detenção (m^3); $V_{pós}$ é o volume do escoamento no pós-desenvolvimento (m^3); $Q_{pós}$ é a vazão de pico no pós-desenvolvimento (m^3/s) e $Q_{pré}$ é a vazão de pico no pré-desenvolvimento (m^3/s).

4.5 Pré-dimensionamento da estrutura de saída do reservatório

Para a estrutura de saída do reservatório, foi escolhido o vertedor retangular de soleira delgada. A equação escolhida depende de um coeficiente de vazão C_d , que incorpora os efeitos da viscosidade, tensão superficial, rugosidade da placa e do padrão de escoamento a montante (PORTO, 2006).

A equação 14 representa a vazão que passará no vertedor retangular de soleira delgada:

$$Q = 1,55 \cdot C_d \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot H^{1,5} \quad (14)$$

onde Q é a vazão máxima (m^3/s); C_d é o coeficiente de vazão; g é a aceleração da gravidade (m/s^2); L é o comprimento da soleira (m) e H é a carga hidráulica sobre a soleira (m).

O cálculo do coeficiente de vazão foi feito pela equação de Bazin, como mostra a expressão 15 (Porto, 2006):

$$C_d = \left(0,6075 + \frac{0,0045}{h}\right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+P}\right)^2\right] \quad (15)$$

sujeito a: $0,008 < h < 0,50$ m, $0,20 < P < 2,0$ m.

onde h é a carga hidráulica sobre a soleira (m) e P é a altura do vertedor até a soleira (m).

5. Resultados e Discussões

5.1 Método Racional

Para as situações de urbanização atual e de pós-desenvolvimento da área de estudo, foram obtidos os volumes de detenção para 10 anos de tempo de retorno e com duração de chuva igual ao tempo de concentração, conforme se observa na Tabela 3 e 4.

- Situação atual de urbanização

Tabela 3 – Resultados para o período de atual urbanização pelo Método Racional.

Parâmetros	Sub-Bacia	
	B1	B2
Coeficiente de escoamento superficial "C"	0,48	0,66
Tempo de concentração (min)	52,89	39,01
Intensidade de chuva (mm/h)	84,76	102,09
Vazão de projeto (m ³ /s)	7,97	5,83
Volume de detenção (m ³)	25293,23	13655,24

- Situação de pós-desenvolvimento

Tabela 4 – Resultados para o período de pós-desenvolvimento pelo Método Racional.

Parâmetros	Sub-Bacia	
	B1	B2
Coeficiente de escoamento superficial "C"	0,91	0,91
Vazão de projeto (m ³ /s)	15,15	7,98
Volume de detenção (m ³)	48073,87	18677,82

Os volumes de detenção encontrados para a situação de pós-urbanização tiveram aumento significativo se comparado com os volumes de detenção para a situação atual de urbanização. A sub-bacia B1 teve um aumento de aproximadamente 90%, enquanto a

sub-bacia B2 teve um aumento de 37%. Este aumento ocorreu devido a previsão de grande urbanização da área de estudo, adotando-se 95% de área impermeabilizada. Mesmo com um grande volume de detenção de 48073,87 m³, a área necessária para a construção do reservatório é menor que a área disponibilizada para a construção na bacia B1.

5.2 Método de Silveira e Goldenfum

Para as situações de urbanização atual e de pós-desenvolvimento da área de estudo, foram obtidos os seguintes volumes de detenção, apresentados nas Tabelas 5 e 6.

- Situação de atual urbanização

Tabela 5 – Resultados para o período de atual urbanização pelo Método de Silveira e Goldenfum.

Parâmetros	Sub-Bacia	
	B1	B2
Vazão de projeto (mm/h)	40,39	67,60
Volume de detenção (m ³)	5975,70	5029,93

- Situação de pós-desenvolvimento

Tabela 6 – Resultados para o período de pós-desenvolvimento pelo Método de Silveira e Goldenfum.

Parâmetros	Sub-Bacia	
	B1	B2
Vazão de projeto (mm/h)	76,77	92,47
Volume de detenção (m ³)	11357,79	6880,00

Os volumes de detenção encontrados estão coerentes em relação às situações de urbanização. Neste método, o parâmetro que influenciou no aumento do volume de detenção da fase de pós-urbanização foi o coeficiente de escoamento “C”, que está diretamente ligado ao parâmetro de área impermeabilizada. Na fase de pré-desenvolvimento os coeficientes de escoamento foram de 0,476 para a sub-bacia B1 e de 0,661 para a sub-bacia B2. Na situação de pós-desenvolvimento, o coeficiente foi de 0,905 para as 2 sub-bacias.

5.3 Método de Urbonas e Glidden

Para as situações de urbanização atual e de pós-desenvolvimento da área de estudo, foram obtidos os volumes de detenção com as devidas correções para a cidade de Aracaju, como mostra as Tabelas 7 e 8.

- Situação de atual urbanização

Tabela 7 – Resultados para o período de atual urbanização pelo Método de Urbonas e Glidden.

Parâmetros	Sub-Bacia	
	B1	B2
Vazão de projeto (m ³ /s)	1,25	0,55
Volume de detenção (m ³)	9767,10	6213,08

- Situação de pós-desenvolvimento

Tabela 8 – Resultados para o período de pós-urbanização pelo Método de Urbonas e Glidden.

Parâmetros	Sub-Bacia	
	B1	B2
Vazão de projeto (m ³ /s)	1,25	0,55
Volume de detenção (m ³)	13458,17	8760,11

Os resultados dos volumes de retenção encontrados estão coerentes em relação às fases de urbanização, porém não houve variação da vazão de projeto devido à fórmula ser função apenas da variável área de drenagem. Os resultados encontrados tanto para a vazão quanto para o volume de retenção foram corrigidos devido à diferença de precipitação entre a cidade de Aracaju e a cidade de Denver. A precipitação em Aracaju é 4,7% maior que a cidade de Denver e, por isso, foram feitas as correções dos valores com a multiplicação do fator $K_{10} = 1,047$.

5.4 Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre

Para as situações de urbanização atual e de pós-desenvolvimento da área de estudo, foram obtidos os volumes de retenção, determinando o menor volume como o volume para o projeto do reservatório, conforme se observa nas Tabelas 9 e 10.

- Situação de atual urbanização

Tabela 9 – Resultados para o período de atual urbanização pelo Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre.

Parâmetros	Sub-Bacia	
	B1	B2
Volume 1 (m ³)	14208,00	6214,00
Volume 2 (m ³)	13454,98	8446,07
Volume 3 (m ³)	14295,91	8973,95
Volume de retenção (m ³)	13454,98	6214,00

- Situação de pós-desenvolvimento

Tabela 10 – Resultados para o período de pós-desenvolvimento pelo Método do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre.

Parâmetros	Sub-Bacia	
	B1	B2
Volume 1 (m ³)	14208,00	6214,00
Volume 2 (m ³)	26995,20	11806,60
Volume 3 (m ³)	28682,40	12544,51
Volume de detenção (m ³)	14208,00	6214,00

Este método é indicado para um dimensionamento preliminar de reservatório de detenção. O cálculo do volume 1 não apresentou variação em relação às fases de urbanização porque somente a área de drenagem é parâmetro na equação do cálculo do volume. Os volumes 2 e 3 estão coerentes em relação as situações de urbanização, sendo a área impermeabilizada responsável pelo grande aumento do volume de detenção na fase de pós-desenvolvimento.

5.5 Métodos de Baker, Wycoff e Singh e ABT e GRIGG

Para as situações de urbanização atual e de pós-desenvolvimento da área de estudo, foram obtidos os volumes de detenção observados na Tabela 11 para os métodos de Baker, Wycoff e Singh e ABT e GRIGG.

Tabela 11 – Resultados do dimensionamento preliminar pelos métodos de Baker, Wycoff e Singh e ABT e GRIGG.

Sub-Bacia	Volume de detenção (m ³)		
	Baker	Wycoff e Singh	ABT e GRIGG
B1	44900,53	44294,38	41936,66
B2	16337,42	16380,10	14290,29

Estes 3 métodos de pré-dimensionamento de reservatório de detenção utilizam as vazões de pré-desenvolvimento e de pós-desenvolvimento, por este motivo, não foi determinado volumes para a fase de pré-urbanização. Todos os métodos tiveram seus valores coerentes e, por serem métodos parecidos, a variação do volume de detenção não foi expressiva. Além disso, Tomaz (2010b) faz uma comparação destes 3 métodos e ele chega a valores parecidos com os valores encontrados neste trabalho. Assim como este trabalho, Tomaz (2010b) encontrou os maiores volumes utilizando o método de Wycoff e Singh; os menores volumes utilizando o método de ABT e GRIGG e valores intermediários com o método de Baker.

5.6 Comparação dos Métodos para a fase de pós-urbanização

A escolha do método a ser utilizado no dimensionamento dos reservatórios de detenção foi feita a partir da análise comparativa de todos os métodos estudados nesse estudo, conforme se observa na Tabela 12.

Tabela 12 – Comparação de todos dos métodos para a fase de pós-urbanização.

Métodos	Sub-Bacia	
	Volume de detenção (m ³)	
	B1	B2
Racional	48073,87	18677,82
Silveira e Goldenfum	11357,79	6880,00
Urbonas e Glidden	13458,17	8760,11
Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre	14208,00	6214,00
Baker	44900,53	16337,42
Wycoff e Singh	44294,38	16380,10
ABT e GRIGG	41936,66	14290,29

Com base na Tabela 12, pode-se verificar que os resultados encontrados nos métodos Racional, Baker, Wycoff e Singh e ABT e GRIGG possuem valores semelhantes (48043,87 m³, 44900,53 m³, 44294,38 m³ e 41936,66 m³, respectivamente). Os valores encontrados para os métodos de Silveira e Goldenfum, Urbonas e Glidden e do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre também se assemelham (11357,79 m³, 13458,17 m³ e 14208,00 m³, respectivamente), porém possuem valores bem inferiores em comparação com os outros métodos. Essa diferença se deve à simplicidade dos métodos de Urbonas e Glidden e do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre, que utilizam apenas as áreas de drenagem e as áreas impermeabilizadas como variáveis e não avaliam as vazões de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento, nem o tempo de concentração.

Mesmo com essa diferença de valores, todos os métodos aqui estudados estão coerentes com a literatura, porém os métodos Racional, Baker, Wycoff e Singh e ABT e GRIGG apresentam uma maior confiabilidade e aplicação no dimensionamento preliminar de reservatórios de detenção.

No Brasil, não existe nenhum método que seja recomendado para o uso do dimensionamento preliminar de reservatórios de detenção, porém dentre os métodos apresentados, o método Racional se destaca e foi o escolhido para o pré-dimensionamento devido ao tamanho e simplicidade da bacia estudada.

5.7 Dimensões dos reservatórios e das estruturas de saída

Com relação à disponibilidade de área para a construção dos reservatórios, tanto a área disponibilizada para o reservatório da sub-bacia B1 (0,052 km²) quanto a área disponibilizada para o reservatório da sub-bacia B2 (0,057 km²) são suficientes para a implantação dos reservatórios com uma profundidade de 1,2 m. As dimensões dos reservatórios são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Dimensões dos reservatórios de detenção projetados pelo método Racional.

Dimensões	Reservatórios	
	R1	R2
Área disponível (km ²)	0,052	0,057
Área do reservatório (km ²)	0,040	0,015
Profundidade (m)	1,20	1,20

Já que os reservatórios serão cobertos, toda a área disponível poderá ser aproveitada para a implantação de áreas de recreação como quadras de esportes, praças e parques, além de possibilitar a manutenção de áreas verdes.

O vertedor retangular de soleira delgada foi projetado a partir da profundidade dos reservatórios e da vazão máxima de saída, que foi adotada em 1 m³/s. Esta vazão de saída foi adotada com base na área estudada neste trabalho, que é caracterizada como uma região plana e com insignificativas variações de declividade, o que poderia ocasionar inundações e alagamentos em períodos críticos de chuva, caso fossem adotadas vazões de saída mais altas. As dimensões do vertedor retangular, bem como outras variáveis vinculadas ao vertedor, estão listadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Dimensões do vertedor retangular de soleira delgada.

Dimensões	Vertedor retangular de soleira delgada
Coeficiente de vazão	0,64
Vazão de saída (m ³ /s)	1,00
Carga hidráulica sobre a soleira (m)	0,25
Altura do vertedor até a soleira (m)	1,00
Comprimento da soleira (m)	1,82

Para a verificação da vazão, foi utilizada a fórmula de Manning, conforme se observa na equação 16:

$$Q = \frac{K.S^{0,5}.D^{2,67}}{n} \quad (16)$$

onde Q é a vazão de saída (m³/s), K é o coeficiente de Metcalf & Eddy, S é a declividade (m/m), D é o diâmetro da tubulação (m) e n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

Para a verificação da vazão de saída foram medidos o diâmetro da tubulação de águas pluviais existente e a declividade da bacia. Para obter o valor do coeficiente de Metcalf & Eddy “K” foram utilizados os valores de y/D (80%) e da declividade (0,00049 m/m), sendo determinado na Tabela 15. O coeficiente de rugosidade de Manning para o concreto é de 0,016, conforme pode-se observar na Tabela 16.

Tabela 15 –Valores para o coeficiente Metcalf & Eddy “K”.

$\frac{d^b}{D}$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.000047	0.00021	0.00050	0.00093	0.00150	0.00221	0.00306	0.00407	0.00521
0.1	0.00651	0.00795	0.00953	0.0113	0.0131	0.0152	0.0173	0.0196	0.0220	0.0246
0.2	0.0273	0.0301	0.0331	0.0362	0.0394	0.0427	0.0461	0.0497	0.0534	0.0572
0.3	0.0610	0.0650	0.0691	0.0733	0.0776	0.0820	0.0864	0.0910	0.0956	0.1003
0.4	0.1050	0.1099	0.1148	0.1197	0.1248	0.1298	0.1349	0.1401	0.1453	0.1506
0.5	0.156	0.161	0.166	0.172	0.177	0.183	0.188	0.193	0.199	0.204
0.6	0.209	0.215	0.220	0.225	0.231	0.236	0.241	0.246	0.251	0.256
0.7	0.261	0.266	0.271	0.275	0.280	0.284	0.289	0.293	0.297	0.301
0.8	0.305	0.308	0.312	0.315	0.318	0.321	0.324	0.326	0.329	0.331
0.9	0.332	0.334	0.335	0.335	0.335	0.335	0.334	0.332	0.329	0.325
1.0	0.312									

Fonte: Tomaz (2013).

Tabela 16 – Dimensionamento hidráulico para verificação da vazão de saída.

Parâmetros	Dimensionamento hidráulico
Coefficiente de Metcalf & Eddy "K"	0,305
Declividade (m/m)	0,00049
Diâmetro (m)	1,4
Coefficiente de rugosidade de Manning "n"	0,016
Vazão de saída calculada (m ³ /s)	1,035

Os vertedores foram projetos como medida de segurança, com a função de descarregar o excesso de água do reservatório em casos de chuvas torrenciais. Pela proximidade do mar, a descarga de água dos reservatórios R1 e R2 será através de canal com comporta, que será controlada com base no movimento das marés. Quando a maré estiver enchendo, a comporta do reservatório estará fechada, armazenando a água. A comporta será aberta quando a maré estiver baixando, o que fará com que a água do reservatório seja descarregada para o mar.

6. Conclusão

De fato, a implantação de reservatórios de retenção para o controle das enchentes na sub-bacia SB-10 na Zona de Expansão de Aracaju mostra-se recomendável. A sua aplicação é bastante indicada por ser uma região caracterizada por terrenos ociosos, visto que há disponibilidade de área para a sua implantação, além de propiciar a criação de áreas verdes e de lazer, aumentando a qualidade de vida da região. No entanto, a implantação de reservatórios deve ser integrada com áreas de recreação, quadras de esportes, áreas verdes, ou seja, outros usos além do controle das enchentes para convencer a população de que a construção é melhoria adequada.

O objetivo deste trabalho foi dimensionar reservatórios de retenção para uma região da Zona de Expansão de Aracaju. Dos 7 métodos utilizados, verificou-se 2 grupos de métodos com valores semelhantes. No primeiro grupo, os métodos de Silveira e Goldenfum, Urbonas e Glidden e do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre resultaram nos menores volumes de retenção. Já os métodos do segundo grupo, os métodos Racional, Baker, Wycoff e Singh e ABT e GRIGG resultaram nos maiores volumes de retenção, quase 3 vezes maiores que os volumes dos métodos do primeiro grupo.

Essa diferença foi justificada pelo uso de parâmetros de cada método. Os métodos que utilizam somente as áreas de drenagem e de impermeabilização resultam em valores pouco confiáveis devido à falta de parâmetros importantes no seu dimensionamento. Foi verificado que métodos que utilizam parâmetros como o tempo de concentração e vazão de máxima saída apresentam valores mais confiáveis e que condizem com dados encontrados na literatura.

Para o dimensionamento dos reservatórios deste trabalho foi escolhido o Método Racional, uma vez que resultou em valores satisfatórios dentre os métodos estudados. Foi verificado também que as áreas destinadas para a construção dos reservatórios são suficientes para a implantação dos mesmos. A vazão de saída de 1 m³/s, apesar de ter aumentado o volume de retenção no dimensionamento, garantiu maior segurança para eventuais casos de chuvas intensas.

Por fim, é importante lembrar que as medidas sustentáveis e as não-estruturais podem contribuir consideravelmente na prevenção das inundações urbanas, além de evitar a impermeabilização do solo e preservar as áreas verdes. O incentivo do Poder Público para o uso dessas práticas geraria menos despesas aos cofres públicos, pois o amortecimento do escoamento superficial causado por tais medidas demandaria menos estruturas de drenagem.

Referências

- AGENDA SOROCABA. Parque do Campolim. Disponível em: <http://agendasorocaba.com.br/parque-campolim/>. Acesso em: 10 set. 2016.
- ARAGÃO, R. de; SANTANA, G. R. de; COSTA, C. E. F. F. da; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E. de; SRINIVASAN, V. S. **Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, AL, v. 17, n. 3, p. 243-252, 2013.
- AZZOUT, Y. Barraud, S; Crês, F. N. e Alfakih, E. (1994). **Techniques Alternatives em Assainissement Pluvial: Choix, Conception, Réalisation et Entretien**. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris, França. 372p.
- BAPTISTA, M. B; NASCIMENTO e N; BARRAUD, S.. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Portal da Legislação**, Brasília, jan. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 5 out. 2016.
- CANHOLI, Aluisio P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Ed. Oficina de textos, 2005.
- CASTRO, L. M. A. **Proposição de indicadores para avaliação de sistemas de drenagem urbana**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 118p, 2002.
- FRANÇA, Sarah Lúcia Alves; REZENDE, Vera F. **Conflitos Ambientais e Ocupação da Zona de Expansão Urbana de Aracaju: Distanciamento de uma Prática Sustentável**. In: V Encontro Nacional da Anppas (Anais). Florianópolis: 2010.
- GOLDENFUM, J. A., SILVEIRA. A. L. L., **Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte**, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, v. 2, n. 2, p. 157-168, 2007.
- GOOGLE MAPS. **Foto de satélite da área do estudo**. 2016. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Aracaju,+SE/@-11.0157398,-37.0753736,4071a,20y,306.24h/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x71ab04015be27cd:0x804434fd92ec3b36!8m2!3d-10.9472468!4d-37.0730823>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- GOOGLE MAPS. **Limites da sub-bacia deste estudo**. 2016. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Aracaju,+SE/@-11.0134201,-37.0783442,2872m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x71ab04015be27cd:0x804434fd92ec3b36!8m2!3d-10.9472468!4d-37.0730823>. Acesso em: 15 jun. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=280030>. Acesso em: 10 set. 2016.

LEOPOLD, L. B., 1968, **Hydrology for Urban Land Planning – A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use**, U.S. Geological Survey Circular 544, United States Department of Interior, Washington, 18p.

MARTINS, L. R. **Viabilidade Técnica da Construção de Banhados no Espaço Urbano para Controle Quali-quantitativo do escoamento Pluvial**. 2015. 110 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ONU. Organização das Nações Unidas. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Urbanization Prospects, the 2011 Revision: Highlights**. New York, 2012. Disponível em: <http://esa.un.org/unup/Documentation/highlights.htm>. Acesso em: 21 jan. 2016.

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, v. 5, n. 1, 2000.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. São Carlos: Ed. EESC USP, 2006.

RHINO PISOS. Produtos. Disponível em: http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/3/rhino-verde_piso_grama_concregrama_pavimento_ecologico_permeavel_drenante_concreto. Acesso em: 15 set. 2016.

RIO DE JANEIRO. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. **Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana**. Manual de Instruções Técnicas Rio-Águas. Rio de Janeiro, RJ. 2010. 56p. Disponível em: www.rio.rj.gov.br/dlstatic/.../InstrucoesTecnicasProjetosdeDrenagem1.versao.doc. Acesso em: fev. 2016.

SILVA, M. K. **Modelo para Pré-Dimensionamento de Bacias de Detenção para Controle da Poluição Difusa das Águas Pluviais no Município de Porto Alegre**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2009.

SILVEIRA, A. L. L., **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005.

TOMAZ, P. **Reservatório de retenção**. Curso de Manejo de águas pluviais. 2016. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_poluicao_difusa/capitulo062.pdf. Acesso em: 10 jun. 2016.

TOMAZ, P. **Dimensionamento preliminar de reservatório de retenção**. Curso de Manejo de águas pluviais. 2010b. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_reservatorios/capitulo10.pdf. Acesso em: 10 jun. 2016.

TOMAZ, P. **Microdrenagem**. Curso de Manejo de águas pluviais. 2013. Disponível em:

http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo05Microdrenagem.pdf. Acesso em: 10 set. 2016.

TOMAZ, P. **Reservatório de detenção estendido**. Curso de Manejo de águas pluviais. 2010a. Disponível em:

http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_reservatorios/capitulo47.pdf. Acesso em: 10 jun. 2016.

TORONTO AND REGION CONSERVATION. **Water Budget Discussion Paper**.

Gartner Lee Ltd, Toronto, 37p. Disponível em: <http://www.sustainabletechnologies.ca/wp/>. Acesso em: 1 out. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. 4.ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana**. Ciência e Cultura, São Paulo, vol.55, no.4, 2003.

TUCCI, C. E. M; PORTO, R. L. e BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.