



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GEAN CARLOS DE SOUSA

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE RETENÇÃO NA FONTE COMO FORMA DE
REDUZIR OS EFEITOS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO CENTRO DE
MOSSORÓ-RN**

MOSSORÓ – RN

2017

GEAN CARLOS DE SOUSA

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE RETENÇÃO NA FONTE COMO FORMA DE
REDUZIR OS EFEITOS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO CENTRO DE
MOSSORÓ-RN**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro de Engenharias para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Thales Henrique Silva Costa – UFERSA.

MOSSORÓ – RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S725u Sousa, Gean Carlos de.
 UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE RETENÇÃO NA FONTE
 COMO FORMA DE REDUZIR OS EFEITOS DO ESCOAMENTO
 SUPERFICIAL NO CENTRO DE MOSSORÓ-RN / Gean Carlos
 de Sousa. - 2017.
 92 f. : il.

 Orientador: Thales Henrique Silva Costa.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
 2017.

 1. Urbanização. 2. Técnicas compensatórias. 3.
 Reservatório de lote. 4. Sistema de Informações
 Geográficas (SIG's). I. Costa, Thales Henrique
 Silva, orient. II. Título.

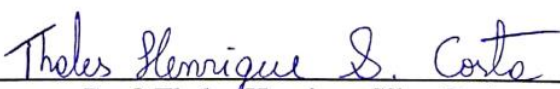
GEAN CARLOS DE SOUSA

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE RETENÇÃO NA FONTE COMO FORMA DE
REDUZIR OS EFEITOS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO CENTRO DE
MOSSORÓ-RN**

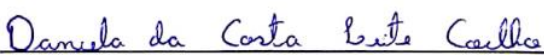
Monografia apresentada ao Centro de Engenharias para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

APROVADA EM: 16 / 10 / 2017

BANCA EXAMINADORA



Prof. Thales Henrique Silva Costa
Presidente



Prof.^a Dra. Daniela da Costa Leite Coelho.
Primeiro Membro



Prof. Dr. Luis Cesar de Aquino Lemos Filho.
Segundo Membro

OFEREÇO

Dedico em especial aos meus avós, *in memoriam*, Manoel Bezerra Filho, Artur Bezerra de Souza e Ione Xavier de Souza, pois continuam guiando meu caminho.

A Deus, primeiramente, por todas as oportunidades que tem me proporcionado conquistar, e por sempre se fazer presente na minha caminhada.

Aos meus pais e familiares (em especial minha avó Maria do Socorro) pelo incentivo, compreensão e força.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que tem me guiado durante esta caminhada, e possibilitado oportunidades para aquisição de conhecimento, não me deixando desistir de alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Luzinete Xavier e José Carlos, que sempre estiveram presentes (mesmo com a distância) e me ensinaram que o estudo era o bem mais precioso que vocês poderiam deixar para mim. As palavras que escrevo neste agradecimento não conseguem expressar na totalidade meu sentimento por vocês. Sei o quanto foi difícil: conviver com minha ausência e abrir mão de suas escolhas para tornarem meus sonhos possíveis. Deixo meu eterno agradecimento pela incansável dedicação a mim prestada e por serem meu porto seguro. Vocês serão sempre meu exemplo de caráter e força de vontade.

À minha avó, Maria do Socorro, que sempre esteve presente em minha vida com seus conselhos e orações, me apoiando e torcendo pelo meu sucesso, para que os meus objetivos fossem alcançados. Você representa um exemplo de bondade e sabedoria. Obrigado por todas as vezes que cheguei em casa e você me recepcionou com um abraço apertado.

A toda minha família, que é a minha base; a minha referência de união, amor, confiança e apoio. Agradeço em especial, Maria Lucineide, que desde muito tempo demonstra um carinho especial comigo, e que por diversos fatos, lhe concedi o título de segunda mãe.

Aos professores da graduação, por serem mais do que professores, mas verdadeiros amigos. Por sempre estarem disponíveis para retirar quaisquer dúvidas sobre o assunto, assim como, para uma simples conversa sobre os planos futuros.

Aos amigos, que me acompanharam ao longo desta jornada (sem citar nomes porque são muitos, mas espero que sintam-se citados), pela amizade verdadeira que construímos no decorrer desses anos; com vocês compartilhei desde os momentos de aflição antes das provas até os momentos de imensa felicidade a cada etapa concluída. Agradeço pela imensa paciência que tem comigo e por acreditarem na minha capacidade quando nem eu mesmo acredito, e torcerem sempre pelo meu sucesso. Adianto o término da graduação, mas estarei esperando vocês no temido mercado de trabalho.

A meu orientador, Thales Henrique, que contribuiu significativamente para a realização deste trabalho, desde a definição do tema. Obrigado pela imensa contribuição na minha formação como Engenheiro Civil foi: Orientador deste trabalho, orientador de estágio, professor de Saneamento, Hidráulica, Estruturas de Aço e Tratamento de Água e Esgoto; por sempre estar disponível em sua sala para sanar dúvidas; e por sempre cobrar, me incentivando a seguir na construção deste trabalho.

A Daniela Leite, que foi minha orientadora na Monografia do Curso de Ciência e Tecnologia, e que mesmo depois da orientação sempre manteve contato. Não posso deixar de lhe agradecer por toda a ajuda na elaboração da Metodologia deste trabalho, com a aplicação dos SIG's e por se preocupar no andamento do trabalho.

Aos membros da banca, por aceitarem o convite e se disponibilizarem a ajudar com elogios e sugestões este trabalho.

Enfim, a todos que de alguma forma me ajudaram na conclusão de mais essa etapa da minha vida, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

As cidades brasileiras sofreram um processo de urbanização, o qual aconteceu de forma acelerada e desordenada, gerando sérios problemas urbanos, como as inundações urbanas, devido as alterações no ciclo hidrológico. Com este trabalho, objetivou-se estudar e avaliar a implantação de sistema de retenção na fonte (reservatórios de lote) como forma de reduzir os efeitos do escoamento superficial nos lotes urbanos do centro da cidade de Mossoró-RN. Foram utilizados os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) para realização da caracterização da área de estudo (em especial, da bacia hidrográfica). Por meio de pesquisa bibliográfica foi possível determinar as características de uso e ocupação do solo, bem como as equações e parâmetros hidrológicos. Para transformação de precipitação foi aplicado o Método SCS, pelo qual se consegue gerar o hidrograma para os cenários a serem analisados. Enquanto para o projeto do reservatório de lotes foram aplicados os Métodos de McCuen (1989) e Puls (1928), que possibilitam a estimativa de um volume para o reservatório e verificação da propagação de cheias, respectivamente. Verificou-se que o centro do município, em estudo, se encontra situado entre duas microbacias urbanas do município (04 e 06), todavia, como a microbacia 04 apresentou tempo de concentração menor, optou-se a trabalhar apenas com ela. Esse tempo de concentração encontrado foi considerado elevado, para que a duração da chuva seja considerada igualmente. Assim, foi analisado a duração da precipitação como sendo $1/2$ e $1/4$ do tempo de concentração, sendo este último mais próximo da duração das chuvas ocorrentes na região. Verificou-se que para estes diferentes tempos de duração da precipitação, quanto maior o tempo, maior será o volume a ser armazenado pelo reservatório. No dimensionamento do reservatório, verificou-se que a restrição de vazão igual a vazão de pré-urbanização não surtiu o efeito desejado, e a restrição de vazão igual a duas vezes de pré-urbanização apresentou uma vazão de saída do reservatório semelhante à da vazão anterior, com dimensões menores do reservatório. Devido a isso, a equação encontrada para a estimativa do volume do reservatório foi proposta para que a vazão de restrição seja de duas vezes a de pré-urbanização. A obtenção do hidrograma para os dois cenários (pré e pós-urbanização) demonstram a influência do processo de urbanização no escoamento superficial. Diante do exposto, entende-se que a aplicação das técnicas compensatórias, em especial, o reservatório de lote, consegue minimizar os impactos da urbanização no ciclo hidrológico, apesar de não conseguir restringir que a vazão de saída no reservatório seja menor ou igual a vazão de pico no cenário de pré-urbanização.

Palavras-chave: Urbanização, Técnicas compensatórias, Reservatório de lote, Sistemas de Informações Geográficas (SIG's).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Municípios brasileiros com instrumentos de gestão de drenagem urbana.	28
Tabela 2 – Classificação das estruturas de descargas.....	37
Tabela 3 – Dados da precipitação de projeto para o Cenário 1 com $t_r = 23,62$ min.....	60
Tabela 4 – Dados da precipitação de projeto para o Cenário 2 com $t_r = 23,62$ min.....	62
Tabela 5 – Dados da precipitação de projeto para o Cenário 1 com $t_r = 11,81$ min.....	63
Tabela 6 – Dados da precipitação de projeto para o Cenário 2 com $t_r = 11,81$ min.....	64
Tabela 7 – Dados referente ao armazenamento, dispositivo de descarga e extravasador do reservatório de retenção de um lote de 360 m^2 , com diâmetro de $2,00\text{ m}$	70
Tabela 8 – Aplicação do Método de Puls para o reservatório de retenção de um lote de 360 m^2 , com diâmetro de $2,00\text{ m}$	71

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Classificação do solo pelo método SCS.	42
Quadro 2 – Períodos de Retorno para diferentes ocupações da área.	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do ciclo hidrológico.....	19
Figura 2 – Exemplo de modificação do hidrograma após o processo de urbanização.....	20
Figura 3 – Processos decorrentes da urbanização.	22
Figura 4 – Tipos de técnicas compensatórias para drenagem de águas pluviais.....	25
Figura 5 – Níveis de gerenciamento bacias hidrográficas.	27
Figura 6 – Efeito da instalação do reservatório de lote no hidrograma.....	31
Figura 7 – Demonstração de um reservatório de lote instalado em uma edificação (a) e detalhe da entrada e saída do reservatório de lote (b).	32
Figura 8 – Hidrograma pré e pós-ocupação para reservatório online.....	33
Figura 9 – Vertedor retangular de parede delgada sem contrações.	39
Figura 10 – Representação da aplicação do método dos blocos alternados para chuva.....	41
Figura 11 – Hidrograma Triangular do método SCS.	43
Figura 12 – Mapa de localização do município de Mossoró-RN, no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil.	47
Figura 13 – Mapa de localização do município de Mossoró-RN, com os respectivos limites da zona urbana e dos bairros.	48
Figura 14 – Mapa de altitudes do município de Mossoró-RN.	48
Figura 15 – Mapa dos solos do município de Mossoró-RN.....	49
Figura 16 – Localização do centro do município de Mossoró-RN.....	50
Figura 17 – Mapa das microbacias urbanas de Mossoró-RN.....	51
Figura 18 – Mapa das microbacias urbanas de Mossoró-RN no centro.....	51

Figura 19 – Curvas de nível das microbacias urbanas 04 e 06 de Mossoró-RN.	52
Figura 20 – Curvas de nível no centro da cidade de Mossoró-RN.	53
Figura 21 – Mapa dos solos de Mossoró-RN, com sobreposição do limite do centro e das respectivas microbacias urbanas desta área.	56
Figura 22 – Hidrograma unitário triangular para o lote padrão.	61
Figura 23 – Hidrograma dos Cenários 1 e 2 com $t_r = 21,39$ min para um lote de 360 m^2	63
Figura 24 – Hidrograma dos Cenários 1 e 2, com $t_r = 10,69$ min para um lote de 360 m^2	65
Figura 25 – Hidrograma unitário triangular para lote de 1 m^2	66
Figura 26 – Hidrograma dos Cenários 1 e 2, com $t_r = 10,69$ min para um lote de 1 m^2	66
Figura 27 – Curvas de Área versus Volume do reservatório para TR de 2, 5 e 10 anos.	68
Figura 28 – Relação cota-armazenamento para o reservatório de retenção de um lote de 360 m^2 , com diâmetro de $2,00 \text{ m}$	69
Figura 29 – Relação cota-vazão do descarregador para o reservatório de retenção de um lote de 360 m^2 , com diâmetro de $2,0 \text{ m}$	70
Figura 30 – Hidrograma do Cenário 2 (pós-urbanização) e do Cenário 3 (com o reservatório de lote instalado) para um lote de 360 m^2	72
Figura 31 – Hidrograma dos Cenários 1 (com a nova consideração de vazão) e 2 com $t_r = 10,39$ min para um lote de 360 m^2	73
Figura 32 – Hidrograma do Cenário 2 (pós-urbanização) e do Cenário 3 (com o reservatório de lote instalado) para um lote de 360 m^2 (com a vazão de restrição).	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ac	Área da seção do orifício
Cd	Coeficiente de descarga
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGIS	<i>Canadian Geographic Information System</i>
CN	Curva Número
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
H	Carga sobre o orifício
I	Vazão afluente ao reservatório
i	Intensidade pluviométrica
Ia	Estimativa de perdas iniciais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade-duração-frequência
MMA	Ministério do Meio Ambiente
O	Vazão de saída do reservatório
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Precipitação
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
Pe	Precipitação efetiva
PMM	Prefeitura Municipal de Mossoró
PNRH	Política Nacional do Recursos Hídricos
Q	Vazão
S	Armazenamento
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Tb	Tempo de base
Tc	Tempo de concentração
Tp	Tempo de pico
t'p	Tempo de ascensão

TR	Tempo de Retorno
Tr	Tempo de duração da precipitação
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
USDA	<i>United States Departament of Agriculture</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
V	Volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1	Águas Urbanas: aspectos gerais e definições	17
3.1.1	Ciclo Hidrológico.....	17
3.1.2	Bacia Hidrográfica	20
3.2	Drenagem urbana	21
3.2.1	Sistemas clássicos de Drenagem Urbana	23
3.2.2	Sistemas alternativos de Drenagem Urbana.....	24
3.3	Legislação relacionada ao controle das águas pluviais na fonte	26
3.3.1	Legislação federal e estadual	27
3.3.2	Legislação municipal	28
3.4	Técnicas compensatórias de controle na fonte	30
3.5	Reservatórios de retenção no lote	31
3.5.1	Dimensionamento de reservatório de lote.....	33
3.5.2	Dimensionamento do volume do reservatório de lote.....	34
3.5.3	Dimensionamento do dispositivo de descarga	37
3.5.4	Dimensionamento da saída de emergência	38
3.6	Métodos e parâmetros hidrológicos.....	39
3.6.1	Chuva de Projeto	39
3.6.2	Distribuição Temporal das Chuvas	40
3.6.3	Método Soil Conservation Service – SCS	41
3.7	Sistemas de Informações Geográficas – SIG	44
4	METODOLOGIA.....	46
4.1	Obtenção de dados da área de estudo	46
4.2	Caracterização da área de estudo	46
4.2.1	Delimitação da área de estudo.....	49
4.2.2	Bacia Hidrográfica	50
4.2.3	Características Topográficas	52
4.2.4	Uso e Ocupação do Solo	53

4.3	Caracterização Hidrológica.....	54
4.3.1	Equação das Chuvas.....	54
4.3.2	Determinação do Tempo de Retorno e da Duração da Precipitação.....	54
4.3.3	Intensidade da Precipitação.....	55
4.3.4	Tempo de concentração.....	55
4.3.5	Transformação de Chuva em Vazão	56
4.4	Projeto de reservatório de retenção na fonte.....	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1	Tempo de concentração e duração da precipitação	59
5.2	Precipitação com duração de 23,62 min.....	60
5.2.1	Cenário 1: Pré-urbanização	60
5.2.2	Cenário 2: Pós-urbanização.....	61
5.3	Precipitação com duração de 11,81 min.....	63
5.3.1	Cenário 1: Pré-urbanização	63
5.3.2	Cenário 2: Pós-urbanização.....	64
5.4	Determinação de equação para dimensionamento de reservatório de lote no centro de Mossoró	65
5.5	Cenário 3: lote com reservatório de detenção	68
5.5.1	Restrição de vazão igual a vazão do cenário 1 de pré-urbanização	68
5.5.2	Restrição de vazão igual duas vezes a vazão do cenário 1 de pré-urbanização.....	73
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
	REFERÊNCIAS	76
	ANEXO A – Valores de CN para regiões áridas e semiáridas.	85
	ANEXO B – Valores de CN para regiões urbanas.	86
	ANEXO C – Índices urbanísticos da Área Especial Urbana Central.....	87
	APÊNDICE A – Planilha dos Parâmetros de projeto.	88
	APÊNDICE B – Planilha do Hidrograma unitário.	89
	APÊNDICE C – Planilha com dados para convolução.....	90
	APÊNDICE D – Planilha para dimensões e curva cota x armazenamento.	91
	APÊNDICE E – Planilha para descarregador de fundo e extravasador.	92

1 INTRODUÇÃO

Segundo Drumond (2012), apesar de intensificado apenas na segunda metade do século XX, o processo de mudança da população do campo para a zona urbana no Brasil, aconteceu de forma extremamente acelerada e desordenada, gerando sérios problemas para as cidades brasileiras, como as alterações no ciclo hidrológico.

Conforme Justino, Paulo e Paiva (2011), as modificações nos processos hidrológicos mais visíveis são: aumento significativo do escoamento superficial e diminuição da infiltração, Vasconcelos, Miguez e Vazquez (2016) afirmam que essas modificações geram inúmeros impactos sociais e ambientais, como ocorrência de inundações urbanas e a redução da disponibilidade hídrica, devido a contaminação das águas.

Afim de minimizar esses impactos, os municípios têm passado a incluir a drenagem urbana no seu planejamento urbano. Os sistemas clássicos de drenagem já não apresentam resultados satisfatórios na minimização dessas alterações, sendo necessário a utilização dos sistemas alternativos, também denominados de técnicas compensatórias. Entre as técnicas compensatórias de controle na fonte, destacam-se quatro: reservatório de lote, pavimentos permeáveis, telhados verdes e jardins rebaixados (DRUMOND, 2012).

O sistema de coleta de água pluvial no lote (reservatório de lote) surge como uma alternativa viável para drenagem e aproveitamento de águas nos centros urbanos, porque seu princípio de funcionamento é baseado no armazenamento temporário da precipitação, de modo que seja escoada de forma lenta para o sistema de drenagem urbana. Essa técnica, empregada de forma adequada, melhora a qualidade de vida das pessoas que sofrem com o processo de urbanização (TASSI, 2002).

O município de Mossoró-RN tem apresentado durante as últimas precipitações, um grande número de pontos de inundações. Esses pontos, em sua maioria, estão concentrados em áreas com alto índice de urbanização, como evidenciado por diversas reportagens publicadas nos últimos anos nos meios de comunicação local. Diante disso, entende-se ser necessário a adoção de mecanismos que minimizem o escoamento superficial, reduzindo assim, o risco de inundações urbanas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar e avaliar a implantação de reservatórios de lote como forma de reduzir os efeitos do escoamento superficial dos lotes urbanos do centro da cidade de Mossoró-RN.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar os hidrogramas de pré e pós-ocupação para um lote padrão do centro de Mossoró-RN;

Formular uma equação geral para determinação do volume de um sistema de retenção de água pluvial a ser aplicado na cidade de Mossoró-RN;

Dimensionar um sistema de retenção de água pluvial para um lote padrão do centro de Mossoró-RN, afim de verificar a influência do reservatório sobre o hidrograma de cheia;

Apresentar benefícios da implantação do sistema de retenção de água pluvial em um lote urbano.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Inicialmente será abordado o tema de águas urbanas, mostrando os aspectos gerais e definições, como do ciclo hidrológico e de bacia hidrográfica. Segue, com a apresentação de conceitos sobre drenagem urbana e dos tipos de sistemas que podem ser utilizados pelas cidades. Dentre esses tipos de sistemas, destaca-se a técnica de controle de águas pluviais na fonte. Sendo pesquisado sobre legislações no âmbito federal, estadual e municipal que trate sobre essa técnica, bem como, são exemplificados tipos de mecanismo que proporcionam o controle na fonte. Em especial, destaca-se os reservatórios de lote que é o foco da pesquisa.

3.1 Águas Urbanas: aspectos gerais e definições

Caracterizada pela transformação da economia rural em uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas, a urbanização é considerada como um processo de desenvolvimento econômico e social (NAVARRO, 2013). É considerado um processo recente, visto que, foi iniciado no fim do século XIX, quando a população urbana representava 1,7 % da população total do planeta. Em 1950 tal porcentagem atingiu 21 %; em 1960 de 25 % e em 1980 de 41,1 %. Já no início do século XXI, a Organização das Nações Unidas (ONU) afirmou que metade da população do planeta era urbana (SILVA, 2012; SOUZA, 2013).

Conforme Decina e Brandão (2016), atualmente o Brasil possui uma população urbana de, aproximadamente, 80 % dos seus habitantes. Devido ao processo de urbanização do país ter sido de forma acelerada, esta ocorreu sem planejamento adequado e infraestrutura disponível. Esse processo de transformação das cidades, gera um aumento das áreas impermeáveis, que influencia diretamente no escoamento superficial das águas (RATHKE, 2012).

Rathke (2012) afirma ainda que o processo de urbanização afeta os processos hidrológicos atuantes na bacia hidrográfica. Esses processos são denominados de fenômenos físicos que acontecem na superfície terrestre à medida que a água circula na crosta terrestre. De modo a compreender esses fenômenos e a influência das atividades humanas serão apresentados os conceitos de ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.

3.1.1 Ciclo Hidrológico

A água pode ser encontrada no planeta em três estados físicos – sólido, líquido e gasoso –, e distintos locais, como superfície (que inclui a parte subterrânea) e atmosfera, estando em

constantes transições entre esses estados físicos e localidades (FRITZEN; BINDA, 2011). Este processo é denominado de ciclo hidrológico, que, segundo Sousa (2011), utiliza a energia do sol e suas interações dependem do clima, uso e manejo da vegetação e das modificações na superfície do solo.

Para Silveira (2013) o ciclo hidrológico é definido como um “fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”.

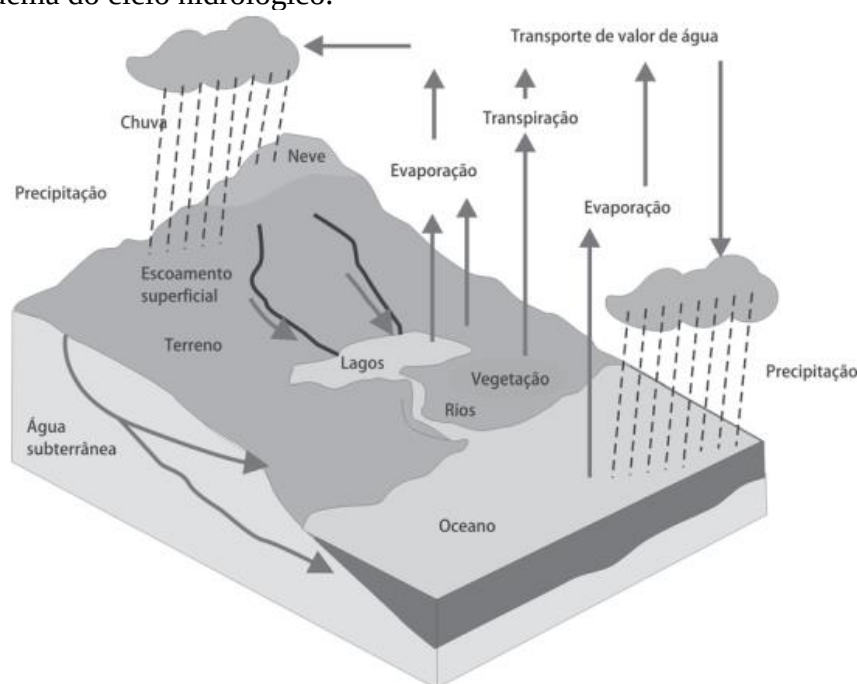
Ainda segundo Silveira (2013), a superfície terrestre abrange os continentes e os oceanos, assim como a camada porosa dos continentes (solos e rochas). Em relação a atmosfera, tem-se que os fenômenos meteorológicos ocorrem na troposfera, uma camada de 8 a 16 km de espessura, onde se concentra cerca de 90 % da umidade atmosférica. A camada existente acima, denominada de estratosfera, é responsável por regular a radiação solar, que é a fonte energética do ciclo hidrológico.

De acordo com Miranda, Oliveira e Silva (2010) o fluxo de água é realizado em dois sentidos:

- a) Superfície-atmosfera: a água encontra-se na forma de vapor, devido a ocorrência da evaporação das águas oceânicas e da evapotranspiração;
- b) Atmosfera-superfície: não se tem a água em um estado físico específico, e a transferência ocorre através da precipitação (chuva, granizo ou neve).

Na Figura 1, são mostrados parte dos processos hidrológicos que integram o ciclo hidrológico. Entre os processos ilustrados, tem-se: evaporação, precipitação, transpiração e escoamento (superficial e subterrâneo). Entretanto, não são ilustrados a interceptação, o escoamento subsuperficial e a evaporação de água do solo (que aliada a transpiração das plantas forma a evapotranspiração).

Figura 1 – Esquema do ciclo hidrológico.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).

De acordo com Balbinot et al. (2008), a compreensão do ciclo apresentado acima, tem início com a descrição do processo de evaporação da água dos oceanos, rios e lagos, no qual a água é transformada do estado líquido para o gasoso, e é transportado pelas massas de ar. Esse vapor sofre condensação, em determinadas condições, ocasionando as nuvens que podem vir a gerar a precipitação sobre a Terra.

Parte da precipitação sofre interceptação, sendo retida pela cobertura vegetal existente. Todavia, a maior parte sofre infiltração, ficando retida temporariamente no solo. A água retida no solo, pode ser absorvida pelas raízes dos vegetais, que posteriormente irão liberar água na forma de vapor para a atmosfera, assim como, podem sofrer evaporação diretamente, formando em conjunto, o processo de evapotranspiração. O processo hidrológico de escoamento da água pode ser superficial (com a água que não sofreu infiltração), subsuperficial (quando ocorrer numa camada próxima da superfície) e subterrâneo (em camadas que possibilita o carregamento do lençol freático). A depender da topografia do local, as três formas de escoamento podem ser responsáveis pela formação dos cursos d'água (SILVA, 2006a).

Silva (2006a) afirma que dentre os processos que compõem o ciclo hidrológico, a precipitação é o principal meio de transferência de água para a superfície e a forma mais corrente é a chuva. Cacula Filho (2009) e Lorenzon (2011) apresentam três classificações para as chuvas: a) convectivas, formadas devido à elevação de massas de ar quente, são de grande intensidade e pequena duração; b) orográficas, formadas devido a existência de barreiras físicas

que provocam a elevação das massas de ar, apresentando pequena intensidade e grande duração; e c) ciclônicas, que são formadas pelo encontro de massas de ar quentes e úmidas, sendo chuvas de grande duração.

A precipitação é um importante dado hidrológico para o controle de inundação e também de erosão do solo. Destaca-se ainda, que a chuva é o tipo de precipitação de maior importância para a hidrologia, devido a capacidade de produzir escoamento (BERTONI; TUCCI, 2013).

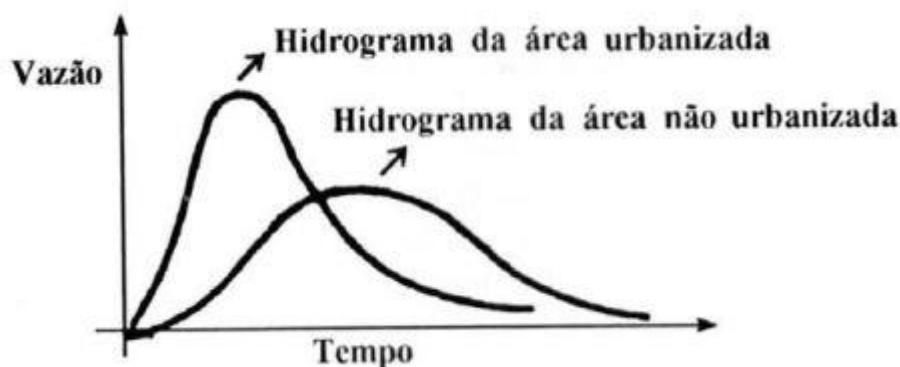
3.1.2 Bacia Hidrográfica

Definida como a “área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório”, a bacia hidrográfica é um elemento fundamental na análise da fase terrestre do ciclo hidrológico (SILVEIRA, 2013).

Valente (2013) acrescenta ainda que a área da bacia hidrográfica é definida topograficamente, pois as elevações periféricas são os divisores de água com outras bacias. A chuva que cai no interior da bacia é drenada por gravidade para o corpo hídrico principal. Conforme Silveira (2013) afirmou, o escoamento converge um único ponto, o exutório, que é o ponto mais baixo da bacia hidrográfica.

Segundo Campos (2007), a impermeabilização do solo devido o desenvolvimento urbano, provoca modificações no fluxo da água dentro da bacia, visto que, eleva o escoamento superficial, pois a água não consegue infiltrar. Devido a isso, tem-se um aumento da vazão máxima do corpo hídrico da bacia e uma antecipação do pico. Uma representação da modificação do hidrograma após a urbanização pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Exemplo de modificação do hidrograma após o processo de urbanização.



Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995) apud Silva (2006a).

O hidrograma representa graficamente a relação da vazão no tempo, provenientes das interações dos componentes do ciclo hidrológico. Com esta representação gráfica é possível determinar o volume de cada tipo de escoamento, através de métodos hidrológicos. A forma do hidrograma depende de uma infinidade de fatores, sendo os principais: relevo; cobertura vegetal da bacia; modificações do curso d'água; distribuição, duração e intensidade da precipitação; e condições do solo (SILVA, 2007; TUCCI, 2013).

Rathke (2012) destaca a importância de três parâmetros da bacia hidrográfica, que influenciam diretamente no tipo de onda de cheia a ser gerada, são eles: tempo de concentração, coeficiente de escoamento e área de drenagem. O coeficiente de escoamento ou coeficiente de *Runoff* representa a fração de precipitação que vira escoamento.

A área de drenagem corresponde a superfície na qual as precipitações que acontecem sobre essa região convergem para o mesmo ponto de saída da região (NAVARRO, 2013). Segundo Gribbin (2016), o escoamento da água é realizado pela ação da gravidade, afastando do divisor de água e encaminhando para a direção do curso d'água.

Determinado a área de drenagem da bacia, determina-se o tempo de concentração, que consiste no tempo necessário para que a chuva que caia no ponto mais remoto da bacia atinja à jusante da bacia, o exutório (NAVARRO, 2013). De acordo com Gribbin (2016), o tempo de concentração depende do tamanho, forma, declividade e condições do solo., onde o mesmo ainda ressalta, que o ponto mais remoto não é necessariamente o ponto mais distante do exutório, pois devem ser observadas outras características que influenciem no tempo de escoamento da água, como a declividade. Por fim, o referido autor acrescenta que o melhor método para localizar o ponto mais remoto da bacia é através de tentativa e erro, pois nem sempre é evidente.

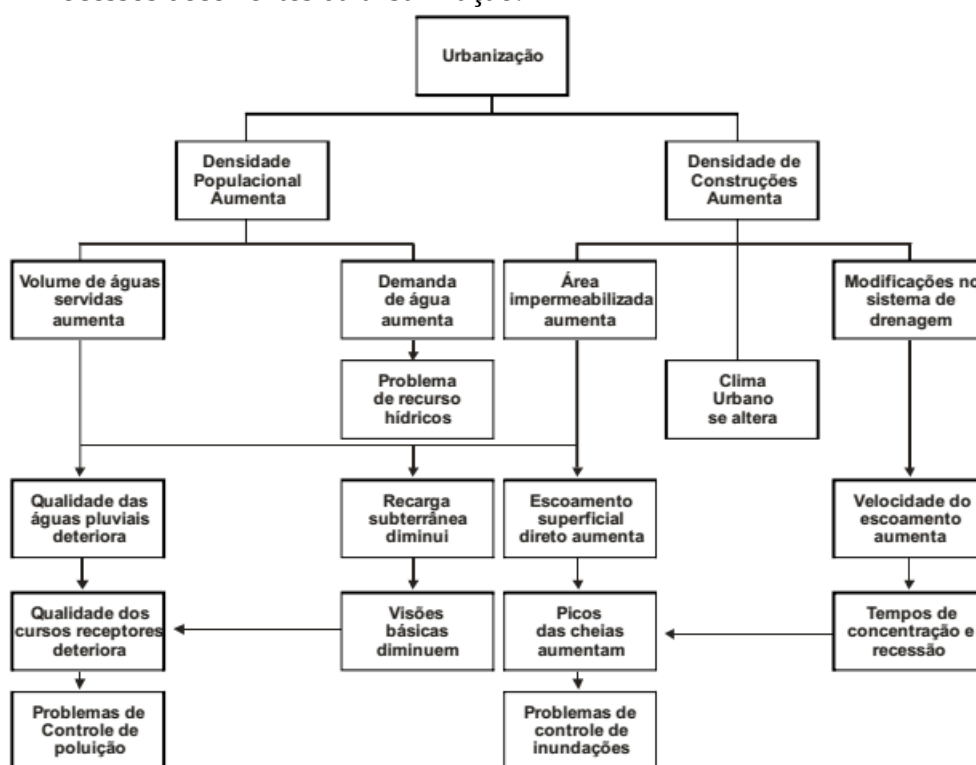
3.2 Drenagem urbana

Consequência do processo de urbanização mal planejado, os problemas envolvendo as águas pluviais no meio urbano são distribuídos ao longo das cidades, por meio das linhas de escoamento natural, relevo do local e do grau de impermeabilização das superfícies. Assim, devido aos corriqueiros alagamentos e inundações que tem ocorrido, a necessidade da drenagem urbana ganhou grande destaque (MELO, 2011). A Figura 3 apresenta os processos que ocorrem com a urbanização, sendo possível identificar os impactos causados pela mesma.

A drenagem urbana está inserida nas vertentes do saneamento básico, através da Lei nº 11.445 de 2007, que instituiu as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico. Nela, são

apresentadas as etapas da drenagem e manejo das águas pluviais, que consiste em todas as “atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas” (BRASIL, 2007). Melo (2007) afirma que a publicação da Lei 11.445 foi fundamental, pois incorporou a drenagem de águas pluviais efetivamente no sistema de saneamento urbano, quebrando o binômio de água e esgoto.

Figura 3 – Processos decorrentes da urbanização.



Fonte: Adaptado pelo pesquisador (Hall (1984) apud Porto et al. (2013)).

Valente (2013) afirma que o sistema de drenagem urbana é formado por um conjunto de ações e obras com o objetivo de encaminhar o escoamento pluvial de forma adequada e segura, sem gerar riscos ou prejuízos à população. Acrescenta ainda, que a drenagem urbana deve ser tratada como parte do planejamento urbano e projetada para atender as demandas futuras.

Conforme Gurgel (2016), os sistemas de drenagem urbana consistem em sistemas preventivos de inundações, principalmente, para as zonas baixas das cidades que são mais propícias a alagamentos.

Esses sistemas podem ser denominados de sistemas clássicos e sistemas alternativos ou técnicas compensatórias. Todavia, atualmente, os sistemas tradicionais se mostram pouco

flexíveis e adaptáveis às mudanças de uso e ocupação do solo, portanto, insustentáveis para a realidade de muitas cidades (MELO, 2015).

Melo (2015) apresenta a necessidade de se considerar três aspectos para realizar uma articulação adequada entre drenagem urbana e urbanização: econômico, social e ecológico. Somente considerando esses três aspectos uma proposta será eficaz. Com essa ideia, Melo et al. (2016) afirmam que será capaz pensar no planejamento da drenagem urbana de maneira sustentável, realizando um manejo adequado das águas urbanas, restaurando seu ciclo e fluxo natural.

Uma das peças fundamental para o adequado manejo das águas pluviais é o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU). Nele é possível estabelecer uma planeamento do escoamento superficial das águas nas cidades, por meio da ocupação e crescimento urbanos, reduzindo ou até mesmo, eliminando, os prejuízos econômicos e ambientais (MELO, 2011).

Dentro dos PDDU podem ser, e nos dias atuais, já estão sendo propostos mecanismos inovadores para o manejo das águas pluviais nas zonas urbanas. Esses mecanismos compreendem o sistema alternativo, e se baseiam em processos de armazenagem, retenção, retenção, interceptação, evapotranspiração e infiltração das águas pluviais, em sua maioria, aplicados na escala do lote (MELO et al., 2014).

3.2.1 Sistemas clássicos de Drenagem Urbana

Os sistemas clássicos de drenagem preconizam pelo rápido escoamento da água até a jusante, de modo a evitar desconfortos, nas ruas e nas casas. Esses sistemas devem ser providos de estruturas de captação e transporte capazes de atender ao rápido escoamento do efluente (VIOLA, 2008).

Anteriormente, citou-se que este tipo metodologia gera problemas na jusante (inundações). Isso se deve ao fato de diminuir o tempo de concentração e aumentar o pico de vazão da jusante, possibilitando assim, a ocorrência de inundações em área que anteriormente não sofreriam tal problema. Em cidades que o processo de urbanização foi iniciado da jusante para montante, esse problema se torna mais evidente (DRUMOND, 2012).

As estruturas do sistema clássico de drenagem são compostas por dispositivos de microdrenagem (como bocas de lobo) e de macrodrenagem (como galerias). A microdrenagem são “estruturas que conduzem as águas do escoamento superficial para as galerias ou canais urbanos” sendo constituídas de sarjetas, bocas de lobo, poços de inspeção, meios-fios e

canalizações coletoras de águas pluviais (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2006).

As estruturas da microdrenagem iniciam nas próprias edificações, com a captação através de coletores pluviais nas áreas cobertas (denominadas de áreas de contribuição) que alimentam a rede pública de drenagem. Além da captação das áreas cobertas, tem-se ainda a captação do escoamento proveniente das áreas impermeáveis ou mesmo das áreas permeáveis (quando a capacidade de infiltração do solo é excedida) (BELLÉ, 2011).

Em relação as estruturas de macrodrenagem têm-se que “são dispositivos responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes do sistema de microdrenagem urbana”. São constituídos por canais naturais e galerias, como cursos d’água que cortam o meio urbano, independente se houve ou não a execução de obras específicas. Os equipamentos de regularização de cheia são considerados componentes de macrodrenagem (FEAM, 2006).

Conforme Valente (2013), as obras de macrodrenagem são obras de maior porte, sendo projetadas para um período de retorno entre 25 a 100 anos. Enquanto que as obras de microdrenagem são projetadas para um período de retorno entre 2 a 10 anos.

Alguns países que estão em desenvolvimento, como o Brasil, a situação do sistema de drenagem urbana é precária, pois nem mesmo o sistema clássico é aplicado corretamente, devido à falta de recursos, ou mesmo, pelo mau dimensionamento ou má execução do sistema. Tem-se ainda, a falta de conhecimento de parte da população, que por desconhecer a finalidade do sistema, utiliza os seus elementos como locais de destino de dejetos e lixo (VIOLA, 2008).

3.2.2 Sistemas alternativos de Drenagem Urbana

Neste tipo de sistema, tem-se a preocupação em neutralizar os impactos da urbanização nos processos hidrológicos ao mesmo tempo que busca proporcionar ambientes com qualidade de vida e preservação ambiental, de maneira a recuperar a capacidade de infiltração das áreas urbanas as condições naturais (DRUMOND, 2012).

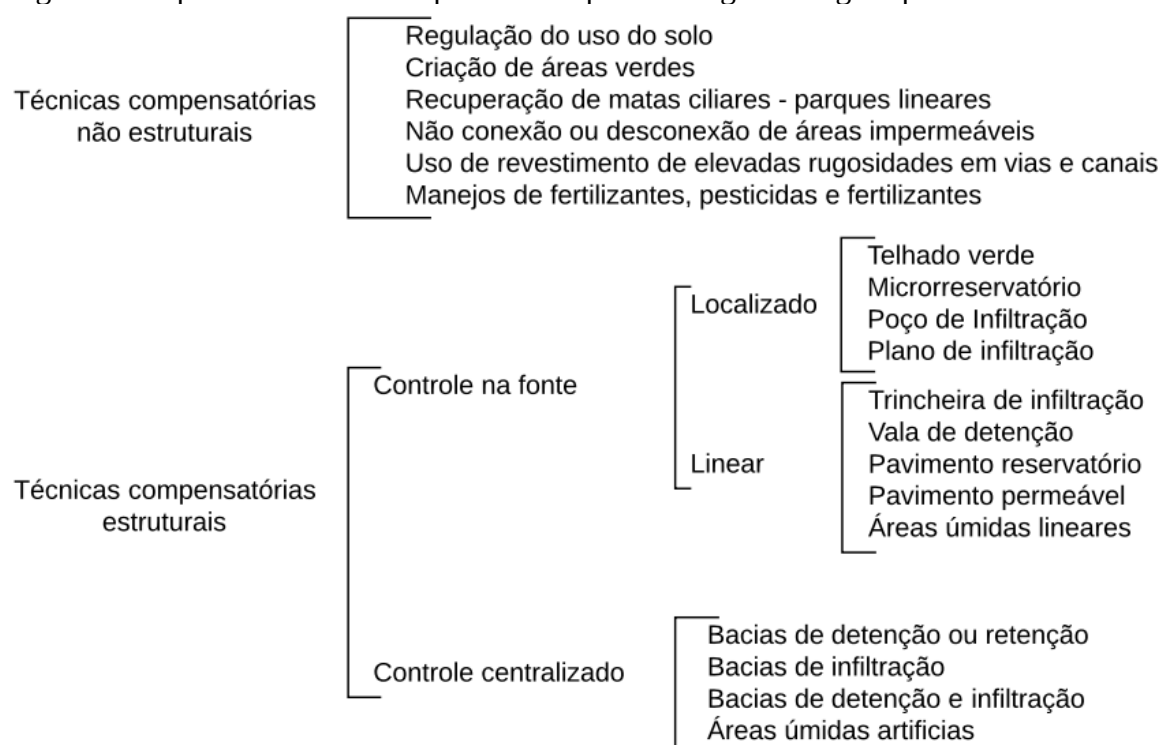
Segundo Viola (2008) o sistema clássico não se apresenta mais viável para atender as demandas atuais, sendo necessária uma adoção de modelo para cada situação, ao mesmo tempo, que necessitasse expandir o conceito de gestão de águas pluviais além da drenagem. Tem-se, portanto, que o adequado escoamento das águas pluviais não é o que escoar mais rápido, e sim o que gere mais benefícios a sociedade e ao meio ambiente.

Os sistemas alternativos estão baseados no processo de infiltração e retenção de águas precipitadas, de forma a minimizar o volume de escoamento superficial. Se o planejamento

realizado for adequado, consegue-se uma melhoria da qualidade das águas pluviais. Este tipo de sistema pode ser de diferentes formas e escalas, desde pequenas parcelas até grandes projetos que integrem a cidade inteira. Atualmente no Brasil, apenas a técnica de bacias de amortecimento já é empregada em algumas cidades brasileiras, de modo que a utilização dos sistemas alternativos é insignificante (DRUMOND, 2012).

Existe uma vasta diversidade de técnicas compensatórias para drenagem de águas pluviais, e estas são apresentadas na Figura 4. O sistema de drenagem é composto por técnicas de caráter estrutural e não-estrutural.

Figura 4 – Tipos de técnicas compensatórias para drenagem de águas pluviais.



Fonte: Adaptado pelo pesquisador (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009).

As medidas estruturais englobam as obras hidráulicas fundamentais para um bom escoamento das águas pluviais, e as não-estruturais são medidas que não necessitam de grandes obras de engenharia, mas que são voltadas a minimização dos problemas provocados pelas chuvas nas áreas urbanas. Vale acrescentar, que estas medidas se complementam (BARROS, 2005).

Visando compensar ou mitigar os danos gerados pela urbanização, as medidas não-estruturais consistem na elaboração de instrumentos legais que regulamentem a ocupação das cidades, de sistemas de alertas de chuvas, da orientação a população através de programas de educação ambiental e planos de contingência (DRUMOND, 2012). Barros (2005) elenca as

principais medidas não-estruturais: outorga de controle de cheias; leis de uso e ocupação do solo; fixação de critérios para projetos de drenagem e para obras de infraestrutura; e programa de educação ambiental.

As medidas estruturais adotadas para um sistema de drenagem dependem de diversos fatores, sendo necessário conhecer as características do problema ocorrente, a área a ser drenada, o tipo de uso e a permeabilidade do solo, as características da bacia hidrográfica, existência de obras de infraestrutura, entre outros. Dessa forma, cada caso deve ser avaliado individualmente, não sendo possível ter-se uma solução básica (BARROS, 2005).

Este tipo de medida tem o intuito de construir um sistema que equacione a estrutura física da área, a hidrologia, geologia, de modo a não ter um sistema que apenas desloque o problema para outra região (ALMEIDA; COSTA, 2014).

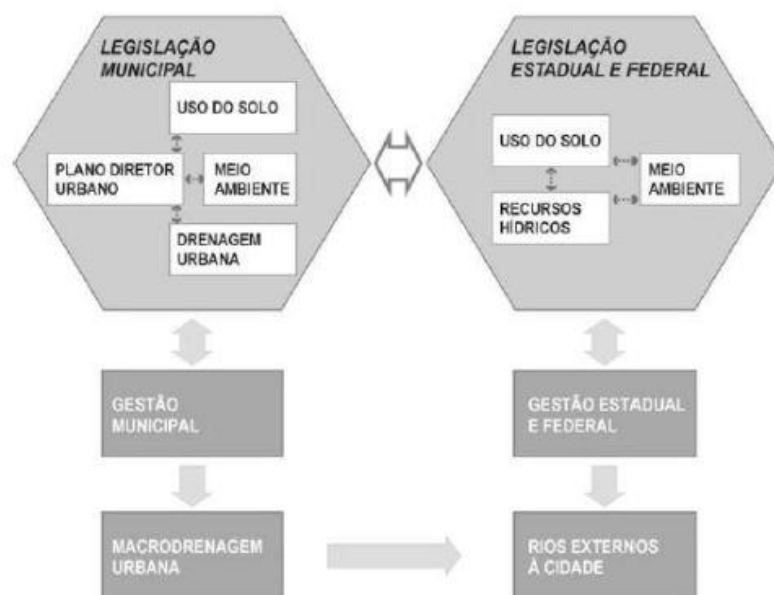
As principais medidas estruturais citadas por Barros (2005) são: sistemas de coleta da água de chuva no lote e lançamento na rede; sistemas de microdrenagem e macrodrenagem; reservatório para controle de cheias; bacias de retenção; drenagem forçada em áreas baixas e manutenção do sistema de drenagem.

Almeida e Costa (2014) afirmam que um sistema adequado de drenagem acarretará em uma vasta quantidade de benefícios as cidades, como: desenvolvimento do sistema de transportes, minimização de gastos com manutenção de vias públicas e com o tratamento de doenças de vinculação hídrica; escoamento superficial de águas rápido; redução de problemas na malha viária devido a precipitação, entre outros.

3.3 Legislação relacionada ao controle das águas pluviais na fonte

As legislações que tratam sobre águas urbanas estão relacionadas com o uso do solo, os recursos hídricos e o meio ambiente. A hierarquização da gestão dos recursos hídricos está ligada ao espaço geográfico no qual ele se encontra. As gestões estaduais e federais são responsáveis pelos planos das bacias hidrográficas estaduais e federais, como do controle da qualidade e da quantidade de águas do corpo hídrico da bacia. Já a gestão municipal, possui abrangência menor, limita-se as diretrizes ao ambiente interno da cidade, sendo responsável pela elaboração do plano diretor urbano. Na Figura 5 são mostrados os níveis do gerenciamento das bacias (DRUMOND, 2012).

Figura 5 – Níveis de gerenciamento bacias hidrográficas.



Fonte: Tucci (2005).

3.3.1 Legislação federal e estadual

Atualmente, no Brasil, não existem legislações no âmbito federal ou estadual que estabeleçam parâmetros e critérios para realização do controle de águas pluviais na fonte, todavia, no âmbito municipal existem algumas cidades que apresentam regulamentações referentes ao tema. Acrescenta-se ainda, que no âmbito federal e estadual existem legislações que tratam da gestão dos recursos hídricos de modo a conter os impactos.

As legislações federais que apresentam instrumentos para a realização da gestão dos recursos hídricos são: a Constituição Federal de 1988; a Lei nº 6.766 de 1979 que trata do parcelamento do solo urbano; a Lei nº 12.651 de 2012 que regulamenta o novo Código Florestal; a Lei nº 9.433 de 1997 que institui a Política Nacional do Recursos Hídricos (PNRH); a Lei nº 10.257 de 2001 conhecida como Estatuto das Cidades; e a Lei nº 11.445 de 2007 que estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico.

Entre essas legislações, destacam-se as Leis nº 9.433 e nº 11.445 que apresentam caminhos para realização do controle de águas pluviais na fonte. No Art. 12º da PNRH, abre-se espaço para a introdução da regulação do controle de águas pluviais para áreas urbanas, quando fala que atividades que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água de um manancial necessitam de outorga do poder público (BRASIL, 1997).

Já na Lei nº 11.445, são elencados os princípios para prestação dos serviços de saneamento, e entre eles, destaca-se o de disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços como drenagem e manejo das águas pluviais, de maneira adequada à saúde pública e à segurança da vida. No Art. 3º, quando apresenta uma definição de drenagem urbana, a legislação já aborda sobre as medidas de detenção ou retenção de vazões para a contenção de cheias. Ainda nesta lei, o Art. 36º prevê a cobrança pelo serviço de drenagem e manejo de águas pluviais, considerando os percentuais de impermeabilização do solo e existência de dispositivos de detenção ou retenção de água de chuva (BRASIL, 2007).

3.3.2 Legislação municipal

Segundo Tucci (2008) apesar de ser de responsabilidade dos municípios a gestão das águas pluviais dentro do espaço urbano, falta a grande parte dos municípios uma estrutura para realizar o planejamento e gerenciamento adequado do sistema de drenagem urbana.

Isso se deve ao fato do manejo da bacia, em especial a drenagem, requerer estudos e avaliações contínuas, levando em conta que a dinâmica das cidades envolve diversos fatores. A base de análise deve ser o Plano Diretor do município que deve estar aliado ao Plano Diretor de Drenagem Urbana (DRUMOND, 2012).

Na Tabela 1 são apresentados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referente ao ano de 2008, sobre os instrumentos de gestão da drenagem urbana. Por meio desses dados, é possível aferir que uma grande parcela dos municípios brasileiros não possui esses dispositivos.

Tabela 1 – Municípios brasileiros com instrumentos de gestão de drenagem urbana.

Instrumentos de gestão	Quantidade de municípios
Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais	13
Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano	33
Plano Diretor de Recursos Hídricos	2
Plano Diretor Integrado de Saneamento Básico	4
Instrumento regulador do serviço de manejo de águas pluviais	13

Fonte: IBGE (2008) apud Drumond (2012).

A área de estudo desta pesquisa é o município de Mossoró, localizado no Estado do Rio Grande do Norte. O município possui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, todavia, não possui um específico que trace metodologias para Drenagem Urbana. O Plano Diretor municipal foi instituído pela Lei Complementar nº 12 de 2006, da Prefeitura Municipal de

Mossoró (PMM), onde são descritos instrumentos para a política de expansão urbana e de desenvolvimento social, econômico, cultural e ambiental da cidade (ALVES, 2016).

A seção de saneamento ambiental desta legislação municipal engloba a parte de drenagem urbana. No Art. 32º, para o manejo das águas pluviais poderão ser utilizados sistemas naturais ou construídos, afim de otimizar o escoamento das águas, proporcionando segurança e conforto a população existente na área urbana (MOSSORÓ, 2006). Para atender isso, a legislação prevê as seguintes medidas:

- I – intensificação da arborização;
- II – construção de pavimentação permeável;
- III – utilização dos canteiros centrais, praças, jardins, canalização e correção de córregos como receptores dos escoamentos superficiais;
- IV – adoção de áreas permeáveis para a retenção das águas provenientes de precipitações pluviométricas no próprio lote, atendendo no mínimo, o previsto no artigo 35 desta lei (MOSSORÓ, 2006).

O Art. 33º estabelece áreas prioritárias para aplicação do sistema de drenagem, como nos cursos d'água e margens, e em bacias hidrográficas fechadas que exista dificuldade de escoamento natural das águas. A legislação prevê ainda, no Art. 34º, que os projetos de novos loteamentos para serem aprovados pelo município, caso seja apresentado um projeto de drenagem, onde já sejam previstas soluções, afim de não acarretar prejuízo ao meio ambiente, a terceiros ou ao poder público (MOSSORÓ, 2006).

Por fim, o Plano Diretor de Mossoró prevê ainda, como forma de garantia a drenagem natural, que as construções que estejam na área urbana devem resguardar uma taxa de permeabilidade mínima de 20,00 % sobre a área total do terreno. Estas áreas podem receber cobertura vegetal ou ainda, usar cobertura permeável (MOSSORÓ, 2006).

Belo Horizonte-MG, em 1966, se tornou a primeira capital a possuir um instrumento legal que exige a construção de dispositivos de controle de drenagem na fonte, para terrenos com altas taxas de impermeabilização. Posteriormente, em 2000, através do seu Código de Obras, a Prefeitura de Guarulhos-SP passou a exigir a construção de reservatórios de retenção nos lotes, sendo a capacidade de reservação proporcional ao tamanho do lote. Em 2002 e 2004, respectivamente, os municípios de São Paulo-SP e Rio de Janeiro-RJ passaram a possuir legislação municipal que também exigem a construção de reservatório de acumulação de água pluvial para os empreendimentos com área impermeabilizada superior a 500 m² (DRUMOND, 2012).

A Lei Municipal nº 13.246 de 2003, trata sobre a construção de reservatório para retenção de águas pluviais em conjuntos habitacionais, áreas comerciais e industriais, e loteamentos do município de São Carlos. Essas áreas, relacionadas acima, que possuam área superior a um hectare, devem apresentar ao órgão público municipal estudo sobre a viabilidade técnica e financeira para construção desses mecanismos de minimização de cheias (ALMEIDA, 2014).

A legislação municipal de Porto Alegre-RS, estabelece uma vazão máxima que pode ser lançada na rede pública de água pluvial por um lote urbano. Portanto, em lotes que possuam uma vazão maior, deve-se adotar medidas que reduza esse valor, como os reservatórios de lote. Apresenta ainda, como deve ser efetuado o dimensionamento de reservatórios de retenção e ainda, possibilita aliar ao uso de outras técnicas compensatórias afim de diminuir o volume do reservatório a ser construído. Por fim, tem-se a cidade de Curitiba-SC, que passou a ter instrumento legal em 2007, no qual obriga que os empreendimentos que impermeabilizarem área igual ou superior a 3.000 m^2 e que apresentarem redução da taxa de permeabilidade de 25 % será necessária a implantação do reservatório de retenção (DRUMOND, 2012).

3.4 Técnicas compensatórias de controle na fonte

O uso das técnicas compensatórias possibilita a continuação do processo de urbanização das cidades sem a necessidade de realizar grandes investimentos em obras de drenagem. Nos dias atuais, onde tanto se busca o desenvolvimento sustentável, a utilização destas técnicas proporciona condições para o desenvolvimento sustentável das áreas urbanas (OLIVEIRA; BARBASSA; GONÇALVES, 2016).

Segundo Almeida (2014), esse método permite a modulação do sistema conforme o crescimento urbano, além de ser possível combiná-lo com o sistema clássico de drenagem. Devido a este último, tem-se uma minimização dos custos com o sistema clássico, visto que, reduz o diâmetro das tubulações e, conseqüentemente, reduz o tempo e a vazão de pico. Exemplos destes tipos de dispositivos são: reservatórios de lote, pavimentos permeáveis, telhados verdes e jardins rebaixados.

O pavimento permeável é um tipo de pavimento alternativo, desenvolvido para aumentar a permeabilidade e conseqüentemente a infiltração de água no solo. Os telhados verdes são estruturas capazes de suportar uma vegetação sobre o telhado da edificação, sendo sua composição estrutural: laje, camada impermeabilizante, filtro, substrato e camada de vegetação. O jardim rebaixado consiste no aproveitamento de áreas de jardins existentes no

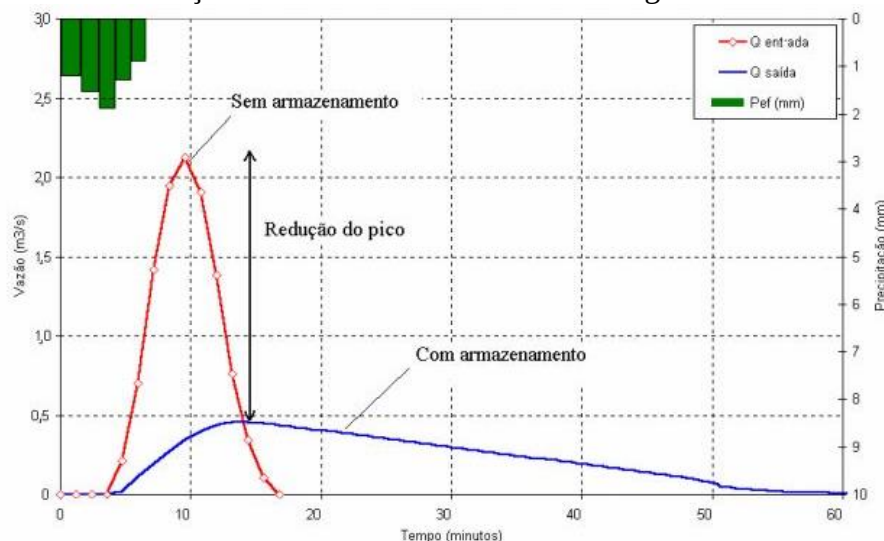
terreno da edificação ou mesmo em área pública para armazenar e infiltrar, em um rebaixo, as águas pluviais. O reservatório de lote será detalhado minuciosamente no Tópico 3.5 deste trabalho, por se o foco do estudo (ALMEIDA, 2014; OHNUMA JÚNIOR, 2008; VASCONCELOS, 2014).

3.5 Reservatórios de retenção no lote

Os reservatórios de lote são mecanismos para o controle de águas pluviais na fonte que possibilitam a redução do tempo de concentração, suavizando o pico do hidrograma e corrigindo a perda de capacidade de armazenamento do solo, devido sua impermeabilização (ARBOIT, 2014). Conforme Tassi (2002), a sua função é “promover a redução do pico das enchentes, através do amortecimento conveniente das ondas de cheia, pelo armazenamento temporário dos volumes escoados”. Os efeitos deste dispositivo sobre o hidrograma pode ser conferido na Figura 6.

Toni (2013) ressalta que os reservatórios de lote não provocam redução do volume de escoamento superficial, e sim, uma distribuição das vazões por um período maior, tendo assim, um volume útil temporário, com uma parcela do escoamento superficial.

Figura 6 – Efeito da instalação do reservatório de lote no hidrograma.



Fonte: Porto Alegre (2005).

Esses dispositivos não apresentam grande capacidade volumétrica e são construídos com estrutura de alvenaria de tijolos ou concreto, sendo instalados ao ar livre ou, mesmo, dentro da edificação, estando ou não conectados ao sistema de drenagem (COSTA; SIQUEIRA; MENEZES FILHO, 2007).

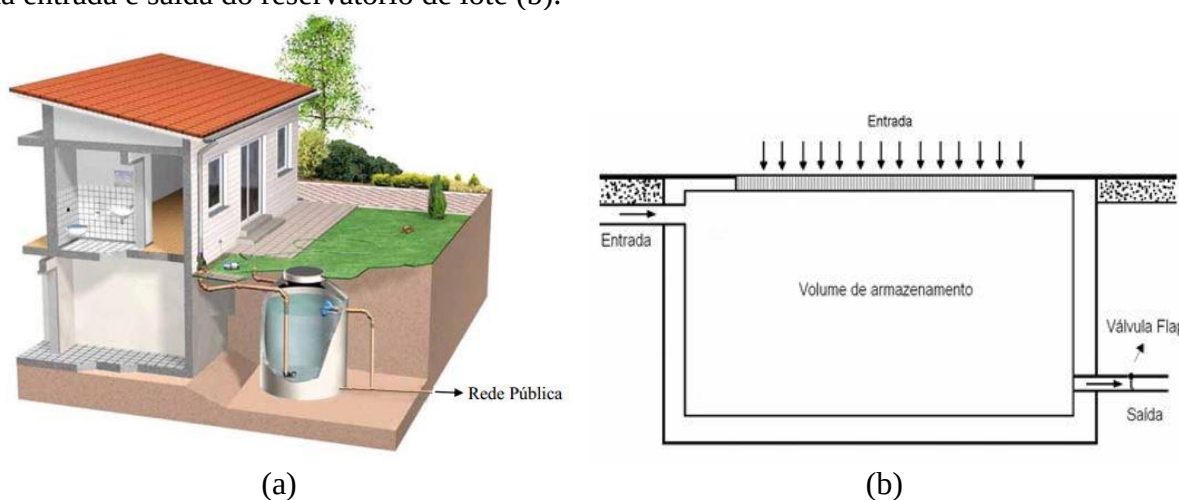
Ainda conforme Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007), os reservatórios de lote possibilitam o aproveitamento das águas pluviais para usos domésticos não potáveis, podendo assim exercer tanto a função do amortecimento de cheia como o de reserva de águas.

As águas precipitadas nos telhados da edificação e também, nos pavimentos impermeáveis são direcionadas para o reservatório de lote. Nele, a água é encaminhada para a tubulação de saída, que possui diâmetro menor que a de entrada e está conectada à rede de drenagem pública. Como a seção de entrada é maior que a saída, a água pluvial passa a ser armazenada no reservatório. Deve-se ter o cuidado de prever dispositivos de emergência que permitam a saída de excesso, provocadas por vazões superiores à de projeto (ARBOIT, 2014).

Os reservatórios de lote são classificados em: online e offline. Os reservatórios offline não estão sempre funcionando, pois são projetados para certas situações, quando o volume gerado pela precipitação esteja acima do limite escoado diretamente pela rede drenagem. Portanto, este dispositivo se encontra paralelo ao sistema de drenagem e esse desvio de vazão é proporcionado através do uso do by-pass. Já os reservatórios online estão sempre funcionando, estando implantado em série no sistema, de modo que todo o volume precipitado passa pelo sistema (SILVA, 2016).

Na Figura 7a é apresentado uma exemplificação do sistema de drenagem de uma edificação com reservatório de lote. Já na Figura 7b tem-se um corte do reservatório de lote para mostrar os detalhes da entrada e saída do dispositivo.

Figura 7 – Demonstração de um reservatório de lote instalado em uma edificação (a) e detalhe da entrada e saída do reservatório de lote (b).



Fonte: Drumond (2012) e Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007).

Um dos locais da edificação que poderia receber o reservatório de lote é a laje do telhado, pois facilitaria o escoamento (devido a ação da gravidade). Todavia, nesse local, tem-

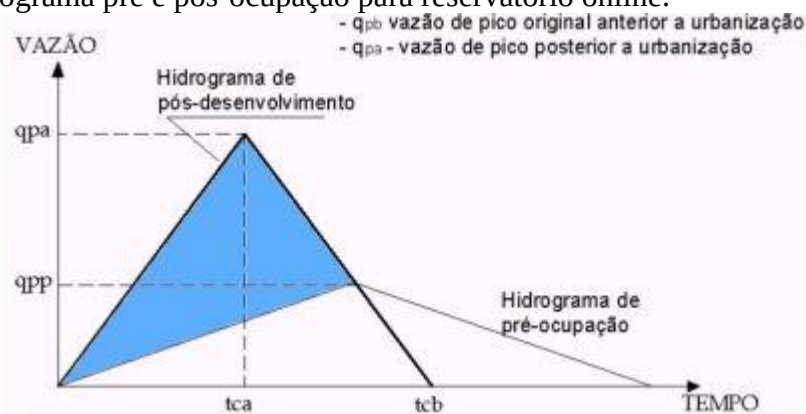
se uma dificuldade para execução da manutenção e também seria necessário um reforço da estrutura da edificação. Diante disso, a definição do local de implantação do reservatório, bem como, das suas características (dimensões, estrutura de descarga e vertedor) depende da concepção do projetista de acordo com as condições de projeto existentes (DRUMOND, 2012).

Segundo Arboit (2014) o dimensionamento dos reservatórios pode ser dividido em três etapas: determinar a vazão máxima de saída do reservatório; determinar o volume do reservatório e dimensionar o reservatório e suas estruturas de descarga.

3.5.1 Dimensionamento de reservatório de lote

De acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre de 2005, é necessário conhecer o hidrograma de pré-ocupação para realizar o dimensionamento do reservatório, de modo a se ter a vazão máxima anterior à ocupação na saída para a rede pública de drenagem. Deve-se também conhecer o hidrograma pós-ocupação. De posse dos dois hidrogramas e considerando que o reservatório é todo tipo online, é possível estimar o volume a ser armazenado. Na Figura 8, tem-se os dois hidrogramas e a área hachurada representando o volume a ser armazenado (PORTO ALEGRE, 2005).

Figura 8 – Hidrograma pré e pós-ocupação para reservatório online.



Fonte: Porto Alegre (2005).

Na realização do dimensionamento do reservatório deve ser considerado o risco hidrológico. Este risco está relacionado a “probabilidade de ocorrência ou de superação de um dado evento tomado como crítico”. O evento é dado por variáveis hidrológicas consideradas aleatórias, como a intensidade pluviométrica (NASCIMENTO; BAPTISTA, 2009).

O Tempo de Retorno (TR) representa o tempo, em anos, necessários para que uma intensidade pluviométrica seja superada ou igualada uma vez (LOPES, 2016). A Associação

Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 10.844 de 1989, relaciona o tempo de retorno com as características da área a ser drenada (ABNT, 1989)

Tassi (2002) em seu trabalho, analisou o dimensionamento de reservatórios para TR de 5 e 10 anos, na cidade de Porto Alegre. Ao final do trabalho, concluiu que os reservatórios dimensionados para o tempo de retorno de 5 anos apresentaram resultados mais satisfatórios, pois obteve maior redução nas vazões de pico. Baptista (2016) afirma que após a publicação deste trabalho, outros autores ratificaram esse resultado, sendo utilizado o TR de 5 anos no dimensionamento dos reservatórios.

O dimensionamento da saída do reservatório deve ser realizado considerando que vazão máxima de saída não ultrapasse a vazão máxima nas condições naturais. Outro fator que deve ser analisado é se existe limite de vazão a ser lançada no sistema público de drenagem, pois já existem municípios brasileiros, como Porto Alegre, que estão estabelecendo limites para essa vazão (DRUMOND, 2012).

Em cidades que dispõem do PDDU a vazão máxima de saída do lote já deve constar na legislação. Para se determinar esse parâmetro, pode-se usar o Método Racional, que é mais simples, e recomendado para pequenas bacias. Todavia, para bacias de médio e grande porte, deve-se utilizar o método do hidrograma unitário (LOPES, 2016).

Em relação as dimensões do reservatório, deve-se ter o cuidado com a altura do reservatório, de modo que não seja requerido a instalação de bombas para encaminhar a água do reservatório para o sistema público de drenagem. Portanto, deve-se regular a altura do dispositivo de retenção à cota de lançamento da rede pública de drenagem (DRUMOND, 2012). Arboit (2014) acrescenta que os reservatórios geralmente são retangulares, e como a altura é limitada, o dimensionamento da estrutura ocorre apenas em relação a área superficial.

Arboit (2014) afirma ainda que para a estrutura de descarga, devem ser determinados a área e o número de orifícios, e que se deve prever a saída de emergência, um verterdor, por exemplo, que possibilite o escoamento da água em excesso. Essa água em excesso pode ser encaminhada para a superfície do lote, para sarjetas ou diretamente para rede.

3.5.2 Dimensionamento do volume do reservatório de lote

O volume do reservatório de retenção é diretamente influenciado pela vazão de pico limite do lote, a ser descarregada para a rede de drenagem municipal. Apesar da diversidade de métodos existentes para sua determinação, grande maioria se baseia nos hidrogramas de pré e

pós-urbanização da área de estudo. Entre os métodos utilizados nesse dimensionamento destacam-se dois, o proposto por McCuen (1989) e o de Puls (1928).

O método proposto por McCuen propõem que a vazão máxima liberada pelo lote seja igual a vazão de pico do hidrograma para as condições de pré-urbanização. A partir desse pressuposto, o cálculo do volume do reservatório por ser realizado de forma bastante simples, necessitando-se apenas conhecer as vazões de pico para as condições de pré e pós-urbanização (ARBOIT, 2014; SILVA, 2016; TOMAZ, 2002). A equação proposta é dada por:

$$V = (Q_d - Q_a) * t_b / 2 \quad (1)$$

Onde:

V é o volume a ser armazenado no reservatório de retenção (m³);

Q_d é a vazão de pico após a urbanização (m³ s⁻¹);

Q_a é a vazão de pico antes da urbanização (m³ s⁻¹);

t_b é o tempo de base (s).

De acordo com Baptista (2016) o método de Puls caracteriza-se por considerar não apenas a vazão de pico do hidrograma, e sim, de todo o hidrograma. Portanto, apresenta resultados mais precisos, devido a distribuição das vazões ao longo do tempo.

O método de Puls é um dos modelos hidrológicos para simulação de propagação em reservatórios mais conhecidos, e possibilita a realização de um diagnóstico do comportamento da estrutura de reservação. Ele se baseia na equação de continuidade, que é fundamentada na conservação da massa de água entrando e saindo do reservatório (GRIBBIN, 2016; MENEZES FILHO, 2014; SOUSA, 2013).

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = I - O \quad (2)$$

Onde:

I é a vazão afluente ao reservatório durante o tempo Δt (m³ s⁻¹);

O é vazão do reservatório durante o tempo Δt (m³ s⁻¹);

ΔS é a variação no volume do reservatório durante o tempo Δt (m³);

Δt é o período incremental (s).

Gribbin (2016) afirma que a equação funciona como um balanço entre o volume de água que entra, sai e é armazenada pelo reservatório. A solução numérica para ela, é obtida através

de processos interativos, no qual seleciona-se um incremento de tempo e calcula-se o balanço para cada período. A Equação (2) pode ser reescrita de forma mais prática, da seguinte forma:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \quad (3)$$

Sendo os subscritos 1 e 2, respectivamente, o início e o fim do período Δt . Reorganizando os termos dessa equação, tem-se:

$$(I_1 + I_2) + \left[\frac{2S_1}{\Delta t} - O_1 \right] = \frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 \quad (4)$$

Os termos do lado direito da Equação (4) são desconhecidos, enquanto todos os termos do lado esquerdo são conhecidos por meio de cálculos anteriores. O primeiro termo ($I_1 + I_2$) é obtido através do hidrograma de entrada (pós-urbanização). O período incremental Δt deve ser arbitrado, sabendo-se que quanto menor o período, mais interações haverá. O S_1 é o volume de armazenamento no início de cada período incremental. E o O_1 é a vazão efluente no início de cada período (DRUMOND, 2012; SOUSA, 2013).

Assim, a resolução da Equação (4) necessita de três elementos: hidrograma de entrada; relação do volume de armazenamento com a elevação do nível de água na bacia de retenção; e da relação da vazão efluente com a elevação do nível da água na bacia de retenção (GRIBBIN, 2016).

Akan (1993) apud Tomaz (2002) apresenta uma sequência de procedimentos para aplicação do método de Puls, são eles:

- (1) De uma relação cota-volume e cota-descarga pode-se obter a curva de armazenamento S em função da vazão de saída O .
- (2) Selecionar um tempo de incremento, Δt . Preparar um gráfico onde conste a quantidade $\left[\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1 \right]$ na abscissa e em ordenada a vazão de saída O .
- (3) Para qualquer intervalo de tempo calcule $(I_1 + I_2)$ da hidrograma de entrada e $\left[\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1 \right]$ da condição inicial ou do tempo prévio.
- (4) Calcular $\left[\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 \right]$ utilizando a Equação (4).
- (5) Obtenha O_2 do gráfico obtido no passo (2). Esta será a vazão de saída no tempo t_2 .

- (6) Para o próximo passo, calcular $[^2S_2/\Delta t - O_2]$ subtraindo $2O_2$ de $[^2S_2/\Delta t + O_2]$ e volte para a etapa (3). Obviamente o valor de $[^2S_2/\Delta t - O_2]$ calculado em qualquer tempo será $[^2S_2/\Delta t - O_2]$ para o próximo.
- (7) Repetir o mesmo procedimento até a vazão de saída se igualar a zero.

Segundo Silva (2016) a determinação das curvas cota x vazão de descarga e cota x armazenamento dependem diretamente da estrutura de descarga e das dimensões do reservatório.

3.5.3 Dimensionamento do dispositivo de descarga

As estruturas de descargas, conforme apresentado no Manual de Hidráulica de Azevedo Netto (1998), podem se comportar como orifícios, bocais e tubos curtos, sendo sua separação de acordo com o valor obtido pela razão entre o comprimento do tubo (L) e o diâmetro (D). A classificação com os valores da razão é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação das estruturas de descargas.

Classificação	Relação L/D
Orifício	$\leq 1,5$
Bocal	$1,5 < L/D \leq 3,0$
Tubo curto	$> 3,0$

Fonte: Azevedo Netto (1998).

Drumond (2012) afirma que apesar dessa classificação não ser complexa, uma infinidade de trabalhos sobre o assunto, consideram as estruturas dos descarregadores de fundo como orifícios, independentemente do valor da relação L/D. A determinação da vazão de saída tanto de orifícios como bocais, que descarregam livremente para a atmosfera, é realizada por meio da equação:

$$Q = C_d A_c \sqrt{2gH} \quad (5)$$

Onde:

H é a carga sobre o centro do orifício (m);

A_c é a área do orifício (m²);

C_d é o coeficiente de descarga ($C_d = C_c C_v$).

Azevedo Netto (1998) apresenta tabelas de valores para C_c e C_v de acordo com o diâmetro e a carga, bem como para o C_d . Todavia, na prática utiliza-se o valor médio de C_d que é de 0,61.

De acordo com Tassi (2002), deve-se evitar que o diâmetro do descarregador seja muito pequeno, pois podem gerar problemas no funcionamento da estrutura. Entre os problemas, cita-se: facilidade de obstrução e necessidade de manutenção periódica do dispositivo. A obstrução da saída do reservatório faz com que a estrutura deixe de controlar as vazões, e possa vir a gerar problemas no lote.

3.5.4 Dimensionamento da saída de emergência

A saída de emergência é projetada de maneira a evitar transbordamentos dos reservatórios de retenção. Esse problema pode ocorrer por várias razões, mas as principais são: “uma precipitação pode exceder a precipitação de tempestade de projeto; ou a estrutura de saída pode ficar bloqueada, impedindo que a água armazenada saia da bacia rápido o bastante” (GRIBBIN, 2016).

Segundo Lopes (2016) a saída de emergência pode ser um vertedouro. O tipo de vertedor a ser utilizado no projeto do reservatório de retenção no lote é do tipo retangular, com parede delgada e sem contrações (Figura 9). A vazão de saída do vertedouro apresentada por Azevedo Netto (1998) foi a seguinte fórmula para:

$$Q = K L H^{3/2} \quad (6)$$

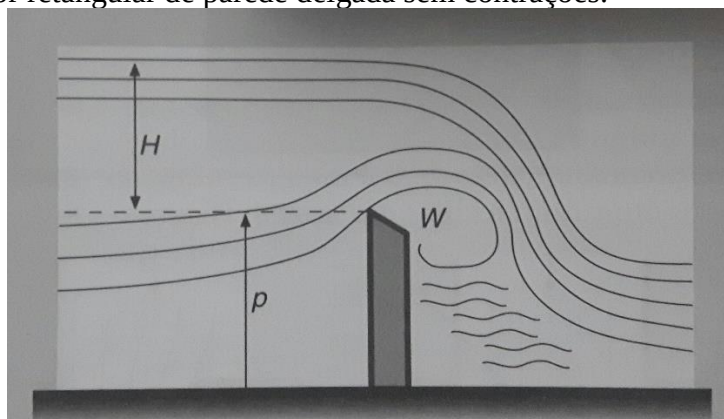
Onde:

K é dado por $\frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}$;

L é o comprimento do vertedor (m);

H é a carga sobre o vertedor (m).

Figura 9 – Vertedor retangular de parede delgada sem contrações.



Fonte: Azevedo Netto (1998).

3.6 Métodos e parâmetros hidrológicos

3.6.1 Chuva de Projeto

A chuva é considerada a principal forma de precipitação existente, visto que, a neve é de ocorrência rara, no Brasil, e as demais formas não apresentam grande contribuição para as cheias dos rios. Ressalta-se ainda, que a ocorrência de precipitação na forma de chuva pode ser medida facilmente. Para isso são utilizados parâmetros como: altura pluviométrica, duração, intensidade e período de retorno (ROSSI, 2014).

A altura pluviométrica (h) representa a quantidade de água precipitada sobre a área da bacia, sendo, portanto, a altura da lâmina de água do local da precipitação admitindo-se que não ocorra evaporação, escoamento ou infiltração. Este parâmetro é dado em milímetros. Já duração (t) é tempo entre o início da precipitação e seu término, medido, geralmente, em minutos ou horas. A intensidade está relacionada diretamente aos dois parâmetros anteriores, pois representa a velocidade de precipitação, ou seja, é dado pela razão entre altura pluviométrica e duração. Sua medida pode ser dada em mm min^{-1} ou mm h^{-1} . E o período de retorno ou tempo de retorno (TR) é dado em anos, representando o tempo necessário para que uma precipitação seja igualada ou superada (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

De acordo com Bertoni e Tucci (2013), a intensidade da precipitação é determinada por meio das equações provenientes da relação intensidade-duração-frequência (IDF). Essa relação é obtida a partir da análise das chuvas intensas durante um período de tempo extenso e representativo dos eventos extremos locais. A Equação IDF é do tipo:

$$i = \frac{a \cdot TR^b}{(t_r + c)^d} \quad (7)$$

Onde:

i é a intensidade pluviométrica (mm h^{-1});

a , b , c e d são valores característicos do IDF local;

TR é o tempo de retorno (anos);

t_r é a duração da chuva (minutos).

A Equação IDF varia de acordo com a localização geográfica, pois é influenciado por parâmetros empíricos locais, além do tempo de retorno e a duração do dispositivo a ser projetado (MELO, 2011). Devido a isso, Garcez e Alvarez (1988) afirmam que a equação obtida em uma região não pode ser estendida para outras regiões diversas.

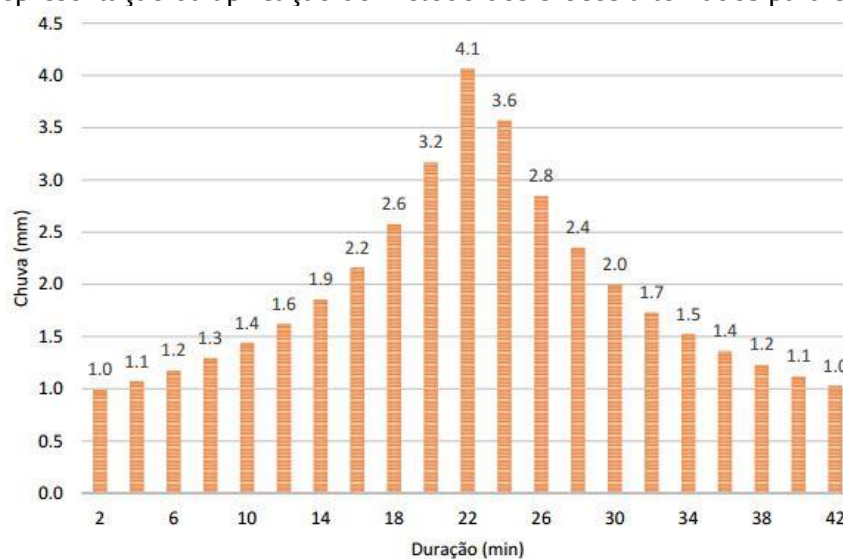
3.6.2 Distribuição Temporal das Chuvas

Para obtenção da distribuição temporal das chuvas existem diversos métodos disponíveis, todavia, nenhum deles apresenta uma fundamentação teórica profunda. São exemplos destes métodos: dos blocos alternados, de Huff, hietograma de Chicago e o hietograma triangular. Dentre esses citados, destaca-se o método dos blocos alternados, que é utilizado frequentemente em trabalhos que necessitam realizar essa distribuição (DRUMOND, 2012; SANTOS, 2010).

O método dos blocos alternados consiste em discretizar o tempo de duração da chuva em intervalos. Deve-se determinar a precipitação para cada intervalo, através da equação IDF. Posteriormente, deve-se calcular os valores incrementais da altura de precipitação para cada período de tempo, através da subtração entre a altura total para uma certa duração e o total da duração anterior (SANTOS, 2010).

Esses valores devem ser reorganizados de modo que o maior valor fique na região central, o segundo maior ficará após esse valor, o terceiro valor antes do maior valor e assim, sucessivamente, obtendo-se algo semelhante ao apresentado na Figura 10 (COSTA; SIQUEIRA; MENEZES FILHO, 2007).

Figura 10 – Representação da aplicação do método dos blocos alternados para chuva.



Fonte: Baptista (2016).

3.6.3 Método Soil Conservation Service – SCS

A transformação da precipitação em vazão pode ser realizada de diversas formas, todavia, o mais utilizado é o modelo hidrológico do *Soil Conservation Service* (SCS) (atualmente denominado de *National Resources Conservation Center*). Nesse modelo, é realizado uma aproximação da precipitação efetiva por meio do coeficiente Curva Número (CN) e construído o hidrograma de projeto através do método do hidrograma unitário (COLLISCHONN; TASSI, 2008; TONI, 2013).

A lâmina escoada devido a uma chuva de projeto é dada por:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad (8)$$

Onde:

P_e é a precipitação efetiva (mm);

P é a precipitação durante o evento (mm);

S é um coeficiente que depende da capacidade de infiltração e armazenamento do solo (do CN);

I_a é uma estimativa de perdas iniciais.

A estimativa de perdas iniciais é dada por:

$$I_a = \frac{1}{5} * S \quad (9)$$

Portanto, substituindo a Equação (9) na (8), tem-se:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad (10)$$

Lopes (2016) apresenta as seguintes condições: se $P_e < I_a$, então não há escoamento e $P_e = 0$; e se $P_e > I_a$, há escoamento, sendo P_e dado pela Equação (10).

Através da Equação (11) pode-se estimar o parâmetro S:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (11)$$

Segundo Silva (2016) o CN é um coeficiente que reflete a combinação das condições de umidades anteriores à ocorrência do evento de chuva, do grupo e da cobertura do solo. Tomaz (2002) afirma que existem três formas de obter o CN: através das características do solo; de pesquisas realizadas anteriormente na região; e da capacidade mínima de infiltração. Ainda segundo Tomaz (2002), o SCS realizou um estudo, nos Estados Unidos, de 4.000 solos e os agrupou em 4 grupos, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação do solo pelo método SCS.

Grupo	Classificação
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos contendo argilas expansivas e poucos profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: Tucci (2013).

Determinado o grupo do solo, consulta-se na Tabela de valores de CN de acordo com as condições de utilização ou cobertura do solo, proposto pela *United States Departament of Agriculture (USDA)*, no *Technical Release 55* (ANEXO A e B). Caso essas condições do solo

em questão apresentem variados valores para o CN, o valor do coeficiente será dado através de média ponderada (TONI, 2013).

$$CN = \frac{\sum_i^n CN_i * Ab_i}{\sum_i^n Ab_i} \quad (12)$$

Onde:

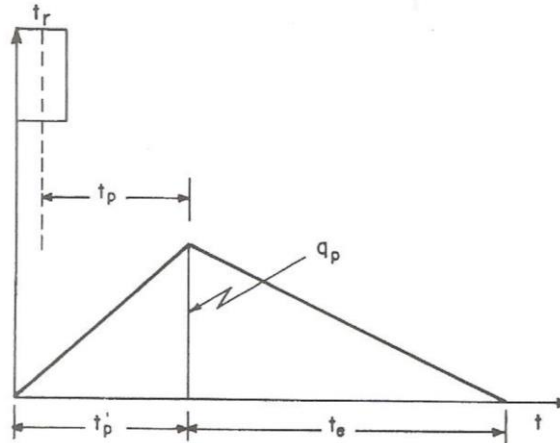
CN_i é o coeficiente da área homogênea i;

Ab_i é a área da região homogênea i.

A construção de um hidrograma que represente a bacia requer dados hidrológicos diretos da bacia em estudo, que geralmente não é possível se obter. Assim, se faz necessário a utilização de métodos indiretos, como o do Hidrograma Unitário Triangular do modelo SCS (TONI, 2013).

Este método foi desenvolvido pelo SCS para aplicação em pequenas bacias rurais nos Estados Unidos e, posteriormente, adaptado para áreas urbanas. Consiste em simplificar o hidrograma na forma de triângulo, cuja área representa o volume do escoamento superficial (SILVA, 2016).

Figura 11 – Hidrograma Triangular do método SCS.



Fonte: Tucci (2013).

O cálculo desse hidrograma unitário triangular é realizado através das seguintes relações, conforme apresenta Lopes (2016):

a) Tempo de pico (t_p): estimado como 60 % do tempo de concentração (t_c) da bacia;

$$t_p = 0,6 * t_c \quad (13)$$

b) Tempo de ascensão (t'_p): considera-se para sua estimativa o tempo de pico e metade da duração da precipitação;

$$t'_p = t_c + t_r/2 \quad (14)$$

c) Tempo de base (t_b): estimado a partir do tempo de ascensão do hidrograma;

$$t_b = t'_p + 1,67t'_p \quad (15)$$

d) Vazão de pico (q_e): conhecido o tempo de ascensão e a área da bacia (A) é possível estimar a vazão de pico para uma chuva unitária.

$$q_e = \frac{0,208A}{t'_p} \quad (16)$$

3.7 Sistemas de Informações Geográficas – SIG

Segundo Teixeira e Galvêncio (2010) as Geotecnologias possibilitam grande desenvolvimento das pesquisas, bem como, auxiliam no planejamento, gestão, manejo e outras ações ligadas à estrutura do espaço geográfico. Conforme Felipe (2015) o uso das informações geoespacializadas vêm se mostrando um instrumento de grande valia para os processos de planejamento e tomada de decisão na área da engenharia.

O geoprocessamento compreende um conjunto de técnicas para o processamento, observação de dados e informações geográficas, possibilitando uma dinamização das análises espaciais. Compreende as geotecnologias as seguintes técnicas: Cartografia, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento remoto e Sistema de Posicionamento Global (CLEMENTE; SANTOS, 2017).

Santos (2015a) afirma que o atual SIG foi desenvolvido a partir do *Canadian Geographic Information System* (CGIS), durante a década de 1960, cujas primeiras aplicações foram em área do reflorestamento. Posteriormente, em 1970, a indústria dos SIG's foi se

consolidando, possibilitando a aceitação de versões comerciais dos sistemas a partir da década de 1980. Segundo Ladwig (2006), a tecnologia dos SIG's cresceu de forma rápida, tornando-se evidente a propagação e o uso, nos últimos anos, destes sistemas.

Os Sistemas de Informações Geográficas são um conjunto de ferramentas que permitem recolher, armazenar, recuperar, transformar e visualizar informações espaciais. Essas informações são relativas aos elementos presentes na superfície terrestre, podendo ser realizado a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos ocorrentes na superfície (FERRAZ, 2012).

Conforme Silva (2006b) através dos SIG's são obtidos dados gráficos que representam modelos do mundo real, em formato digital. Segundo Ferraz (2012) a descrição de elementos da superfície terrestre é possível devido ao cruzamento e integração da informação, que compreende à sobreposição de níveis distintos de informação. Diante disso, ele lista entre as vantagens dos SIG's, a produção rápida de mapas, devido a utilização de informações, em formato digital, já existente em banco de dados.

Além de auxiliar na gestão pública, as geotecnologias têm facilitado a realização de estudos hídricos. Sendo utilizados os arquivos no formato *Shapefile*, que são arquivos que já estão prontos para serem trabalhos, que reduzem tanto o custo como o tempo na execução do trabalho. No mercado existem diversos softwares, tanto gratuitos como comerciais, para estas técnicas, como o QGIS que é um software livre e gratuito (SILVA NETO et al., 2012).

4 METODOLOGIA

Inicialmente será caracterizada a área de estudo, onde serão implantados o sistema de retenção na fonte, detalhando os seguintes aspectos: a bacia hidrográfica no qual está inserida; o uso e ocupação do solo; a determinação das características hidrológicas (equação de chuvas, determinação do tempo de retorno e de duração da precipitação e a intensidade da precipitação). De posse desses dados, se torna possível a realização do dimensionamento do sistema de retenção na fonte e a análise de propagação de cheia no reservatório.

4.1 Obtenção de dados da área de estudo

A obtenção de dados sobre a área de estudo ocorreu através de pesquisa bibliográfica, conforme Markoni e Lakatos (2003), em livros, periódicos, trabalhos acadêmicos, principalmente dissertação e tese, e em informações disponibilizadas por órgãos governamentais.

Aliado a isto, a criação dos mapas temáticos ocorreu através do Sistema de Informação Geográfica – SIG, por meio do software livre (com linguagem de programação aberta) e gratuito, QGIS versão 2.14.11, e do Google Earth. A escolha do software QGIS foi influenciada, além de ser gratuito, por ser um programa de fácil manuseio, com ferramentas de geoprocessamento robustas e práticas.

Destaca-se que os dados das bacias hidrográficas do município em estudo, assim como, os limites de bairros (definido pelo IBGE) foram obtidos no formato *Shapefile*. Esse tipo de arquivo já vem pronto para ser trabalhado e editado no QGIS, permitindo que o usuário reduza seu tempo de pesquisa, necessitando apenas realizar a criação do banco de dados e recortes desejados.

Utilizou-se para confecção dos mapas e dos dados espaciais o sistema de projeção cartográfica *Universal Transversa de Mercator (UTM)*; datum SIRGAS 2000, o qual é o datum oficial do Brasil (IBGE, 2017a), e fuso (zona) 24 sul.

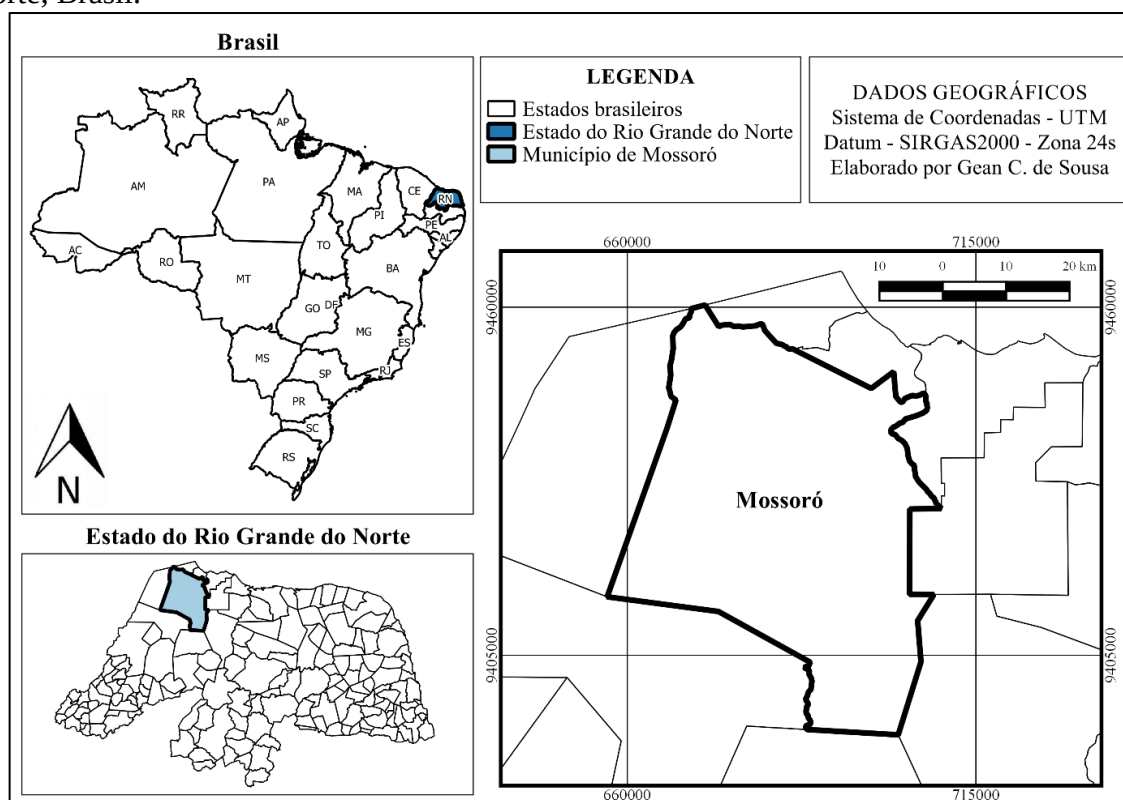
4.2 Caracterização da área de estudo

A cidade de Mossoró, localizada no Estado do Rio Grande do Norte, na região Nordeste brasileira, possui uma área territorial de 2.099,333 km² e uma população estimada, em 2016, de 291.937 habitantes, o que implica em uma densidade demográfica de 139,96 hab km⁻². É

considerada a segunda maior cidade do Estado, e está localizada entre duas grandes capitais, Natal-RN e Fortaleza-CE, conforme mostra a Figura 12 (IBGE, 2017b).

De acordo com Pinheiro (2006), o desenvolvimento urbano da cidade de Mossoró, durante os anos de 1940 e 1990, atraiu as populações vizinhas (como os trabalhadores rurais e salineiros), gerando um aumento significativo da população (duplicação da população a cada 10 ou 20 anos).

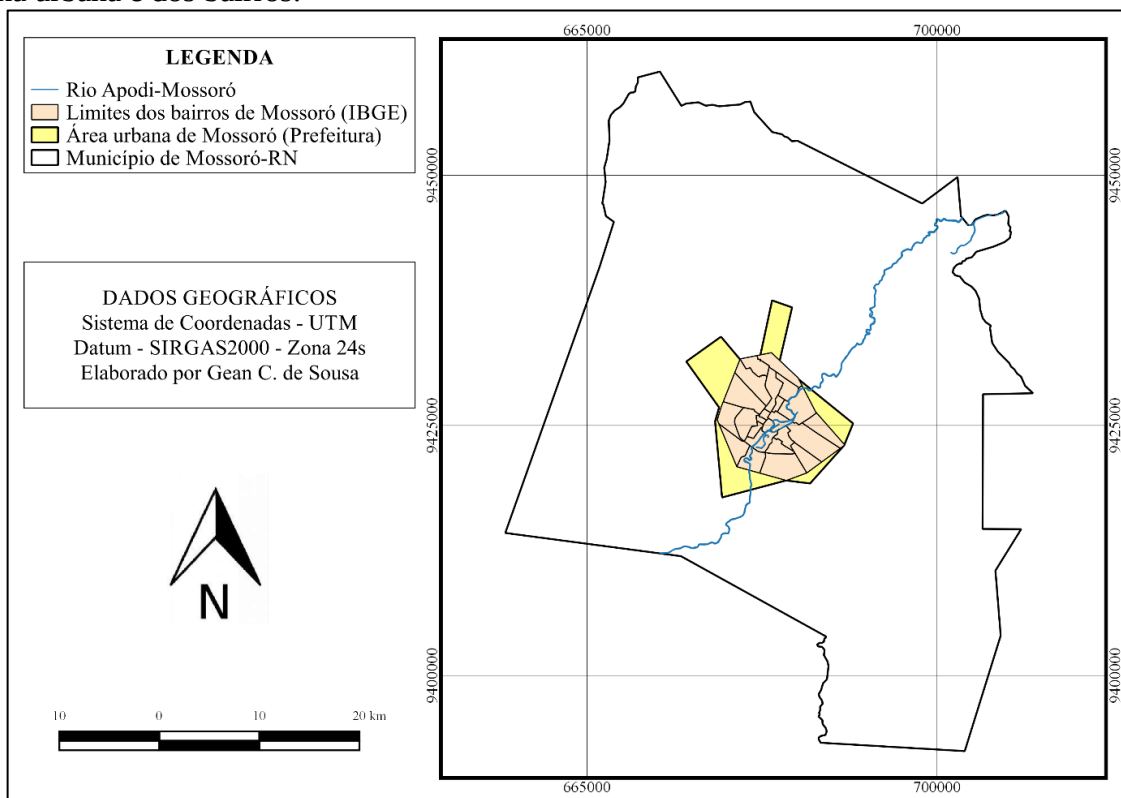
Figura 12 – Mapa de localização do município de Mossoró-RN, no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil.



Fonte: Elaboração própria (2017) adaptado do IBGE.

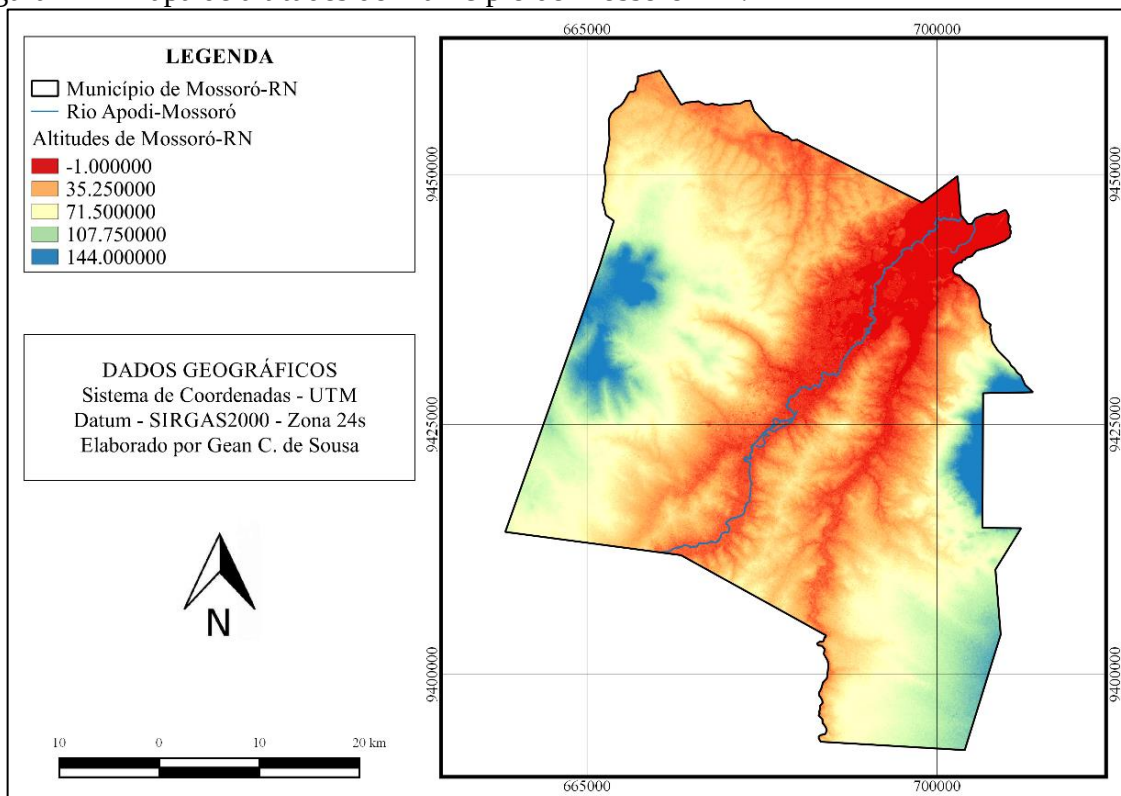
O município de Mossoró possui grande extensão territorial, estando dividido em áreas rurais e urbanas. A área destacada no mapa da Figura 13, mostra a área urbana do município e a delimitação dos bairros propostos pelo IBGE. Já nas Figura 14 e 15, são apresentados as altitudes e os tipos de solos existentes, conforme levantamento exploratório-reconhecimento de solos realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006a), no município em estudo.

Figura 13 – Mapa de localização do município de Mossoró-RN, com os respectivos limites da zona urbana e dos bairros.



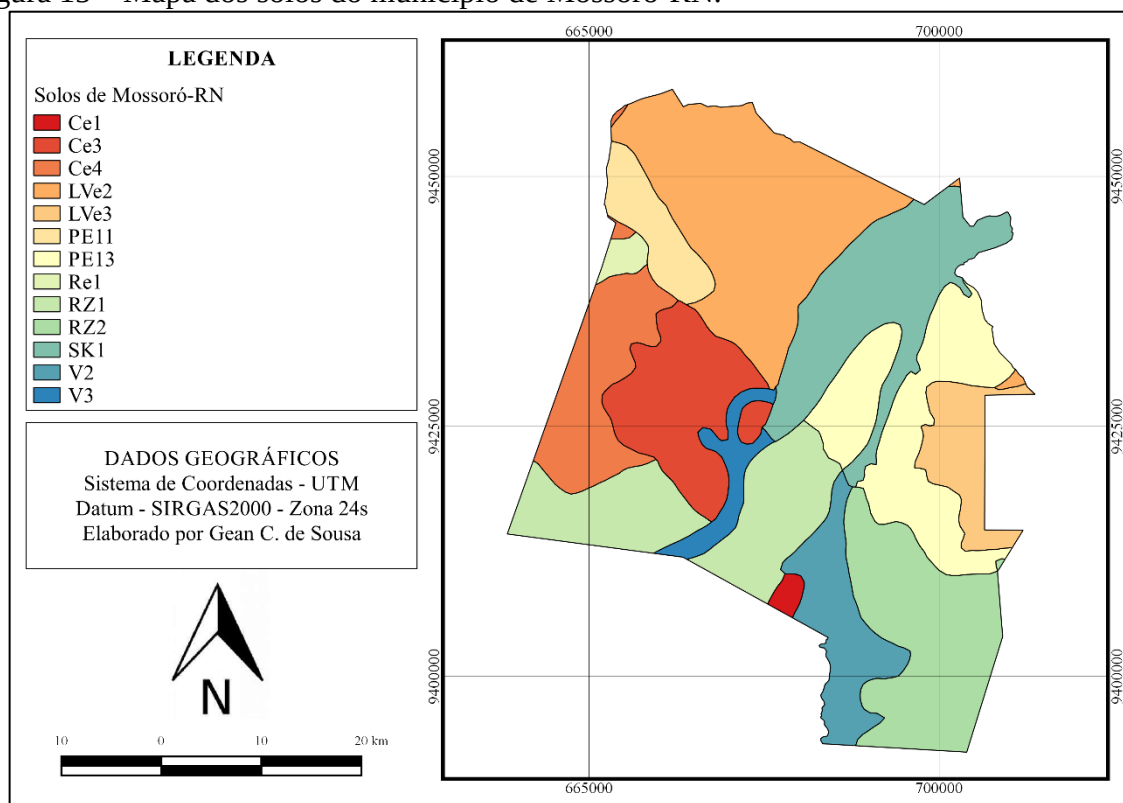
Fonte: Elaboração própria (2017) adaptado do IBGE.

Figura 14 – Mapa de altitudes do município de Mossoró-RN.



Fonte: Elaboração própria (2017) adaptado do Instituto Nacional de Pesquisa – INPE.

Figura 15 – Mapa dos solos do município de Mossoró-RN.



Fonte: Elaboração própria (2017) adaptado de EMBRAPA.

4.2.1 Delimitação da área de estudo

A área de estudo para análise do uso de reservatórios de retenção na fonte será o centro do município de Mossoró, que compõem parte da área urbana da cidade. Esta área foi considerada, segundo Pinheiro (2006), de boa localização para o escoamento de produtos produzidos na cidade, e por isso, atraiu grande parte da população que migrou para o município, culminando nas instalações de órgãos públicos, empresa, equipamento de uso coletivo e edificações residenciais. Sendo, portanto, uma área bastante urbanizada, e que costumeiramente sofre com os problemas gerados pelo processo de urbanização.

Na Figura 16 é apresentada a delimitação do centro do município, conforme os limites dos bairros estabelecidos pelo IBGE, através do Google Earth.

Figura 16 – Localização do centro do município de Mossoró-RN.



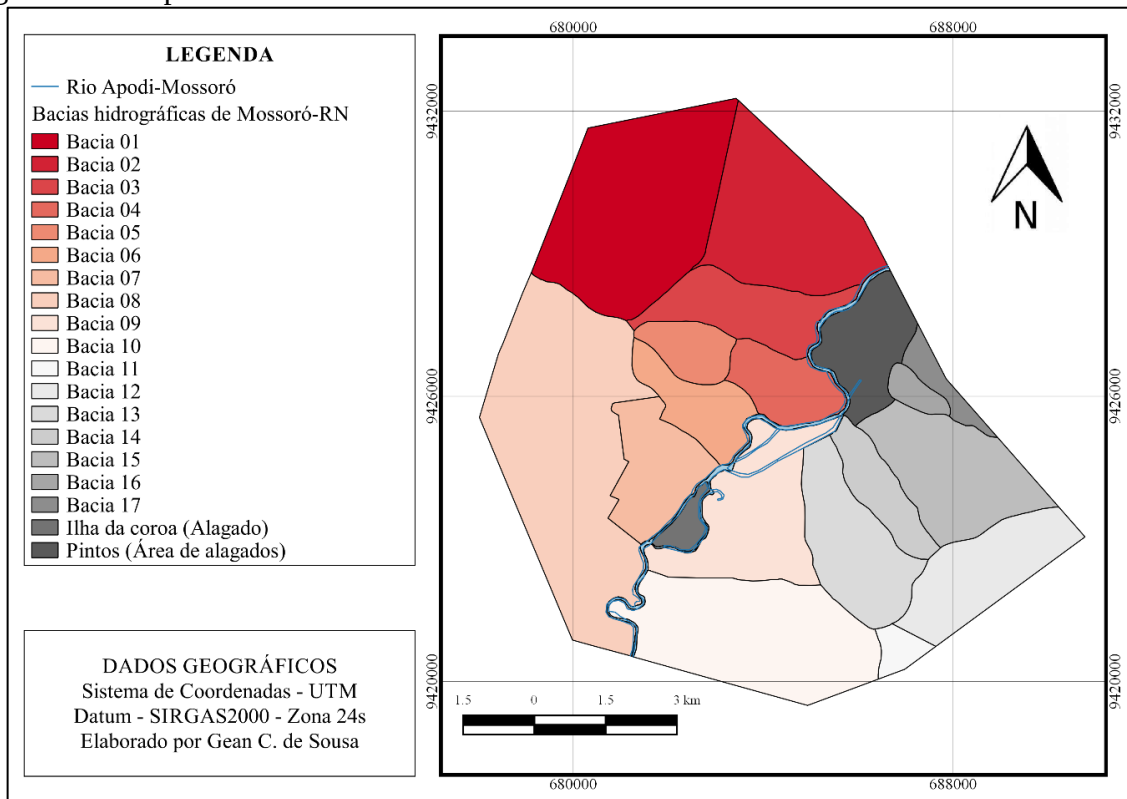
Fonte: Google Earth (2017).

4.2.2 Bacia Hidrográfica

O Estado do Rio Grande do Norte possui 16 bacias hidrográficas, estando o município de Mossoró inserido, quase inteiramente, na bacia Apodi-Mossoró. Esta bacia possui uma área de 14.276 km², que representa cerca de 26,82 % do território do Estado, sendo a maior bacia hidrográfica genuinamente potiguar (SOUZA; SILVA; DIAS, 2012; MOSSORÓ, 2010).

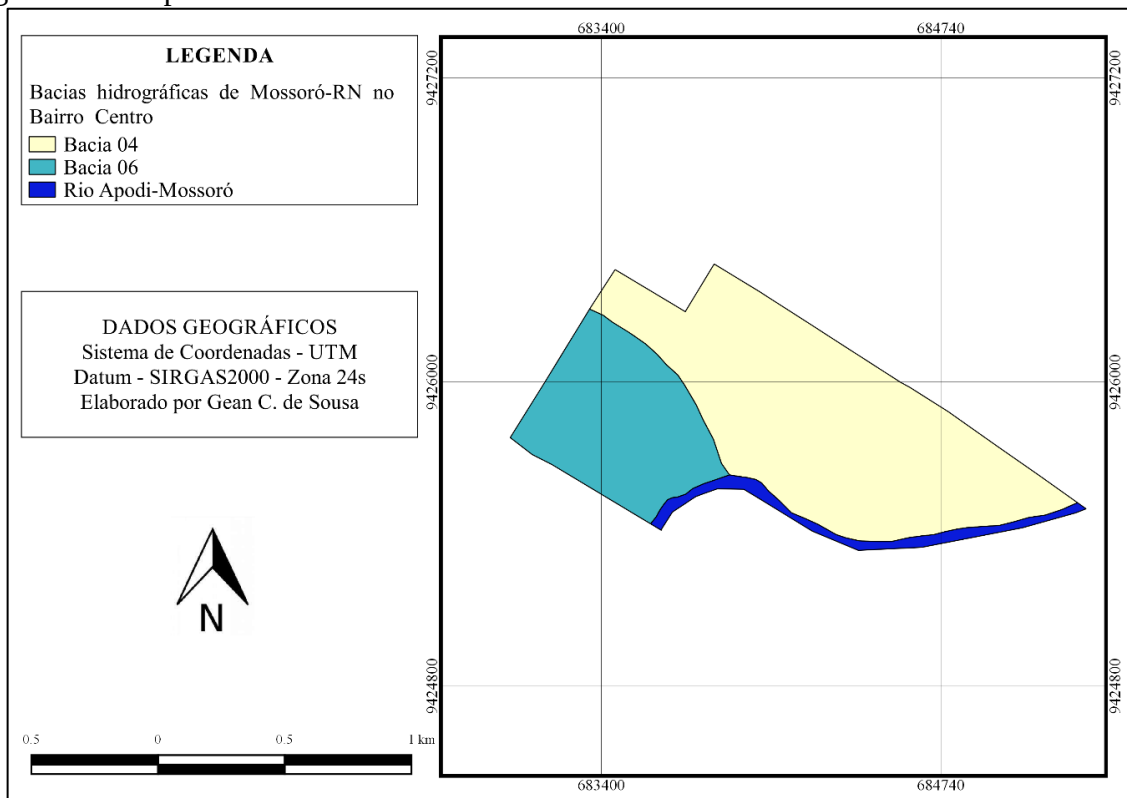
No perímetro urbano da cidade de Mossoró, existe uma divisão em 17 microbacias urbanas, conforme o mapa da Figura 17. Cruzando esse mapa com a delimitação do centro da cidade, verifica-se que a área a ser estudada, está inserida em duas microbacias (Figura 18).

Figura 17 – Mapa das microbacias urbanas de Mossoró-RN.



Fonte: Elaboração própria (2017) adaptado da Prefeitura Municipal de Mossoró.

Figura 18 – Mapa das microbacias urbanas de Mossoró-RN no centro.

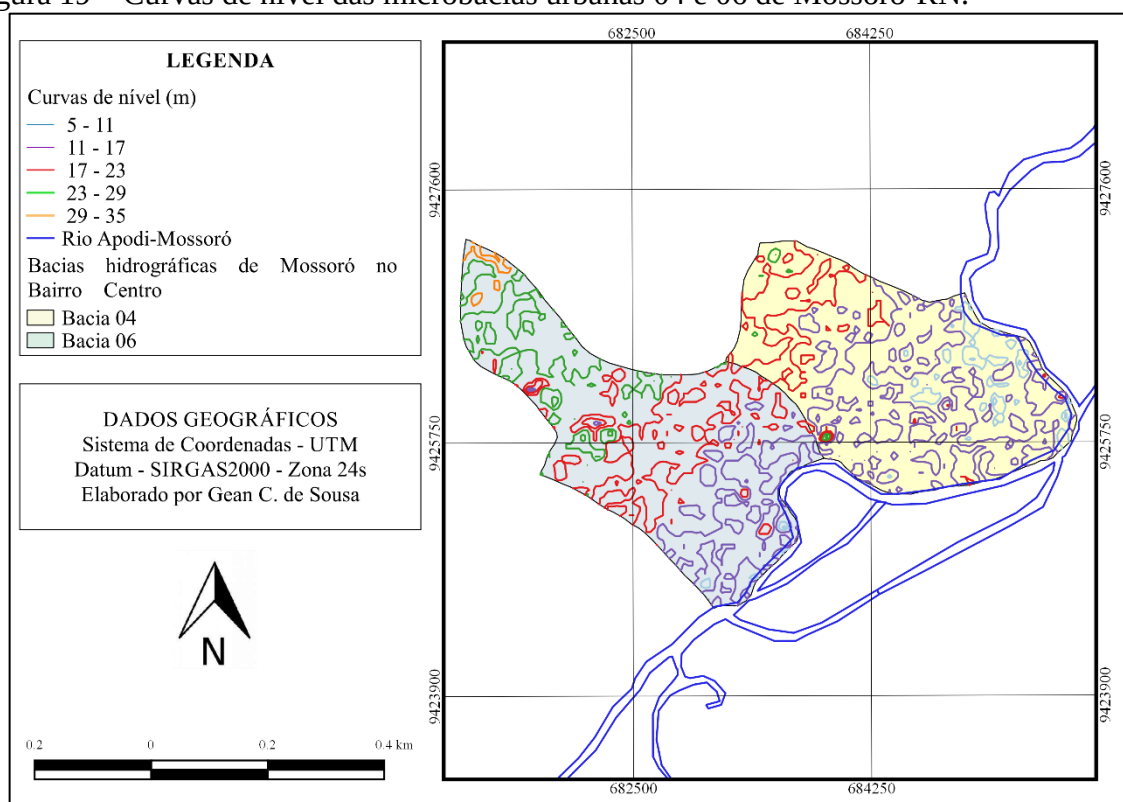


Fonte: Elaboração própria (2017) adaptado do IBGE e da Prefeitura Municipal de Mossoró.

4.2.3 Características Topográficas

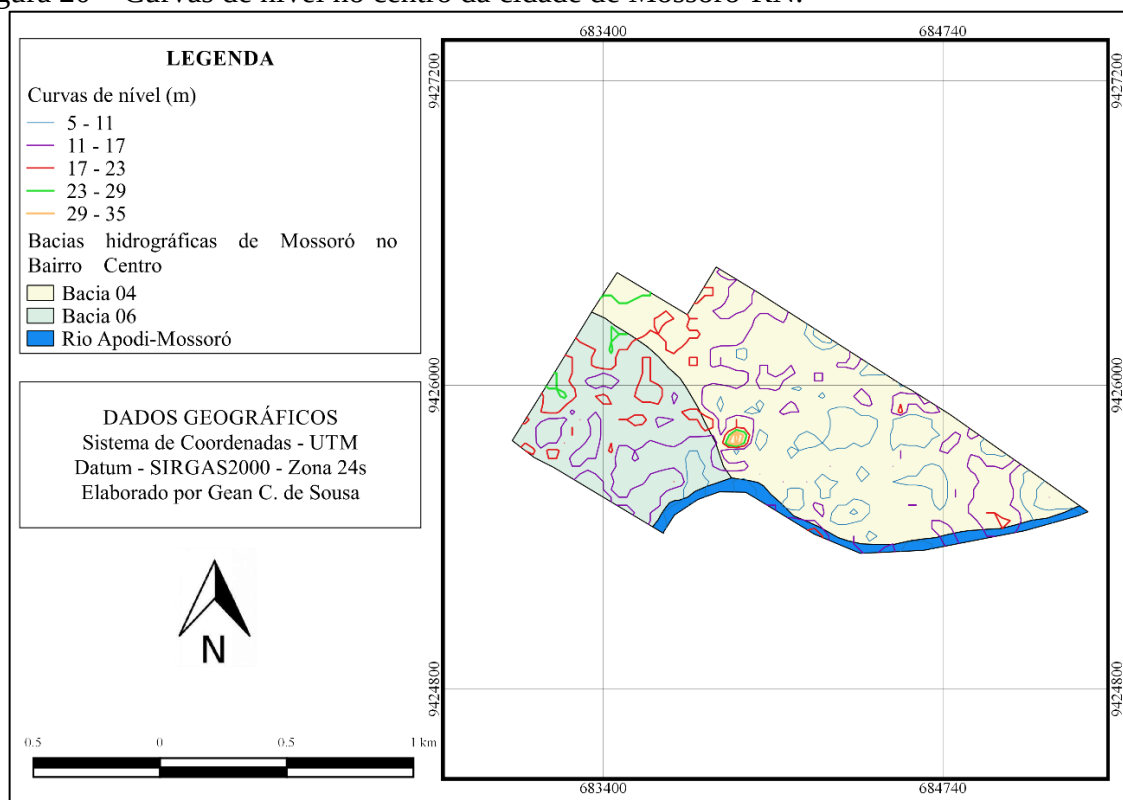
Como verificado na Figura 18, o centro de Mossoró está inserido nas microbacias 04 e 06. Portanto, foram obtidas as características topográficas para estas duas bacias, para que fosse possível a determinação do comprimento do talvegue e da diferença de altura entre o ponto mais distante e o exutório das bacias. A Figura 19 apresenta um mapa com as curvas de níveis para as duas bacias, e na Figura 20, as curvas de níveis apenas na área correspondente do centro. Essas curvas de níveis foram traçadas de 5 em 5 m.

Figura 19 – Curvas de nível das microbacias urbanas 04 e 06 de Mossoró-RN.



Fonte: Elaboração própria (2017).

Figura 20 – Curvas de nível no centro da cidade de Mossoró-RN.



Fonte: Elaboração própria (2017).

4.2.4 Uso e Ocupação do Solo

No Plano Diretor de Mossoró são especificadas algumas regiões da Zona Urbana e de Interesse Social, denominadas de Áreas Especiais. Essas regiões precisam de um regime urbanístico específico, sendo restringidos parâmetros e padrões de uso e ocupação do solo (MOSSORÓ, 2006). Dentre as Áreas Especiais, destaca-se a Área Especial Urbana Central que corresponde ao centro da cidade.

Os índices urbanísticos especificados pelo Plano Diretor para as Áreas Especiais, são apresentados no Anexo I. Todavia, este anexo foi atualizado através da Lei Complementar nº 56 de 2011. Esses índices estão descritos no ANEXO C deste trabalho.

O foco deste trabalho são os lotes da área urbana central de uso não residencial. A partir do Anexo C é possível observar os índices urbanísticos para esse lote. Verifica-se que a ocupação máxima permitida é de 100 %, não sendo estabelecido uma taxa mínima de permeabilidade. A área dos lotes não residenciais verificados na Lei Complementar nº 56 são: lote mínimo de 200 m² e lote padrão de 360 m².

4.3 Caracterização Hidrológica

4.3.1 Equação das Chuvas

Já foram determinadas equações Intensidade-Duração-Frequência para diversas localidades brasileiras, tanto por instituições governamentais como em trabalhos sobre o assunto. Assim, através de pesquisa bibliográfica foi realizado uma procura pela equação das chuvas para o município de Mossoró-RN.

Entre as equações de chuvas intensas encontradas para o município, destaca-se a do trabalho de Santos (2015b), pois ele utilizou uma extensa série de precipitações (entre os anos de 1964 e 2013). A Equação IDF apresentada neste trabalho é dada por:

$$i = \frac{752,889 \cdot TR^{0,221}}{(t_r + 9,778)^{0,741}} \quad (19)$$

4.3.2 Determinação do Tempo de Retorno e da Duração da Precipitação

A dificuldade de determinar o tempo de retorno resulta na necessidade de se escolher valores que sejam aceitos pelo meio técnico. Conforme Porto et al. (2013), muitos órgãos do governo fixam o TR para diversos tipos de obra hidráulica. Para obras de Drenagem Urbana, na literatura técnica têm-se os valores estabelecidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que são reconhecidos internacionalmente.

Quadro 2 – Períodos de Retorno para diferentes ocupações da área.

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

Fonte: DAEE e CETESB (1980) apud Porto et al. (2013).

Considerando os estudos de Tassi (2002) e os períodos apresentado no Quadro 2 da DAEE e CETESB, será adotado um TR de 5 anos para microdrenagem em áreas comerciais, no dimensionamento do reservatório.

Conforme Drumond (2012) nos projetos de microdrenagem adota-se o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia. Essa consideração é feita, pois a chuva deve ter duração suficientemente longa para que toda a bacia contribua com o escoamento superficial. Todavia, Studart (2006) e Wilken (1978) afirmam que a duração da precipitação pode ser considerada entre $1/4$ e $1/5$ do tempo de concentração.

4.3.3 Intensidade da Precipitação

A intensidade de precipitação será determinada a partir da utilização da Equação IDF do município de Mossoró, considerando os seguintes parâmetros: tempo de retorno de 5 anos; e tempo de duração igual $1/2$ e também como $1/4$ do tempo de concentração.

Determinada a intensidade, deve-se realizar a distribuição temporal da chuva através do método dos blocos alternados, para posteriormente, realizar-se a transformação de chuva em vazão.

4.3.4 Tempo de concentração

De acordo com Silva (2016), existem diversos trabalhos acadêmicos que propuseram equações para determinação do tempo de concentração, todavia, grande parte deles são antigos e conseqüentemente, de difícil acesso. Assim, é comum nas pesquisas a citação de outra citação para determinação desse parâmetro.

Em seu trabalho, Arboit (2014), apresenta alguns métodos utilizados para determinação desse parâmetro, são eles: Kirpich, California Culverts Practice, Federal Aviation Agency, Onda Cinemática, SCS Lag fórmula, SCS – método cinemático e Dooge.

Silveira (2005) em seu estudo sobre desempenho de fórmulas de tempo de concentração, analisou 23 equações para determinação deste parâmetro em bacias urbanas e rurais. Ao final do trabalho, com base nas avaliações realizadas, ele recomendou algumas fórmulas para cada tipo de bacia.

Ainda segundo Silveira (2005), grande parte das equações destinadas a bacias urbanas apresentaram resultados satisfatórios para este tipo de bacias, todavia, três apresentaram resultados mais coerentes: equação de Shaake, Carter e Desbordes. Destaca-se a equação de

Carter, que foi recomendada como a melhor para bacias urbanas. Para sua formulação ele utilizou 29 bacias, com área de até 11 km².

Tomaz (2002) ressalta ainda que a obtenção dos dados para aplicação é mais rápida, visto que se necessita apenas do comprimento do talvegue (L), em km, e da declividade média (S), em m/m. A declividade média é dada pela razão entre o comprimento (L) e diferença de altitude (H), em m, entre o ponto mais distante e o exutório. Na equação de Carter apresentada por Silveira (2005), o tempo t_c fornecido é dado em hora.

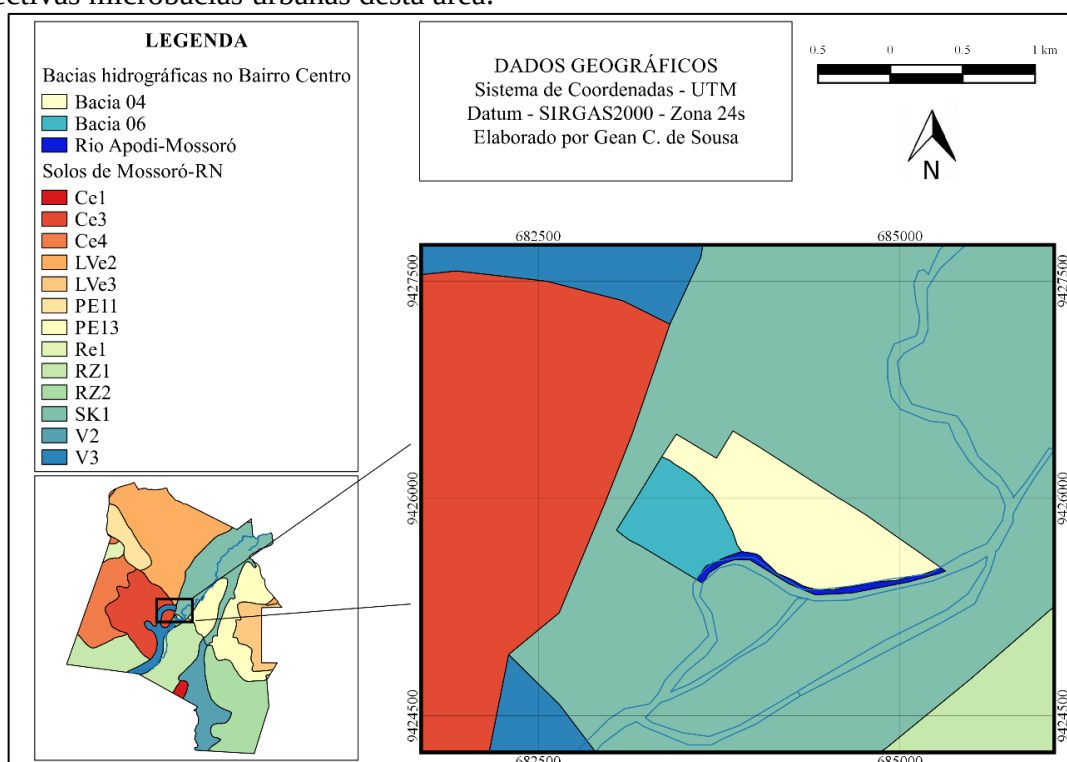
$$t_c = 0,0977 * L^{0,6} S^{-0,3} \quad (20)$$

4.3.5 Transformação de Chuva em Vazão

A transformação de chuva em vazão será realizada através do Método SCS, com a obtenção do Hidrograma Triangular Unitário. Para aplicação desse método necessita-se definir o CN para o período de pré e pós-urbanização.

Através do QGIS, sobrepondo o limite do centro de Mossoró, com o mapa dos solos identificados na cidade pela EMBRAPA (2006a), obteve-se a Figura 21.

Figura 21 – Mapa dos solos de Mossoró-RN, com sobreposição do limite do centro e das respectivas microbacias urbanas desta área.



Fonte: Elaboração própria (2017) adaptado do IBGE e da EMBRAPA.

Pela Figura 21, observa-se que o solo existente no centro é do tipo SK1, Solonchak, que corresponde a classificação antiga dos solos. Atualmente, esta classificação corresponde a Gleissolo, segundo EMBRAPA (2006b). Conforme essa classificação, são solos hidromórficos, constituídos por material mineral.

Segundo EMBRAPA (1971), esse tipo de solo é encontrado, geralmente, em áreas baixas do litoral, e são influenciados pelas águas do mar. Acrescenta-se ainda, que os sedimentos vão desde argilosos até arenosos. Este órgão realizou uma análise física e química em uma amostra de solo retirada a 8 km do centro de Mossoró. Apesar de não ser tão próximo, este foi o ponto de coleta mais próximo do centro. Nessa análise obteve 57,00 % de argila, 16,00 % de silte e 27,00 % de areia.

A vegetação ocorrente na cidade é a Caatinga, que é pouco densa. As características dessa vegetação são: caráter seco, ocorrência de cactácea e plantas de pequeno porte e espalhadas. É possível ainda verificar a ocorrência de carnaubal, cuja vegetação natural é a carnaúba, que são espaçados e iluminados, além de vegetação halófica. Essa vegetação, devido à proximidade das margens de cursos d'água, suportam altas taxas de salinidade (OLIVEIRA JÚNIOR, 2016; PINHEIRO, 2006).

Diante da fundamentação apresentada, a categoria (do Quadro 1) mais próxima do solo existente no centro da cidade é o Grupo C. Para a determinação do CN é necessário ainda a seleção da cobertura de solo da região. Para isso será considerado no período de pré-urbanização a tabela do Anexo A cujos os CN são para regiões semiáridas. O grupo de cobertura selecionado é o de arbustos de deserto em situação de cobertura até 30 % da área (CN = 85). Já para o período de pós-urbanização será considerado a tabela do Anexo B, para áreas urbanas. Neste anexo, é descrito que para áreas impermeáveis, como nos lotes do centro de Mossoró onde é permitido a total impermeabilização do terreno, pode ser empregado um CN = 98.

Serão obtidos dois hidrogramas unitários (período de pré e pós-urbanização). O cálculo do hidrograma final, de um evento complexo, ocorre por meio da aplicação dos princípios de proporcionalidade e superposição, a partir do hidrograma unitário. Esse processo é conhecido como convolução de hidrograma (SANTOS, 2010).

4.4 Projeto de reservatório de retenção na fonte

A partir da obtenção dos dois hidrogramas, é possível realizar o dimensionamento do reservatório de retenção. Para a determinação do volume, será utilizada a proposição feita no

Método de McCuen. Por meio deste método e com os parâmetros hidrológicos já determinados para a cidade de Mossoró, pode-se determinar uma equação para a estimativa do volume necessário para um reservatório a ser instalado em um lote no centro da cidade.

Os dispositivos de descarga do reservatório serão dimensionados conforme a equação apresentada no Manual de Hidráulica de Azevedo Netto (1998). Todavia, a saída de emergência a ser dimensionada não será um vertedouro, sendo considerado apenas um orifício para o escoamento da água em excesso.

A análise da propagação de cheia no reservatório, ou seja, a determinação do hidrograma de saída do dispositivo será feita por meio do Método Puls. Os métodos serão aplicados através de planilhas eletrônicas do Microsoft Excel 2016 (conforme Apêndices A, B, C, D e E).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos por meio de gráficos e tabelas resultantes da aplicação dos métodos apresentados na seção anterior, para os cenários de pré e pós-urbanização e após a implantação de um reservatório de retenção, na escala de um lote no centro da cidade de Mossoró-RN. Conforme caracterização da área de estudo realizado, o centro está inserido em duas microbacias, 04 e 06, e por isso, será necessário realizar a determinação do tempo de concentração de cada microbacia.

As características da área de estudo (comprimento do talvegue e desnível) que irão influenciar diretamente nos parâmetros hidrológicos (tempo de concentração, duração da chuva e intensidade da chuva de projeto) são modificados de acordo com a bacia a ser analisada.

5.1 Tempo de concentração e duração da precipitação

Através da Figura 19, obteve-se os comprimentos do talvegue e o desnível das microbacias 04 e 06. A microbacia 04 possui um comprimento de 2,55 km e desnível de 22 m, enquanto a microbacia 06 tem comprimento de 3,26 km e desnível de 33 m. A declividade média foi de 0,0086 e 0,0101 m/m, respectivamente, das microbacias 04 e 06.

Devido à grande influência do comprimento do talvegue na Equação 20, encontrou-se um tempo de concentração maior para a microbacia 06 (47,25 min). O tempo de concentração da microbacia 04 é 42,78 min. O menor tempo de concentração gera uma situação crítica, assim, será utilizado o tempo de 42,78 min.

O tempo de duração da precipitação deve ser estimado, de modo que possibilite o escoamento superficial em toda a bacia. Apesar de Drumond (2012) recomendar que esse tempo seja considerado igual ao tempo de concentração, avalia-se que o tempo de concentração obtido para esta bacia não condiz com os fenômenos de precipitação ocorrentes na cidade.

Optou-se por utilizar dois tempos de concentração para avaliar o comportamento do escoamento e alterações provocadas pela duração da precipitação. O primeiro tempo a ser analisado será considerando metade do tempo de concentração encontrado, ou seja, $t_r = 21,39$ min. Após isso, baseado em Stuardart (2006) e Wilken (1978), considerou-se o tempo como um quarto do tempo de concentração, gerando um $t_r = 10,69$ min.

A duração da precipitação será discretizada em intervalos de 2 min, conforme recomenda a literatura (PORTO ALEGRE, 2005). Definidos esses parâmetros, pode-se iniciar a análise dos cenários de pré-urbanização, pós-urbanização e com reservatório de lote.

5.2 Precipitação com duração de 23,62 min

5.2.1 Cenário 1: Pré-urbanização

O cenário 1 considera a situação do lote com cobertura natural, antes do processo de urbanização. Com a aplicação dos métodos detalhados anteriormente, foi possível obter a intensidade de precipitação da chuva de projeto ($t_r = 21,39$ min) de $84,02 \text{ mm h}^{-1}$. A lâmina de água gerada por essa precipitação é de 29,95 mm.

Os dados de intensidade e precipitação foram obtidos para cada intervalo de tempo, determinado o valor de precipitação desagregado e feito o reordenamento, para obtenção da precipitação de projeto. De posse da precipitação de projeto, do armazenamento e perdas iniciais da precipitação (obtidas com o CN de 85) pode-se calcular a precipitação efetiva. A Tabela 3 apresenta os dados obtidos para a precipitação efetiva.

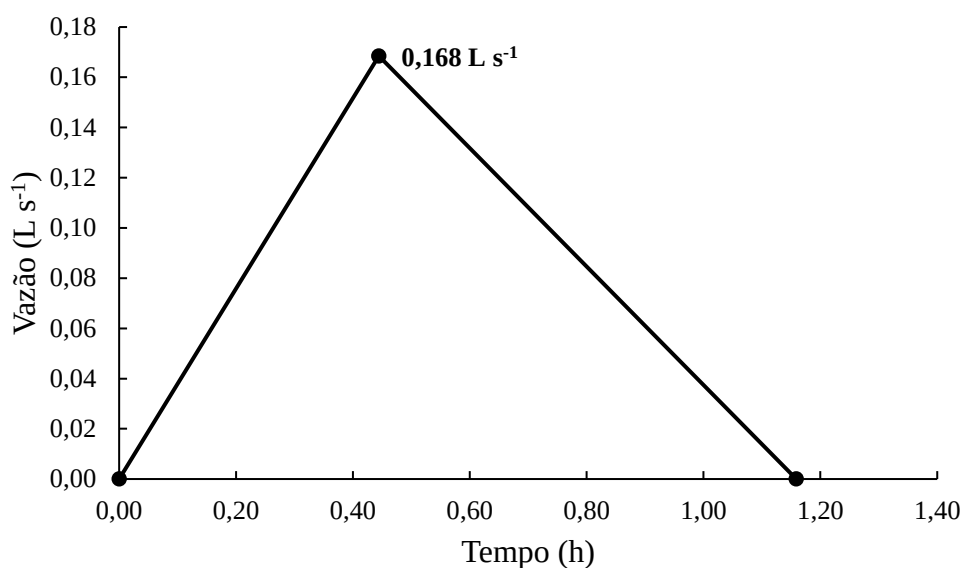
Tabela 3 – Dados da precipitação de projeto para o Cenário 1 com $t_r = 21,39$ min.

N _{int}	Δt (min)	i_{acum} (mm h ⁻¹)	P_{acum} (mm)	$P_{\text{desagregada}}$ (mm)	P_{projeto} (mm)	$P_{\text{projeto acum.}}$ (mm)	P_e (mm)	$P_{e \text{ desagregada}}$ (mm)
1	2	172,80	5,76	5,76	1,40	1,40	0,00	0,00
2	4	153,84	10,26	4,50	1,66	3,06	0,00	0,00
3	6	139,14	13,91	3,66	2,04	5,10	0,00	0,00
4	8	127,36	16,98	3,07	2,63	7,73	0,00	0,00
5	10	117,69	19,61	2,63	3,66	11,39	0,12	0,12
6	12	109,58	21,92	2,30	5,76	17,15	1,26	1,14
7	14	102,67	23,96	2,04	4,50	21,65	2,80	1,53
8	16	96,71	25,79	1,83	3,07	24,71	4,10	1,30
9	18	91,50	27,45	1,66	2,30	27,02	5,18	1,09
10	20	86,91	28,97	1,52	1,83	28,85	6,11	0,93
11	22	82,82	30,37	1,40	1,52	30,37	6,92	0,81

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Com os valores da área do lote (usado a área do lote padrão da área especial urbana central) e os valores de tempos de concentração pode-se obter o hidrograma unitário triangular (para uma precipitação de 1 mm), conforme Figura 22. A vazão de pico do hidrograma unitário foi de $0,168 \text{ L s}^{-1}$, bem pequena, devido ao valor da área do lote utilizado. O tempo de base deste hidrograma é 1,16 h.

Figura 22 – Hidrograma unitário triangular para o lote padrão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A partir dos dados apresentados na Tabela 3 e do hidrograma unitário determinado, por meio convolução, obtém-se o hidrograma do cenário 1. Este hidrograma possui uma vazão máxima de $1,066 \text{ L s}^{-1}$, que representa o maior escoamento provado pela precipitação no lote do terreno nas condições naturais, antes da urbanização.

5.2.2 Cenário 2: Pós-urbanização

Este cenário consiste na avaliação da atual situação dos lotes do centro de Mossoró, devido a ocorrência da urbanização das cidades. Os dados obtidos de intensidade e precipitação da chuva de projeto obtidos no cenário 1, não são alterados, pois não sofrem influência do tipo de cobertura do solo. O hidrograma unitário da Figura 22 também não é alterado.

Já a capacidade de armazenamento do solo e as perdas iniciais são diretamente influenciados pela cobertura, e por isso, foram alterados em relação ao cenário 1. Os valores obtidos para esses parâmetros foram 5,18 mm e 1,04 mm, respectivamente. Pode-se observar que em relação os valores obtidos no cenário 1 (44,82 mm e 8,96 mm), a capacidade de armazenamento do solo diminuiu drasticamente, bem como as perdas iniciais. A Tabela 4 apresenta os dados de precipitação de projeto para o cenário 2.

Tabela 4 – Dados da precipitação de projeto para o Cenário 2 com $t_r = 21,39$ min.

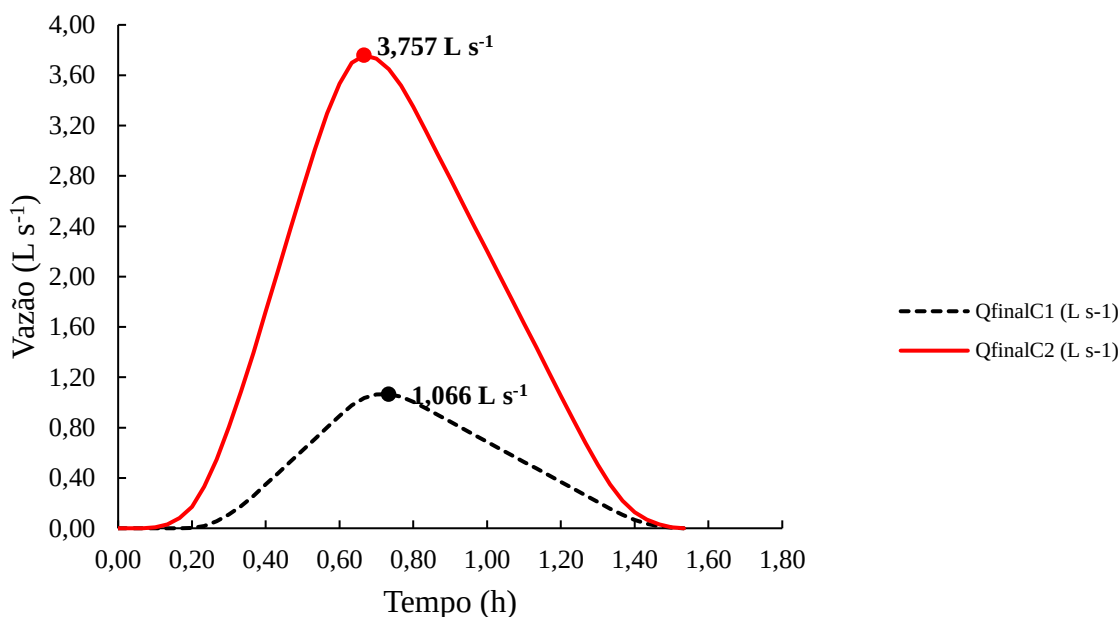
Nint	Δt (min)	I_{acum} (mm h ⁻¹)	P_{acum} (mm)	$P_{\text{desagregada}}$ (mm)	P_{projeto} (mm)	$P_{\text{projeto acum.}}$ (mm)	P_e (mm)	$P_{e \text{ desagregada}}$ (mm)
1	2	172,80	5,76	5,76	1,40	1,40	0,02	0,02
2	4	153,84	10,26	4,50	1,66	3,06	0,57	0,54
3	6	139,14	13,91	3,66	2,04	5,10	1,79	1,22
4	8	127,36	16,98	3,07	2,63	7,73	3,77	1,99
5	10	117,69	19,61	2,63	3,66	11,39	6,90	3,13
6	12	109,58	21,92	2,30	5,76	17,15	12,19	5,29
7	14	102,67	23,96	2,04	4,50	21,65	16,47	4,28
8	16	96,71	25,79	1,83	3,07	24,71	19,43	2,96
9	18	91,50	27,45	1,66	2,30	27,02	21,66	2,23
10	20	86,91	28,97	1,52	1,83	28,85	23,44	1,78
11	22	82,82	30,37	1,40	1,52	30,37	24,92	1,48

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observa-se através da Tabela 4, que os valores encontrados para precipitação efetiva desagregada também foram modificados, de modo que para os primeiros intervalos (1 a 4) não foram mais iguais a zero. A convolução dos dados da Tabela 4 com o hidrograma unitário da Figura 22, gera o hidrograma do cenário 2, que possui uma vazão máxima de $3,757 \text{ L s}^{-1}$, maior que a do cenário 1.

Na Figura 23, tem-se a combinação dos hidrogramas dos cenários 1 e 2, onde pode-se verificar a variação na vazão de escoamento superficial gerada por um lote de 360 m^2 no centro de Mossoró. A variação obtida entre os hidrogramas foi de $2,691 \text{ L s}^{-1}$.

Figura 23 – Hidrograma dos Cenários 1 e 2 com $t_r = 21,39$ min para um lote de 360 m^2 .



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

5.3 Precipitação com duração de 10,69 min

5.3.1 Cenário 1: Pré-urbanização

Considerando a cobertura natural, obteve-se uma intensidade pluviométrica para chuva de projeto ($t_r = 10,69$ min) de $114,72 \text{ mm h}^{-1}$. Essa intensidade é maior que a obtida para a chuva de projeto com tempo de duração de 21,39 min. Todavia, em relação a lâmina de água gerado, na precipitação de 10,69 min, tem-se uma lâmina menor, de 20,45 mm.

Tabela 5 – Dados da precipitação de projeto para o Cenário 1 com $t_r = 11,81$ min.

Nint	Δt (min)	I_{acum} (mm h^{-1})	P_{acum} (mm)	$P_{\text{desagregada}}$ (mm)	P_{projeto} (mm)	$P_{\text{projeto acum.}}$ (mm)	P_e (mm)	$P_{e \text{ desagregada}}$ (mm)
1	2	172,80	5,76	5,76	2,63	2,63	0,00	0,00
2	4	153,84	10,26	4,50	3,66	6,29	0,00	0,00
3	6	139,14	13,91	3,66	5,76	12,05	0,20	0,20
4	8	127,36	16,98	3,07	4,50	16,55	1,10	0,90
5	10	117,69	19,61	2,63	3,07	19,61	2,04	0,95
6	12	109,58	21,92	2,30	2,30	21,92	2,90	0,86

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

O Hidrograma unitário apresentado na Figura 22 não é alterado devido o tempo de duração de precipitação. Desta forma, a vazão de pico do hidrograma unitário permanece de $0,168 \text{ L s}^{-1}$. Com os dados da Tabela 5 e o hidrograma unitário, gera-se o hidrograma do cenário 1 para o $t_r = 10,69 \text{ min}$, com vazão máxima de $0,467 \text{ L s}^{-1}$. Observa-se que em relação a vazão máxima do cenário 1 obtida na Figura 23, houve uma redução de aproximadamente de 57 % neste valor.

5.3.2 Cenário 2: Pós-urbanização

Para o cenário 2, com o tempo de precipitação $t_r = 10,69 \text{ min}$, não se tem alteração dos dados de intensidade e precipitação apresentados na Tabela 5, todavia, devido a alterações na cobertura do solo, gera-se uma alteração nos valores da precipitação efetiva. Diante disto, será apresentada na Tabela 6 os dados de precipitação de projeto para o cenário 2 com $t_r = 10,69 \text{ min}$.

Tabela 6 – Dados da precipitação de projeto para o Cenário 2 com $t_r = 10,69 \text{ min}$.

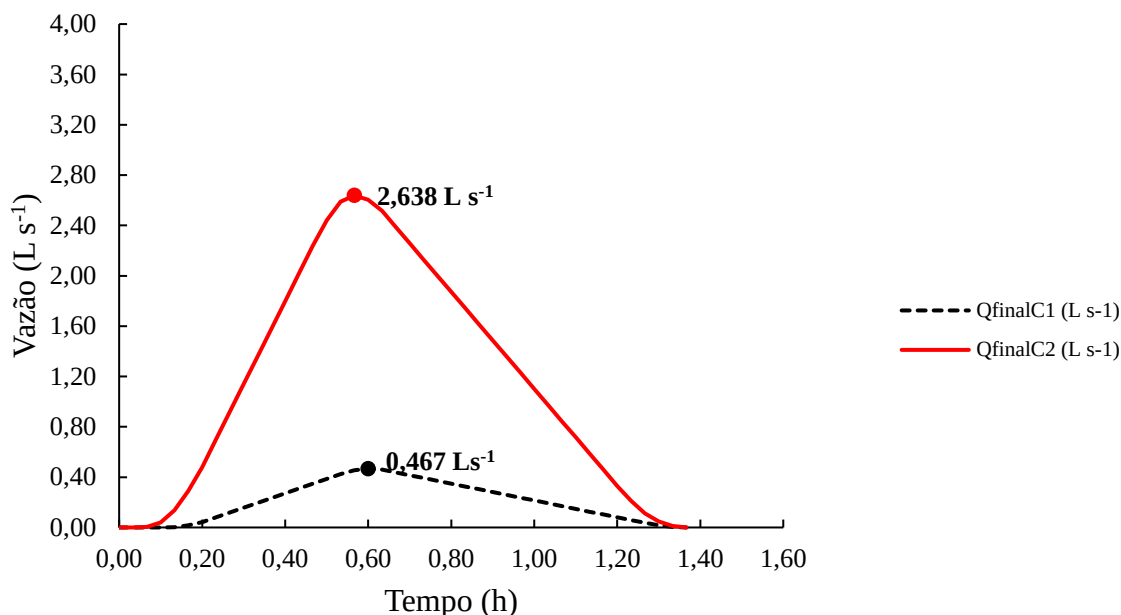
N _{int}	Δt (min)	I_{acum} (mm h ⁻¹)	P_{acum} (mm)	$P_{\text{desagregada}}$ (mm)	P_{projeto} (mm)	$P_{\text{projeto acum.}}$ (mm)	P_e (mm)	$P_{e \text{ desagregada}}$ (mm)
1	2	172,80	5,76	5,76	2,63	2,63	0,38	0,38
2	4	153,84	10,26	4,50	3,66	6,29	2,64	2,27
3	6	139,14	13,91	3,66	5,76	12,05	7,49	4,84
4	8	127,36	16,98	3,07	4,50	16,55	11,62	4,14
5	10	117,69	19,61	2,63	3,07	19,61	14,53	2,90
6	12	109,58	21,92	2,30	2,30	21,92	16,73	2,20

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Da convolução dos dados da Tabela 6 com o hidrograma unitária da Figura 22, obteve-se o hidrograma do cenário 2 (Figura 24) que apresenta uma vazão máxima de $2,638 \text{ L s}^{-1}$. Em comparação a vazão encontrada no hidrograma da Figura 23, sofreu redução de aproximadamente 30 %.

O hidrograma dos cenários 1 e 2 para $t_r = 11,81 \text{ min}$ é apresentado na Figura 24. Através deste hidrograma, verifica-se uma variação de $2,171 \text{ L s}^{-1}$ na vazão de escoamento superficial para um lote padrão no centro de Mossoró.

Figura 24 – Hidrograma dos Cenários 1 e 2, com $t_r = 10,69$ min para um lote de 360 m^2 .



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

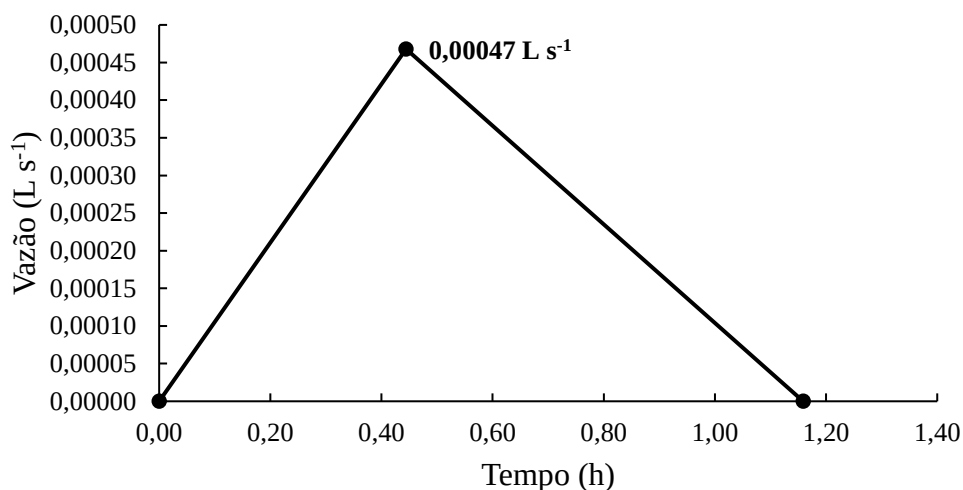
Comparando as Figura 23 e 24, observa-se que a variação de vazão apresentada pelos hidrogramas é, aproximadamente, $0,52 \text{ L s}^{-1}$. Apesar de próximos, o volume necessário para o reservatório em cada situação, será bastante distinto. Para o tempo de duração de $21,39$ min necessita-se de um reservatório de aproximadamente $5,62 \text{ m}^3$, enquanto para o tempo de duração de $10,69$ min, o reservatório necessário possui um volume de, aproximadamente, $4,51 \text{ m}^3$. Nota-se então, que quanto maior o tempo de duração da precipitação, maior será o volume do reservatório de retenção a ser instalado no lote.

5.4 Determinação de equação para dimensionamento de reservatório de lote no centro de Mossoró-RN

Na determinação da equação para dimensionamento do reservatório de retenção para um lote não-residencial qualquer, foram utilizados os dados de precipitação apresentados nas Tabelas 5 e 6, dos cenários 1 e 2, respectivamente, referentes a duração de precipitação de $t_r = 10,69$ min. A alteração foi realizada na área do lote, sendo considerada uma área unitária de 1 m^2 e uma precipitação unitária de 1 mm , que irá alterar o hidrograma unitário (Figura 25). A partir deste hidrograma, obtém-se os hidrogramas de pré e pós-urbanização (na Figura 26) para formulação da Equação.

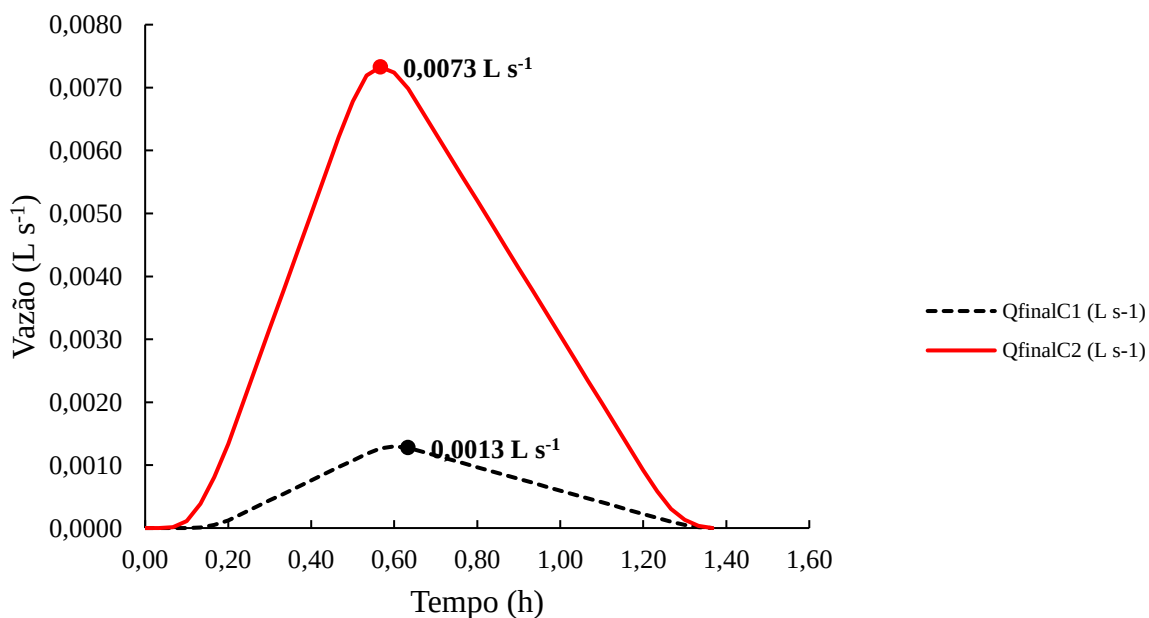
O hidrograma apresentado na Figura 26 é de certa forma, unitário. Possibilitando, portanto, a de determinação de um hidrograma aproximado para qualquer valor de área. Sendo necessário apenas multiplicar o valor de pico pela área do lote, em m^2 .

Figura 25 – Hidrograma unitário triangular para lote de 1 m^2 .



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 26 – Hidrograma dos Cenários 1 e 2, com $t_r = 10,69 \text{ min}$ para um lote de 1 m^2 .



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Conforme o Plano de Drenagem de Porto Alegre (2005) de posse do hidrograma para cada cenário, o volume pode ser estimado pela área entre as curvas. Essa forma de cálculo consiste na aplicação do Método de McCuen (1989). Diante disso, frente aos dados obtidos, a

equação proposta para determinação do volume do reservatório para um lote não-residencial no centro de Mossoró-RN é dado por:

$$V = 12,53 * A \quad (21)$$

Onde:

V é o volume estimado do reservatório de retenção (L);

A é a área do lote (m²).

A partir da Equação 21, encontrada para lote não residenciais da Área Especial Urbana Central, podemos fazer uma adaptação de modo que ela possa ser utilizada em qualquer tipo de lote do centro da cidade. Isso pode ser realizado com a aplicação da taxa de impermeabilização do lote, portanto a Equação 21 para qualquer uso é:

$$V = 12,53 * A * T_x \quad (22)$$

Onde:

V é o volume estimado do reservatório de retenção (L);

A é a área do lote (m²);

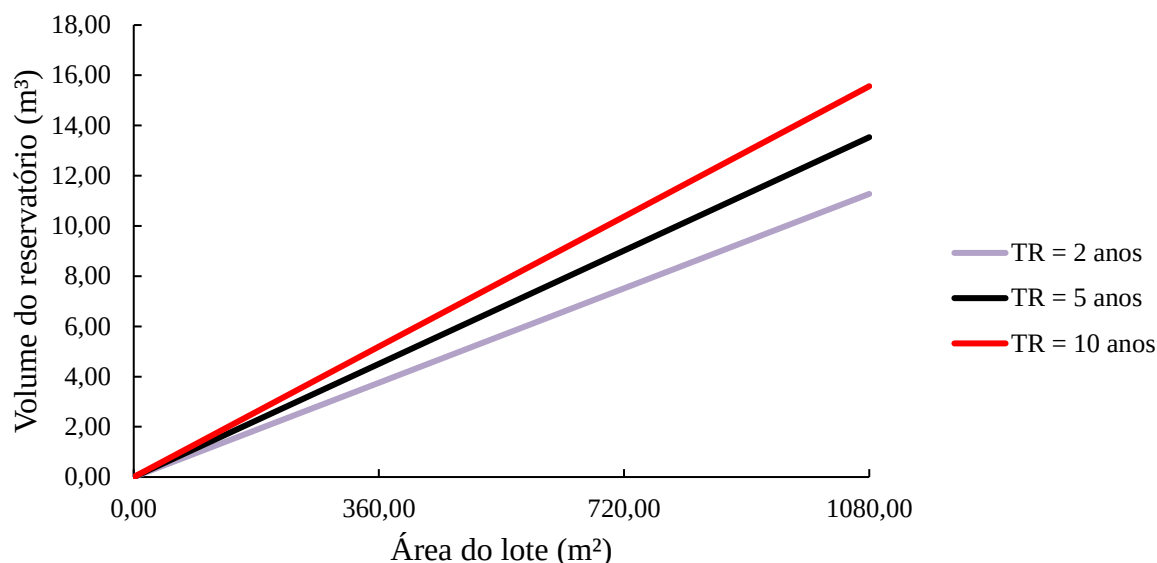
T_x é a taxa de impermeabilização do lote.

A partir da Equação 22, pode-se realizar uma estimativa do volume necessário do reservatório de modo a minimizar o hidrograma de lote do cenário de pós-urbanização, a vazões semelhantes à de pré-urbanização. Além de ser um dos parâmetros para o dimensionamento do reservatório e dos seus dispositivos.

As Equações 21 e 22 mostradas acima, são considerando o Tempo de Retorno de 5 anos. Alterando o TR para 2 e 10 anos, pode-se determinar outras relações para obtenção do volume do reservatório e verificar o comportamento deste armazenamento (seguindo o mesmo procedimento do TR de 5 anos).

As vazões tanto do cenário 1, como o 2, para um TR de 2 anos, são menores que a vazão para o TR de 5 anos. O contrário ocorre na TR de 10 anos, que apresenta vazões maiores que as determinadas para TR de 5 anos. O gráfico da Figura 27, mostra a curva *Área versus Volume* do reservatório, para os diferentes valores de TR.

Figura 27 – Curvas de Área versus Volume do reservatório para TR de 2, 5 e 10 anos.



Notas: TR = 2 anos ($V = 10,44 * A * T_x$); TR = 5 anos ($V = 12,53 * A * T_x$); TR = 10 anos ($V = 14,41 * A * T_x$).
 Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Conforme verifica-se pela Figura 27, o volume do reservatório para uma mesma área, é diferente para cada tempo de retorno. O menor valor de volume verifica-se para um tempo de retorno de 2 anos. Tassi (2002) em seu trabalho, realizou o dimensionamento do reservatório e fez a análise para dois valores de áreas diferentes (300 e 600 m²) e para tempos de retorno diferentes (5 e 10 anos). Ele observou que o volume dos reservatórios para o TR de 10 anos é maior que o de 5 anos, o que confirma na Figura 27.

Na mesma linha de pesquisa de Tassi (2002), Drumond (2012) desenvolveu sua pesquisa em lotes (360 e 600 m²) da cidade de Belo Horizonte-MG e variou o TR (para 5 e 10 anos). Após o dimensionamento, ele verificou que tanto para os lotes de 360 m² como o de 600 m², os volumes calculados para TR de 10 anos foram cerca de duas vezes maiores que os calculados para o TR de 5 anos.

5.5 Cenário 3: lote com reservatório de retenção

5.5.1 Restrição de vazão igual a vazão do cenário 1 de pré-urbanização

A análise do cenário consiste na aplicação do Método Puls, de propagação de cheias, que possibilita a obtenção do hidrograma de saída do reservatório. Para esta análise será considerado o lote não-residencial (100 % impermeabilizado) e área de 360 m². Aplicando estes valores na Equação 22, o volume necessário para o reservatório é de 4,51 m³.

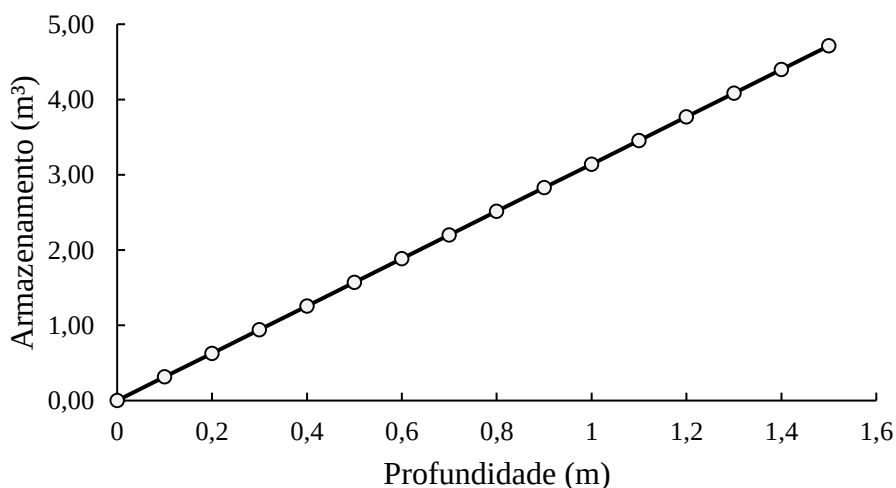
A forma do reservatório pode ser: retangular ou circular. No caso de reservatório circular, deve-se escolher o diâmetro da manilha a ser utilizada, e em função disso, obtém-se a profundidade útil necessária. O reservatório para o presente estudo foi circular com diâmetro de 2,00 m, logo, profundidade 1,5 m.

Definida a geometria do reservatório, deve-se definir a saída de descarga e o extravasador. Geralmente, dimensiona-se apenas um descarregador, e considera-se que este libere uma vazão semelhante a vazão do cenário 1 (pré-urbanização para um lote de 360 m²), ou seja, 0,467 L s⁻¹. Com essa vazão limitante, aplica-se na Equação 5 e encontra-se o diâmetro do descarregador. Como a vazão limitante é muito pequena, o diâmetro calculado não é um valor comercial. Portanto, adotou-se o diâmetro comercial mais próximo, 20 mm. O diâmetro de saída do extravasador foi considerado com dois diâmetros comerciais acima do diâmetro do descarregador, 32 mm.

Tassi (2002) também verificou que a vazão limitante para o descarregador em seu trabalho, lhe fornecia um diâmetro de saída do descarregador pequeno, com valores não-comerciais, tornando-se inviáveis sua utilização, sendo necessário a adoção de diâmetros maiores.

A aplicação deste método de propagação, requer o conhecimento da relação entre cota e armazenamento, e de cota e vazão do descarregador. A Figura 28 apresenta o gráfico da relação cota-armazenamento, enquanto, na Tabela 7 apresenta-se os dados de vazão do extravasador, do descarregador e outras relações necessários para o Método Puls, e na Figura 29 o gráfico da relação cota-vazão do descarregador.

Figura 28 – Relação cota-armazenamento para o reservatório de retenção de um lote de 360 m², com diâmetro de 2,00 m.



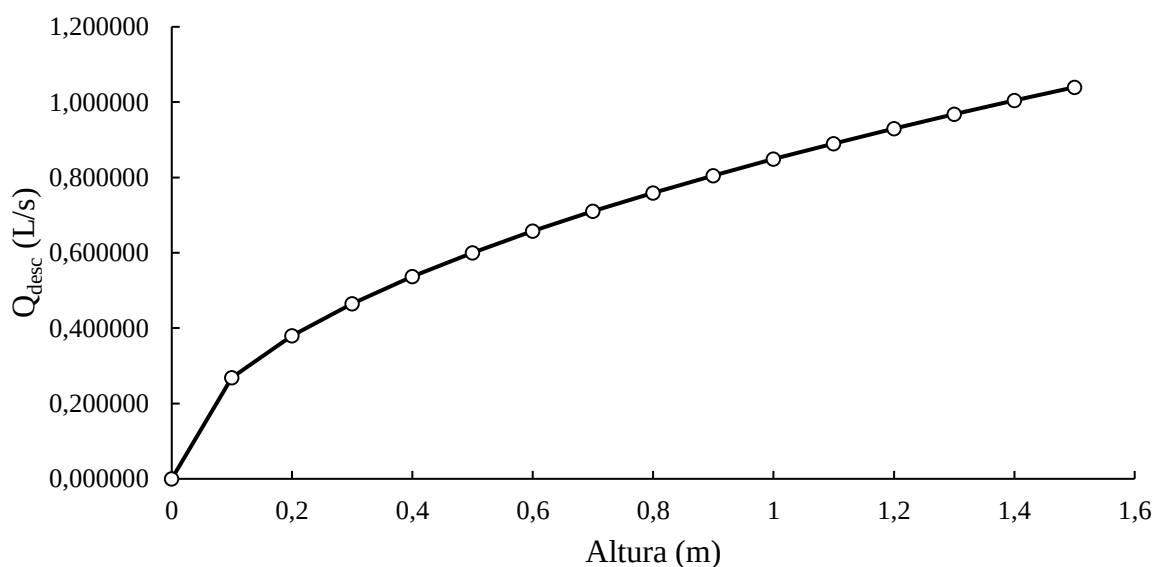
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 7 – Dados referente ao armazenamento, dispositivo de descarga e extravasador do reservatório de retenção de um lote de 360 m², com diâmetro de 2,00 m.

Altura (m)	S (m ³)	Z (m)	Q _{extr} (m ³ s ⁻¹)	Q _{desc} (m ³ s ⁻¹)	(2S/dt) (m ³ s ⁻¹)	(2S/dt)+Q _{desc} +Q _{extr} (m ³ s ⁻¹)	Q _{saída} (m ³ s ⁻¹)
0	0,00	15	0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,1	0,31	15,1	0	0,00027	0,00524	0,00550	0,00027
0,2	0,63	15,2	0	0,00038	0,01047	0,01085	0,00038
0,3	0,94	15,3	0	0,00046	0,01571	0,01617	0,00046
0,4	1,26	15,4	0	0,00054	0,02094	0,02148	0,00054
0,5	1,57	15,5	0	0,00060	0,02618	0,02678	0,00060
0,6	1,88	15,6	0	0,00066	0,03142	0,03207	0,00066
0,7	2,20	15,7	0	0,00071	0,03665	0,03736	0,00071
0,8	2,51	15,8	0	0,00076	0,04189	0,04265	0,00076
0,9	2,83	15,9	0	0,00081	0,04712	0,04793	0,00081
1	3,14	16	0	0,00085	0,05236	0,05321	0,00085
1,1	3,46	16,1	0	0,00089	0,05760	0,05849	0,00089
1,2	3,77	16,2	0	0,00093	0,06283	0,06376	0,00093
1,3	4,08	16,3	0	0,00097	0,06807	0,06904	0,00097
1,4	4,40	16,4	0	0,00100	0,07330	0,07431	0,00100
1,5	4,71	16,5	0,0006	0,00104	0,07854	0,08013	0,00159

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 29 – Relação cota-vazão do descarregador para o reservatório de retenção de um lote de 360 m², com diâmetro de 2,0 m.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Com os dados acima, é possível aplicar a propagação de cheias no reservatório dimensionado. O intervalo de tempo considerado foi de 120 s (2 min). Na Tabela 8, pode ser

observado a aplicação do método, todavia, verifica-se que o tempo necessário para o escoamento de todo o volume armazenado para uma chuva com $t_r = 10,69$ min, é de 3,67 h. Devido a quantidade de intervalos gerados, a Tabela 8 será apresentada a seguir de forma reduzida.

Tabela 8 – Aplicação do Método de Puls para o reservatório de retenção de um lote de 360 m², com diâmetro de 2,00 m.

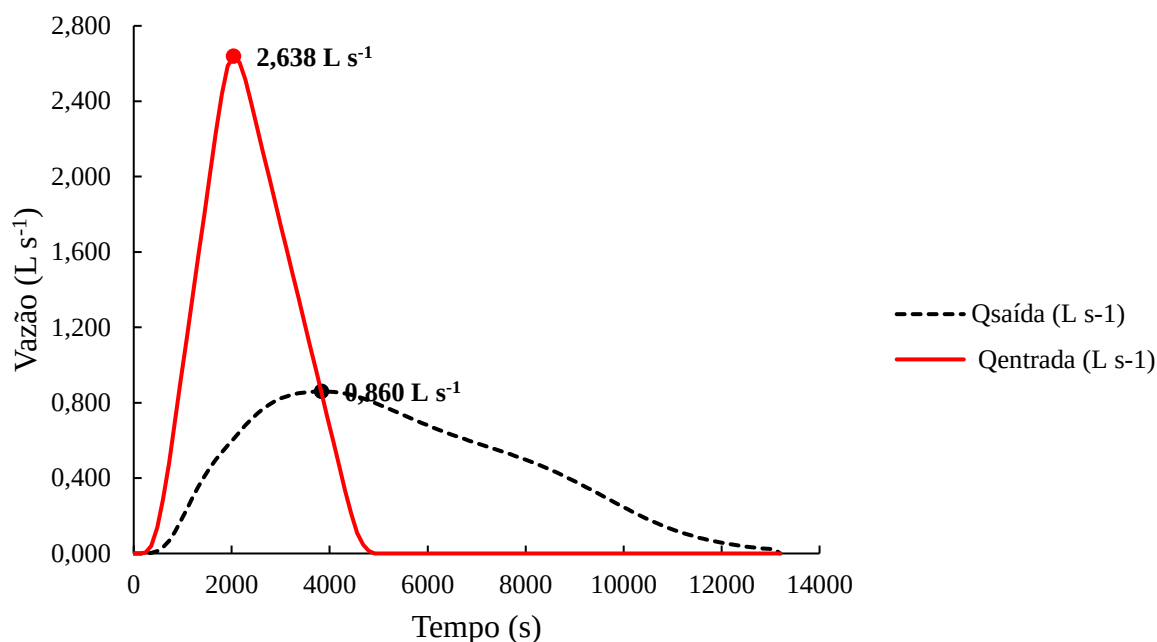
t (s)	I _{entrada} (m ³ s ⁻¹) ⁽¹⁾	I _t + I _{t+1} - O _t + 2S/dt (m ³ s ⁻¹)	h (m)	(2S/dt) (m ³ s ⁻¹)	Q _{saída} (m ³ s ⁻¹)
0	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00000
120	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00000
240	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00000
360	0,00004	0,00005	0,00	0,00005	0,00000
480	0,00014	0,00022	0,00	0,00021	0,00001
600	0,00029	0,00063	0,01	0,00059	0,00003
720	0,00048	0,00133	0,02	0,00126	0,00007
840	0,00070	0,00238	0,04	0,00226	0,00012
960	0,00092	0,00377	0,07	0,00359	0,00017
1080	0,00114	0,00548	0,10	0,00525	0,00023
1200	0,00136	0,00751	0,14	0,00722	0,00030
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
12600		0,00064	0,01	0,00061	0,00003
12720		0,00057	0,01	0,00054	0,00003
12840		0,00051	0,01	0,00048	0,00003
12960		0,00046	0,01	0,00043	0,00002
13080		0,00041	0,00	0,00039	0,00002
13200		0,00036	0,00	0,00036	0,00000

Notas: ⁽¹⁾ A partir do tempo 4920 s não haverá mais vazão afluente de entrada.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A vazão máxima de saída obtida foi de 0,860 L s⁻¹, que é aproximadamente duas vezes maior que a vazão limitante (0,467 L s⁻¹). Na Figura 30 são apresentados os hidrogramas de pós-urbanização e o de saída do reservatório.

Figura 30 – Hidrograma do Cenário 2 (pós-urbanização) e do Cenário 3 (com o reservatório de lote instalado) para um lote de 360 m².



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Verifica-se que a vazão reduziu consideravelmente, porém não atingiu o valor estabelecido como limite. Tassi (2002) verificou algo semelhante ao que está acontecendo neste dimensionamento, pois ele também não conseguiu restringir a vazão de saída do reservatório como menor ou igual a vazão do cenário 1 (pré-urbanização).

Ainda em relação a vazão de saída do reservatório, percebe-se que esta foi influenciada pela seleção do diâmetro de saída do descarregador, pois este teve que ser adotado como o valor comercial mais próximo do diâmetro calculado. Como o diâmetro é maior, a vazão que ele consegue descarregar é maior do que deveria.

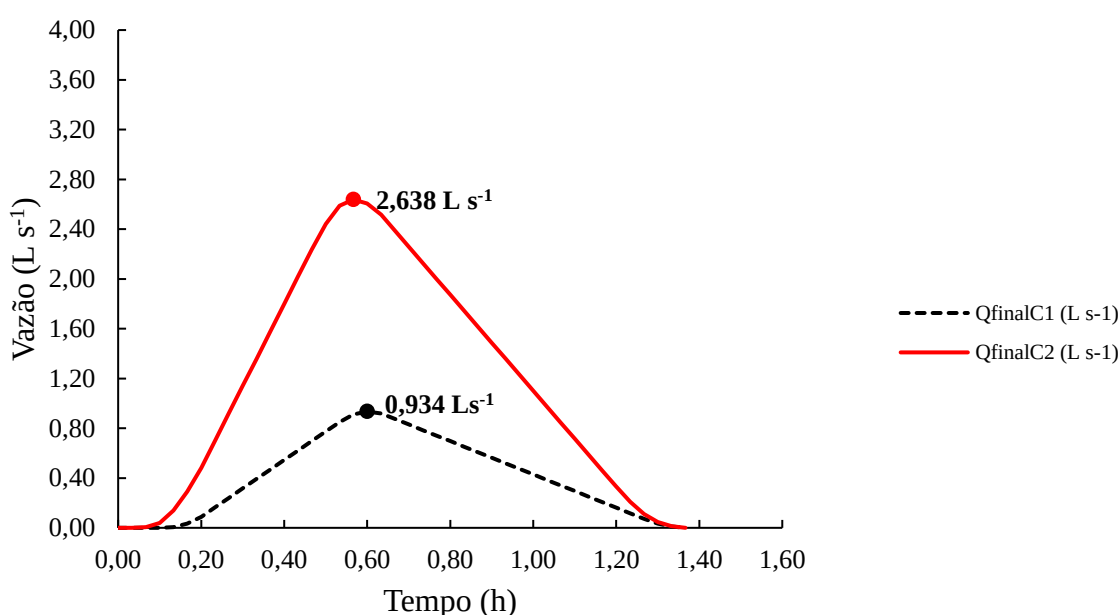
Vasconcelos, Miguez e Vazquez (2016) realizaram um estudo na zona oeste do Rio de Janeiro-RJ, aplicando técnicas compensatórias para controle de escoamento na fonte. Entre eles, o reservatório de lote. Os autores citados verificaram que o reservatório apresentou bons resultados na redução das vazões efluentes do lote, todavia não conseguiram reduzir esta vazão a níveis semelhantes a vazão de pré-urbanização. Verificaram também que esse tipo de técnica necessita de grandes dimensões. Uma solução aplicada no trabalho, foi a combinação desta técnica com o telhado verde e jardim rebaixado.

Diante do mesmo problema, Tassi (2002), propôs a verificação do comportamento do reservatório caso a vazão de restrição fosse múltiplos da vazão de pré-urbanização.

5.5.2 Restrição de vazão igual duas vezes a vazão do cenário 1 de pré-urbanização

Diante do trabalho de Tassi (2002), considerou-se a restrição de vazão como duas vezes a vazão de pré-urbanização. Esta modificação gerará uma diminuição do volume requerido pelo reservatório, consequentemente, as dimensões do reservatório serão modificadas. Na Figura 31 será apresentado uma representação do novo hidrograma ao qual o reservatório será dimensionado.

Figura 31 – Hidrograma dos Cenários 1 (com a nova consideração de vazão) e 2 com $t_r = 10,39$ min para um lote de 360 m^2 .



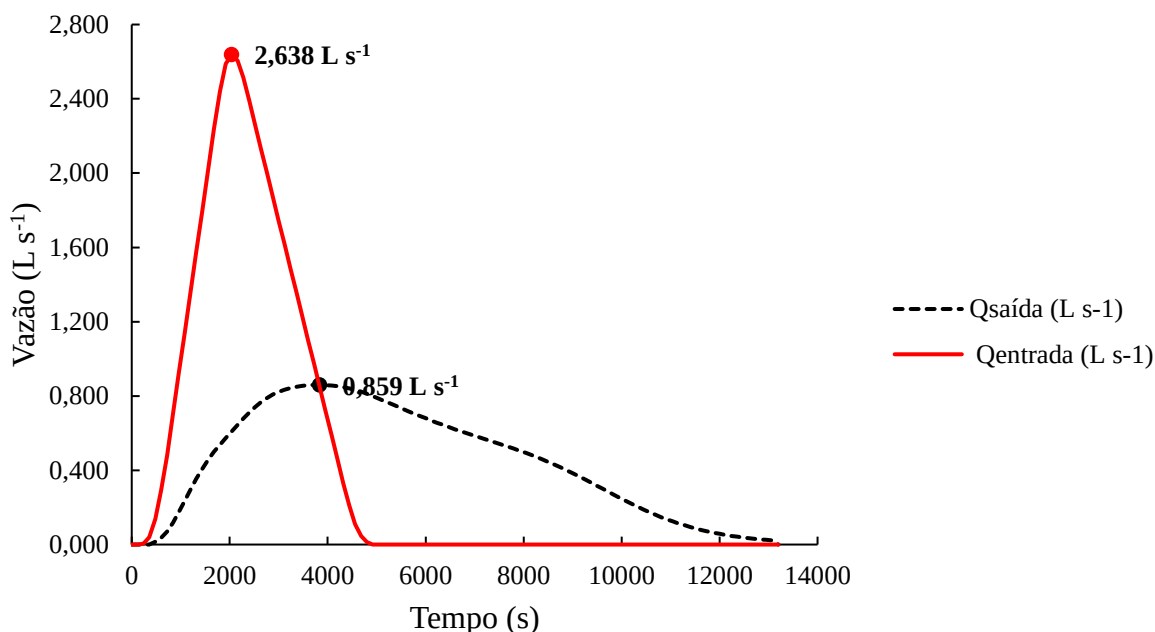
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Pela Figura 31 verifica-se que a vazão de restrição será $0,934 \text{ L s}^{-1}$, e ressalta-se que para esta situação não pode ser aplicado a Equação 22, visto que a presente equação foi idealizada para uma vazão de restrição igual à do cenário de pré-urbanização. Através de outros artifícios, determina-se que o volume necessário do reservatório para a presente simulação é de, aproximadamente, $3,53 \text{ m}^3$. Seja o reservatório de formato circular, com diâmetro de $2,00 \text{ m}$, necessita-se de uma profundidade de $1,20 \text{ m}$.

A partir dos dados acima, encontrou-se um diâmetro necessário para o descarregador de, aproximadamente, 20 mm , sendo adotado este valor. O diâmetro utilizado para o descarregador foi de 32 mm , igual ao da simulação do item 5.5.1. O procedimento realizado à para aplicação do Método Plus, foi o mesmo do item 5.5.1.

Para esta situação, o tempo necessário para o escoamento de todo o volume armazenado foi de 3,6 h. A diferença, em relação a outra situação, foi de apenas 0,07 h (2 min). A vazão de pico de saída foi de $0,859 \text{ L s}^{-1}$, menor que a vazão de restrição ($0,934 \text{ L s}^{-1}$). Na Figura 32 são apresentados os hidrogramas de pós-urbanização e o de saída do reservatório.

Figura 32 – Hidrograma do Cenário 2 (pós-urbanização) e do Cenário 3 (com o reservatório de lote instalado) para um lote de 360 m^2 (com a vazão de restrição).



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A vazão de pico na saída do reservatório apresentou-se inferior a vazão limitante, e com valor semelhante a obtida na simulação no item 5.5.1, todavia, dimensionou-se um reservatório com volume menor que naquela situação (reduzindo a necessidade de terreno para sua construção, bem como, economia financeira) e o tempo para escoamento do volume reservado foi menor. Portanto, entende-se que pode-se propor uma nova Equação, substituindo a Equação 22, considerando que a vazão de restrição como duas vezes a vazão do cenário de pré-urbanização.

$$V = 9,81 * A * T_x \quad (22)$$

Onde:

V é o volume estimado do reservatório de retenção (L);

A é a área do lote (m^2);

T_x é a taxa de impermeabilização do lote.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O hidrograma obtido para as situações de pré e pós-urbanização demonstraram as consequências deste processo no escoamento superficial das cidades, gerando picos na situação de pós-urbanização cerca de seis vezes maior que o pico na situação de pré-urbanização.

No dimensionamento do reservatório um lote padrão do centro de Mossoró-RN, foram analisadas duas situações: restrição de vazão igual a vazão de pré-urbanização e igual a duas vezes a vazão de pré-urbanização. Verificou-se que a vazão de pico na saída do reservatório, foram praticamente semelhantes para as duas situações, porém na situação que a vazão de restrição igual a duas vezes a vazão de pré-urbanização conseguiu obter uma vazão no reservatório menor que este valor. Isso mostra que a restrição de vazão igual a vazão de pré-urbanização não apresentou resultados eficazes na minimização do hidrograma do lote. Portanto, frente aos resultados obtidos, é melhor que o dimensionamento do sistema de retenção de controle na fonte seja feito para a restrição de vazão igual a duas vezes a vazão de pico.

Em relação a proposição de uma equação, foi proposta inicialmente uma equação considerando a restrição de vazão igual a vazão de pré-urbanização, mas como este tipo de reservatório não apresentou resultados satisfatórios, alterou-se essa equação para a restrição de vazão igual a duas vezes a vazão de pré-urbanização, pois desta forma conseguia diminuir o volume do reservatório e alcançar resultados semelhantes.

Diante do exposto, percebeu-se que a aplicação das técnicas compensatórias, em especial, o reservatório de lote, consegue minimizar os impactos da urbanização no ciclo hidrológico, todavia, para que a vazão de pico do hidrograma de saída do reservatório atinja os patamares estabelecidos de restrição de vazão, necessita-se de volume consideráveis, o que gera, uma demanda de área no lote para sua instalação.

Como forma de reduzir este volume de armazenamento necessário, uma saída seria a utilização de outras técnicas compensatórias (como pavimentos permeáveis, jardim rebaixado e telhado verde) que combinados conseguiriam restaurar o hidrograma de pós-urbanização a níveis de pré-urbanização, reduzindo as chances de ocorrência de inundações urbanas.

Entende-se ainda, que o poder público da cidade, deve começar a se preocupar com as frequentes inundações que ocorrem em vários pontos da cidade, e passar a realizar um planejamento na área de drenagem urbana, prevendo nele, a adoção de técnicas compensatórias como já é feito em diversas cidades brasileiras.

REFERÊNCIAS

AKAN, A. O. *Urban Stormwater Hydrology*. Lancaster, Pennsylvania: Technomic, 1993, ISBN 0-87762-967-6, 268 pp.

ALMEIDA, Dione Santana de; COSTA, Isaias Tavares da. **A Drenagem Urbana das águas pluviais e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública no município de Santana**. Monografia (Graduação) – Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2014. 68p.

ALMEIDA, Maria de Fátima. **Aplicação de técnicas compensatórias na drenagem urbana, sob a ótica dos usuários do espaço: estudo de caso em São Carlos - SP**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014. 132p.

ALVES, Enio Berttony Pereira Alves. **Identificação das áreas críticas de drenagem urbana no centro de Mossoró**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2016. 67p.

ARBOIT, Nathana Karina Swarowski. **Proposta de implementação de microrreservatório de detenção em lotes na cidade de Frederico Westphalen**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2014. 73p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.844**. Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1981. Disponível em: <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2013/06/nbr-10844-1989-instalac3a7c3b5es-prediais-de-c3a1guas-pluviais.pdf>> Acesso em 16 out. 2017.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. **Manual de Hidráulica**. 8. Ed. São Paulo: Blucher, 1998.

BALBINO, Rafaelo; OLIVEIRA, Nayara Kaminski de; VANZETTO, Suelen Cristina; PEDROSO, Keylla; VALERIO, Álvaro Felipe. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, jan. 2008.

BAPTISTA, Victor Santos Galvão. **Análise custo-eficiência de microrreservatório para controle do escoamento na fonte**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. 94p.

BARROS, Mario Thadeu Leme de. Drenagem Urbana: Bases Conceituais e Planejamento. In: PHILIPPI JR, A. (Ed.). **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri-SP: Manole, 2005. p. 221 - 266.

BELLÉ, Joana Parnoff. **Avaliação da Eficácia do Sistema de Drenagem Urbana. Estudo de Caso: Ijuí-RS**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011. 111 p.

BERTONI, Juan C; TUCCI, Carlos E. M. Precipitação. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. p. 177 - 241.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1933, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm> Acesso em 24 jun. 2017.

_____. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui A Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Regulamenta o Inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal, e altera o Art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de Março de 1990, que modificou a Lei Nº 7.990, de 28 de Dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm> Acesso em 27 jun. 2017.

CACELA FILHO, Francisco das Chagas de Oliveira. **O reflexo da degradação ambiental e sua relação com a gestão hídrica da bacia hidrográfica do rio Ararandeua-PA**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009. 94p.

CAMPOS, João Batista Neto de. **Análise hidrológica experimental de lotes urbanos sob formas diferenciadas de ocupação e controle da inundação**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007. 105p.

CLEMENTE, Magno Santos; SANTOS, Pablo Santana. Geotecnologias como suporte para análise da vegetação natural na sub-bacia hidrográfica do Rio Gavião. **Revista Cerrados**, v. 15, n. 1, p.98-113, jan./jun. 2017.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: IHP UFRGS, 2008. 149p.

COSTA, Alfredo Ribeiro da; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de. **Curso básico de Hidrologia Urbana: nível 3**. Brasília: ReCESA, 2007. 130p.

DECINA, Thiago Galvão Tiradentes; BRANDÃO, João Luiz Boccia. Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p.207-217, mar. 2016.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE); COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Drenagem Urbana**. 2. Ed. São Paulo: 1980.

DRUMOND, Pedro de Paula. **Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. 184p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Solos do Nordeste**. Recife: EMBRAPA, 2006a. Disponível em: < <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=index> > Acesso em 22 ago. 2017.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006b.

_____. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte**. Boletim Técnico nº 21. Recife: EMBRAPA, 1971.

FELIPE, Alexandre Luís da Silva. **Topografia convencional na aferição de áreas obtidas por georreferenciamento e Google Earth**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2015. 40f.

FERRAZ, Inês Sofia de Oliveira. **Aplicação de SIG em Sistemas de Informação ao Cliente de Transportes Públicos**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Sistema de Informação Geográfica, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2012. 95p.

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

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Orientações básicas para Drenagem Urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1988.

Google Earth. Disponível em: < <http://maps.google.com.br/maps> >. Acesso em: 12 jul. 2017.

GRIBBIN, J. E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

GURGEL, Juliane Maria Marques. **Levantamento bibliométrico sobre resíduos sólidos e drenagem urbana em periódicos nacionais**. Monografia (Graduação) – Curso em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016. 42p.

HALL, M. J. **Urban Hydrology**. Essex: Elsevier, 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). FAQ: (Frequently Asked Questions - Perguntas Mais Frequentes). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#3>>. Acesso em: 06 abr. 2017a.

_____. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/default.php>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

_____. Diretoria de Pesquisas - DPE, Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. **Informações do município: Mossoró**. Rio de Janeiro: 2017b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/rn/mossoro/panorama>>. Acesso em: 12 jul. 2017b.

JUSTINO, Eliane Aparecida; PAULA, Heber Martins de; PAIVA, Ed Carlo Rosa. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. **Espaço em Revista**, v. 13, n. 2, p.16-38, dez. 2011.

LADWIG, Nilzo Ivo. **O cadastro técnico multifinalitário e o sistema de informação geográfica para o planejamento e a gestão participativa e sustentada do turismo**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. 209p.

LOPES, Pedro Gironi. **Análise Comparativa entre um sistema de drenagem tradicional (higienista) e um sistema de drenagem com reservatório de retenção on-line**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. 92p.

LOREZON, Alexandre Simões. **Processos hidrológicos em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, MG**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. 59p.

MARCONI, Marina de Andrade. LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MELO, Marcos José Vieira de. **Medidas estruturais e não-estruturais de controle de escoamento superficial aplicáveis na Bacia do Rio Fragoso na cidade de Olinda**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. 172p.

MELO, T. dos A. T. de; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. da S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p.147-165, out./dez. 2014.

MELO, T. dos A. T. de; COUTINHO, A. P.; SANTOS, J. B. F. dos; CABRAL, J. J. da S. P.; ANTONINO, A. C. D.; LASSABATERE, L. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 53-72, jul./set. 2016.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de. **Jardim da chuva: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. 178p.

_____. **Avaliação hidrodinâmica de trincheira de infiltração no manejo das águas pluviais urbanas**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. 136p.

MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de. **Otimização de reservatórios de retenção para controle da qualidade das águas pluviais**. Tese (Doutorado) – Programa Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. 166p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: MMA, 2006. 302p.

MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiros de; OLIVEIRA, Marcus Vinicius Siqueira de; SILVA, Danielle Ferreira da. Ciclo hidrológico planetário. **Geo UERJ**, v. 1, n. 21, p. 109-119, 2010.

MOSSORÓ. **Lei complementar nº 12, 11 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre o Plano Diretor do município de Mossoró e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.secovirn.com.br/legislacao/plano-diretor-de-mossoro.pdf>> Acesso em 27 jun. 2017.

_____. **Plano de Desenvolvimento para o Sistema de Saneamento Básico do Município de Mossoró (Produto II)**. 2010. Disponível em <<http://www.prefeiturademossoro.com.br/audiencia/produtos/produtoIIrelatoriotecnicoidiagnostico dasituacaoatual dos sistemas de saneamento basico do municipio.pdf>> Acesso em 12 ago. 2017.

NASCIMENTO, N. O; BAPTISTA, M. B. Técnicas compensatórias em Águas Pluviais. In: RIGHETTO, Antônio Marozzi (Org.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 149-197.

NAVARRO, Everton Chequeto. **Influência da urbanização na vazão máxima da microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha, Lençóis Paulista, SP**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013. 71p.

OHNUMA JÚNIOR, Alfredo Akira. **Medidas não convencionais de reservação d’água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. 306p.

OLIVEIRA JÚNIOR, Hermínio Sabino de. **Monitoramento e mapeamento das águas subterrâneas de abastecimento urbano do município de Mossoró-RN**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016. 77p.

OLIVEIRA, Alinne Prado de; BARBASSA, Ademir Paceli; GONÇALVES, Luciana Márcia. Aplicação de técnicas compensatórias de drenagem na requalificação de áreas verdes em Guarulhos-SP. **Cidades Verdes**, v. 04, n. 09, p.87-101, 2016.

PINHEIRO, Karisa Lorena Carmo Barbosa. **O processo de urbanização da cidade de Mossoró: dos processos históricos à estrutura urbana atual**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. 228p.

PORTO ALEGRE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Porto Alegre, 2005. 215p.

PORTO, Rubem; ZAHED FILHO, Kamel; TUCCI, Carlos E. M.; BIDONE, Francisco. Drenagem Urbana. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. p. 805-847.

RATHKE, Thiago Alex. **Medidas de controle pluvial no lote: pavimentos permeáveis e telhados verdes**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. 87p.

ROSSI, Anderson Pinto. **Projeto de Instalações de Águas Pluviais: utilização de telhados verdes**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. 76p.

SANTOS, Kamila Almeida dos. **Utilização de modelo hidrodinâmico para mapeamento de áreas inundáveis**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015a. 89p.

SANTOS, Wesley de Oliveira. **Máximas intensidades e índices de erosividade de chuvas para o Rio Grande do Norte**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015b. 125p.

SANTOS, Luciana Cabral Costa. **Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010. 172p.

SILVA, Celso da Silva. **Caracterização da Bacia do Rio Fiúza para aplicação na prevenção de enchentes**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006a. 59p.

SILVA, Daniele Feitoza. **Análise da influência de microrreservatório em um loteamento e seus efeitos em escala de bacia**. Dissertação (Mestrado) – Programa Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. 171p.

SILVA, Karla Alcione. **Análise da eficiência de métodos de controle de enchentes na atenuação de picos de cheias utilizando o modelo computacional SWMM – *Storn Water Management Model***. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007. 126p.

SILVA, Marcel Santos. **Sistemas de Informações Geográficas: elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação, Universidade Estadual Paulista, Marília, 2006b. 166p.

SILVA, Maria Teresa Di Giuseppe Carluccio da Costa e. **Os desafios da urbanização nas cidades**. Monografia (Especialização) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. 36p.

SILVA NETO, Augusto Francisco da; GUIMARÃES, Carlos Lamarque; ARAÚJO, Jacqueline Sobral de; ARAÚJO, Janaína Sobral de. Aplicação de Geotecnologias para Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame-PB. **Revista Principia**, n. 20, jun. 2012.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. p. 35-51.

_____. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 1, p. 5-23, jan./mar. 2005.

SOUSA, Débora Carla Barboza de. **Estimativa de assoreamento dos reservatórios da Bacia Hidrográfica do Açude Santa Cruz do Apodi-RN**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011. 70f.

SOUSA, Nilciana Dinely de. **O processo de Urbanização da cidade de Parintins (AM): evolução e transformação**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Geografia Humana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 154p.

SOUZA, Ana Cláudia Medeiros; SILVA, Márcia Regina Farias da; DIAS, Nildo da Silva. **Gestão de Recursos Hídricos: o caso da Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). Irriga**, Botucatu, Edição especial, p. 280-296, 2012.

STUDART, T. M. C.. **Hidrologia**. Fortaleza: UFC, 2006. Disponível em: <<http://www.deha.ufc.br/ticianap/posgraduacao.html>> Acesso 13 set. 2017.

TASSI, Rutinéia. **Efeito dos microrreservatório de lote sobre a macrodrenagem urbana**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. 142p.

TEIXEIRA, Juliana Lyra; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Uso de Geotecnologias para a caracterização física espacial da Bacia Hidrográfica do grupo de pequenos Rios Litorâneos (GL2)/PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 2, p. 132-138, 2010.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos hidrológicos para obras municipais**. 2002. Disponível em: <http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=livro10_calculos_hidrolgicos-ler.pdf> Acesso em 19 jul. 2017.

TONI, Pedro Augusto Weber. **Dimensionamento de drenagem pluvial: impacto do arranjo dos microrreservatório no controle do escoamento**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. 77p.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, n. 22, p. 97-112, 2008.

_____. Escoamento Superficial. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. p. 391-441.

_____. **Gestão das Inundações Urbanas**. Porto Alegre: 2005.

TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, M. T. de. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 1995.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Technical Release 55. Washington: 1986.

VALENTE, Jakeliny Alves. **Análises e considerações para o sistema de drenagem de água pluvial em um loteamento na cidade de Catalão-GO**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2013. 58p.

VASCONCELOS, Anaí Floriano; MIGUEZ, Marcelo Gomes; VAZQUEZ, Elaine Garrido. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 4, p.655-662, out./dez. 2016.

VIOLA, Heitor. **Gestão de águas pluviais em áreas urbanas – O estudo de caso da cidade do Samba**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. 384p.

WILKEN, Paulo Sampaio. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.

ANEXO A – Valores de CN para regiões áridas e semiáridas.

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition ^{2/}	A ^{3/}	B	C	D
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor		80	87	93
	Fair		71	81	89
	Good		62	74	85
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush.	Poor		66	74	79
	Fair		48	57	63
	Good		30	41	48
Pinyon-juniper—pinyon, juniper, or both; grass understory.	Poor		75	85	89
	Fair		58	73	80
	Good		41	61	71
Sagebrush with grass understory.	Poor		67	80	85
	Fair		51	63	70
	Good		35	47	55
Desert shrub—major plants include saltbush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

¹ Average runoff condition, and I_a , = 0.2S. For range in humid regions, use table 2-2c.

² Poor: <30% ground cover (litter, grass, and brush overstory).

Fair: 30 to 70% ground cover.

Good: > 70% ground cover.

³ Curve numbers for group A have been developed only for desert shrub.

Fonte: USDA (1986).

ANEXO B – Valores de CN para regiões urbanas.

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area ^{2/}	A	B	C	D
Fully developed urban areas (vegetation established)					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) ^{3/} :					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) ^{4/}		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acres	12	46	65	77	82
Developing urban areas					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation) ^{5/}		77	86	91	94
Idle lands (CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2c).					

¹ Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.

² The average percent impervious area shown was used to develop the composite CN's. Other assumptions are as follows: impervious areas are directly connected to the drainage system, impervious areas have a CN of 98, and pervious areas are considered equivalent to open space in good hydrologic condition. CN's for other combinations of conditions may be computed using figure 2-3 or 2-4.

³ CN's shown are equivalent to those of pasture. Composite CN's may be computed for other combinations of open space cover type.

⁴ Composite CN's for natural desert landscaping should be computed using figures 2-3 or 2-4 based on the impervious area percentage (CN = 98) and the pervious area CN. The pervious area CN's are assumed equivalent to desert shrub in poor hydrologic condition.

⁵ Composite CN's to use for the design of temporary measures during grading and construction should be computed using figure 2-3 or 2-4 based on the degree of development (impervious area percentage) and the CN's for the newly graded pervious areas.

Fonte: USDA (1986).

APÊNDICE A – Planilha dos Parâmetros de projeto.

Modelo de procedimento de projeto	
Determinação do CN e parâmetros para a precipitação de projeto	
Projetista: Data: Projeto: Localização:	
1. Cenário	
2. Área	A = km ²
3. Comprimento	L = km
4. Desnível	H = m
5. Declividade média	S = m/m
6. CN	
Valor do CN	CN =
7. Armazenamento e perdas iniciais	
S = 25400/CN - 254	S = mm
Ia = 0,2 S	Ia = mm
8. Tempo de concentração	
tc = 0,0977.L ^{0,6} .S ^{-0,3}	tc = h
	tc = min
	TR = anos
9. Tempo de retorno	
10. Duração da chuva e discretização	
Duração da chuva (recomendado = tc)	tr = min
Discretização	Δt = min
11. Número de intervalos de tempo	
Nint = t / Δt	Nint = intervalos
	Adotado = intervalos
12. Curva IDF	
Cidade:	a =
	b =
	c =
	d =
Modelo: $i = \frac{a.TR^b}{(t_r+c)^d}$	

APÊNDICE B – Planilha do Hidrograma unitário.

Modelo de procedimento de projeto		
Hidrograma Unitário triangular SCS		
Projetista		
Data		
Projeto		
Localização:		
1. Cenário		
2. Área	A =	km ²
3. Tempo de concentração	tc =	h
4. Tempo de pico	tp =	h
tp = 0,6.tc	Δt =	h
5. Intervalo de tempo		
6. Vazão máxima		
tm = Δt/2 + tp	tm =	h
Qp = 0,208*.A/tm	Qp =	m ³ /s
7. Tempo de recessão		
tr = 1,67.tp	tr =	h
8. Tempo de base		
tb = tm + tr	tb =	h

APÊNDICE C – Planilha com dados para convolução.

Modelo de procedimento de projeto		
Dados para convolução		
Projetista: Data: Projeto: Localização:		
1. Cenário		
2. Tempo de base	$t_b =$	h
3. Intervalo de tempo	$\Delta t =$	h
4. Número de ordenadas do hidrograma unitário		
$k = t_b / \Delta t$	$k =$	ordenada(s)
	k adotado	=
		ordenada(s)
5. Número de ordenadas da precipitação	$m =$	ordenada(s)
6. Número de intervalos de tempo do hidrograma		
Número de ordenadas do hidrograma resultante calculado é n		
$= k + m - 1$		
Os valores diferentes de zero de vazão são		
calculados até n	$n =$	ordenadas(s)
	n adotado	ordenadas
	=	(s)

APÊNDICE D – Planilha para dimensões e curva cota x armazenamento.

Modelo de procedimento de projeto																	
Dimensões e Curva cota x armazenamento para reservatório																	
Projetista: Data: Projeto: Localização:																	
1. Volume estimado Volume estimado pela equação: Vest = m³																	
2. Forma																	
3. Dimensões																	
3.1 Retangular																	
Profundidade (p)	p =	m															
Largura (l)	l =	m															
Comprimento (c)	c =	m															
Área $A = l \cdot c$	A =	m ²															
Volume $V = A \cdot p$	V =	m ³															
3.2 Circular																	
Diâmetro da manilha (Dm)	Dm =	mm															
Área $A = \pi (Dm)^2 / 4$	A =	m ²															
Profundidade (p)	p =	m															
Volume $V = A \cdot p$	V =	m ³															
4. Cotas do reservatório																	
Cota de fundo (Zo)	Zo =	m															
Cota topo (Z)	Z =	m															
5. Armazenamento Inicial (So)																	
6. Curva cota x armazenamento																	
No caso de reservatório Retangular, S é calculado por: $S = A \cdot \text{prof}$																	
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Prof (m)</th> <th style="width: 33%;">z = zo + prof (m)</th> <th style="width: 33%;">S (m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Prof (m)	z = zo + prof (m)	S (m ³)													
Prof (m)	z = zo + prof (m)	S (m ³)															
7. Intervalor de tempo de cálculo																	
Δt cálculo do hidrograma a ser propagado	Δt =	s															
9. Estruturas de descarga																	
Existe descarregador?																	
Existe exaustor?																	
Se a resposta for Sim, para qualquer uma das duas perguntas acima, deve-se preencher o "Modelo de Projeto - Descarregador de fundo e/ou vertedor".																	

APÊNDICE E – Planilha para descarregador de fundo e extravasador.

Modelo de procedimento de projeto	
Descarregador de fundo e/ou extravasador	
Projetista: Data: Projeto: Localização:	
1. Descarregador de fundo	
1.1 Número de descarregadores de fundo	N =
1.2 Forma da seção de saída	
1.3 Existe restrição de vazão de saída do reservatório?	
Se a resposta for Sim, preencher Qmáxdf	Qmáxdf: m³/s
1.4 Área da seção transversal do descarregador	
Coeficiente de descarga Cd	Cd =
Profundidade útil do reservatório H	H = 0 m
Se a resposta foi Sim no item 1.4:	
Calcular a área da seção transversal do descarregador usando a equação:	
$A_c = \frac{Q_{máxdf}}{C_d \sqrt{2gH}}$	Ac = m²
Se a resposta foi Não: informar a área da seção transversal do descarregador	Ac = m²
1.7 Dimensionamento do descarregador	
Caso o descarregador seja circular: $A_c = 0,25 \cdot \pi \cdot (\text{Diam})^2$	
Diâmetro calculado	D = m
Diâmetro adotado	Dadot = m
Caso o descarregador seja retangular: $A_c = l_c \cdot h_c$	
Comprimento do descarregador	lc = m
Altura hc	hc = m
2. Exaustor	
Diâmetro do exaustor (De)	De = m