



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ERIK ALVES PIANCÓ

**APLICAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO COMPENSATÓRIO EM DRENAGEM
URBANA JARDIM DE CHUVA COM MODELAGEM COMPUTACIONAL NO
SOFTWARE SWMM**

**JUAZEIRO DO NORTE – CE
2017**

ERIK ALVES PIANCÓ

APLICAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO COMPENSATÓRIO EM DRENAGEM
URBANA JARDIM DE CHUVA COM MODELAGEM COMPUTACIONAL NO
SOFTWARE SWMM

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares

JUAZEIRO DO NORTE – CE

2017

ERIK ALVES PIANCÓ

APLICAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO COMPENSATÓRIO EM DRENAGEM
URBANA JARDIM DE CHUVA COM MODELAGEM COMPUTACIONAL NO
SOFTWARE SWMM

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovado em: ____/____/____.

COMISSÃO EXAMINADORA:

DR. PAULO ROBERTO LACERDA TAVARES
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
ORIENTADOR

DR. ARY FERREIRA DA SILVA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
EXAMINADOR

ME. FRANCISCO FÁBIO DE SOUSA FEITOSA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
EXAMINADOR

A Deus,
Aos meu pais, Cleone e Ana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de realizar este trabalho, me concedendo saúde, força e sempre colocando as pessoas certas ao meu lado.

Ao professor Dr. Paulo Roberto pela confiança, as excelentes aulas, incentivos e orientações.

A todos meus familiares que me ajudaram de todas as formas, em especial os meus tios Taécio, Socorro, Lúcia e minha avó Zeride.

Ao meu pai que com o seu exemplo de perseverança e fé, me inspirou a lutar.

A minha mãe e irmãos, a quem amo profundamente e me deram incentivo para percorrer este caminho.

E a minha namorada Débora, pela companhia e o cuidado.

RESUMO

O processo de urbanização acelerado das últimas décadas aliado a ocupação desordenada e impermeabilização do solo, têm agravado as cheias urbanas. Outro agravante é a continuidade da utilização única dos métodos tradicionais de drenagem urbana com abordagem higienista. O objetivo deste estudo foi avaliar por meio de modelagem computacional a implantação do método compensatório jardim de chuva nos lotes de um bairro no município de Juazeiro do Norte-CE, em termos de redução do escoamento superficial e abatimento da vazão de pico do exutório. Para realização das análises utilizou-se o *software* SWMM (*Storm Water Management Model*), da EPA. Os cenários estudados consideraram a total urbanização da área sem implantação do jardim de chuva e após a associação do cenário urbanizado com a implantação dos jardins como receptores dos escoamentos provenientes dos telhados das edificações. Uma análise geral dos resultados permitiu apontar que a redução do escoamento superficial e das vazões de pico foram verificados no cenário onde o método compensatório estava aplicado. Logo foi possível visualizar os benefícios do uso dos métodos compensatórios, que através de construções simples como os jardins de chuva obteve-se grandes benefícios não somente para a área em estudo, mas também para as regiões a jusante da aplicação.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Métodos compensatórios. Jardim de chuva. SWMM.

ABSTRACT

The accelerated urbanization process in recent decades combined with disorderly occupation and soil sealing, have aggravated urban floods. Another aggravating factor is the continuity of use only traditional methods of urban drainage with hygienist approach. The objective of this study was to evaluate through computational modeling to deployment of compensatory method rain garden in lots of a subdivision in the municipality of Juazeiro do Norte-CE, in terms of reduced runoff and reduction of peak flow exutório. For realization of the analysis we used the software SWMM (Storm Water Management Model) of the EPA. The scenarios studied considered total urbanization of the area without deploying the rain garden and after the membership of the urbanized scenery with the deployment of the gardens as receivers of the outlets from the roofs of buildings. A general analysis of the results allowed to point out that the reduction of runoff and the peak flows were checked in the scenario where the compensatory method was applied. Soon it was possible to show the benefits of the use of compensatory methods, through simple constructions such as rain gardens obtained great benefits not only to the area under study, but also to the downstream areas of the application.

Keywords: Urban Drainage. Compensatory methods. Rain garden. SWMM.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Bacia de detenção..... | 17 |
| Figura 2 – Exemplo de microrreservatório residencial | 18 |
| Figura 3 – Telhado verde..... | 19 |
| Figura 4 – Poço de infiltração | 20 |
| Figura 5 – Exemplo de uma trincheira de infiltração | 21 |
| Figura 6 – Exemplo de um pavimento permeável..... | 21 |
| Figura 7 – Detalhe de um jardim de chuva..... | 22 |
| Figura 8 – Funcionalidades dos módulos do UFC8 | 25 |
| Figura 9 – Área de estudo em 07/11/2004 | 27 |
| Figura 10 – Área de estudo em 23/04/2016..... | 27 |
| Figura 11 – Detalhe do local de estudo com curvas de nível e arruamento | 29 |
| Figura 12 – Modelo de discretização das quadras | 31 |
| Figura 13 – representação conceitual de um controle LID – Jardim de chuva | 33 |
| Figura 14 – Modelo no módulo UFC8 | 36 |
| Figura 15 – Modelo no SWMM | 37 |
| Figura 16 – Detalhe do jardim de chuva..... | 38 |
| Figura 17 – Detalhe de aplicação em residência de 200m ² | 38 |
| Figura 18 – Detalhe de aplicação em quadra residencial | 39 |
| Figura 19 – Mapa dos escoamentos - Situação urbanizada sem os jardins de chuva, período de retorno de 5 anos e tempo de pico de 24 minutos. | 40 |
| Figura 20 - Mapa dos escoamentos - Situação urbanizada sem os jardins de chuva, período de retorno de 20 anos e tempo de pico de 20 minutos. | 41 |
| Figura 21 - Mapa dos escoamentos - Situação urbanizada com os jardins de chuva, período de retorno de 5 anos e tempo de pico de 24 minutos. | 42 |
| Figura 22 - Mapa dos escoamentos - Situação urbanizada com os jardins de chuva período de retorno de 20 anos e tempo de pico de 20 minutos. | 43 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Hidrograma da Sub-bacia B1 com tempo de retorno de 5 anos..... | 45 |
| Gráfico 2 – Hidrograma da sub-bacia B1 com período de retorno de 20 anos. | 45 |
| Gráfico 3 – Hidrograma da sub-bacia B10 com período de retorno de 5 anos. | 46 |
| Gráfico 4 - Hidrograma da sub-bacia B10 com período de retorno de 20 anos..... | 46 |
| Gráfico 5 – Hidrograma do exutório com período de retorno de 5 anos..... | 47 |
| Gráfico 6 – Hidrograma do exutório com período de retorno de 20 anos..... | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Brasil, população total e urbana e grau de urbanização | 12 |
| Tabela 2 – Períodos de retorno para diferentes ocupações..... | 30 |
| Tabela 3 – Principais parâmetros utilizados nas camadas do processo..... | 34 |
| Tabela 4 – Coeficientes de condutividade hidráulica..... | 34 |
| Tabela 5 – Porosidade efetiva de alguns materiais de enchimento | 35 |
| Tabela 6 – Coeficiente de escoamento por zonas..... | 35 |
| Tabela 7 – Eficiência dos jardins de chuva em diferentes períodos de retorno..... | 44 |
| Tabela 8 – Vazão e tempo de pico..... | 47 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | OBJETIVOS | 13 |
| | 2.1 Objetivo Geral | 13 |
| | 2.2 Objetivos Específicos | 13 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| | 3.1 Drenagem urbana e os impactos da urbanização | 14 |
| | 3.2 Medidas de controle compensatórias | 15 |
| | 3.2.1 Medidas de controle não estruturais | 16 |
| | 3.2.2 Medidas de controle estruturais | 16 |
| | 3.2.2.1 Bacia de detenção | 17 |
| | 3.2.2.2 Microrreservatórios ou barris de chuva | 18 |
| | 3.2.2.3 Telhados verdes | 18 |
| | 3.2.2.4 Poços de infiltração | 19 |
| | 3.2.2.5 Trincheiras de infiltração | 20 |
| | 3.2.2.6 Pavimentos permeáveis | 21 |
| | 3.2.2.7 Jardins de chuva | 22 |
| | 3.3 Plataformas computacionais em drenagem urbana | 23 |
| | 3.3.1 Software HEC-HMS (Hidrologic Engineering Center) | 23 |
| | 3.3.2 Software SWMM (Storm Water Management Model) | 24 |
| | 3.3.3 Software Sistema UFC | 24 |
| 4 | METODOLOGIA | 26 |
| | 4.1 Local de estudo | 26 |
| | 4.2 Modelagem no SWMM | 28 |
| | 4.2.1 Modelagem inicial no UFC8 | 28 |
| | 4.2.2 Dados topográficos | 28 |
| | 4.2.3 Precipitação de projeto | 29 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.2.4 | Discretização das sub-bacias | 31 |
| 4.2.5 | Parâmetros hidráulicos | 32 |
| 4.2.6 | Aplicação do método compensatório | 33 |
| 4.3 | Cenários propostos | 35 |
| 4.3.1 | Área totalmente urbanizada | 35 |
| 4.3.2 | Área totalmente urbanizada com aplicação de jardins de chuva | 37 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 39 |
| 6 | CONCLUSÃO | 48 |

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização gera mudanças significativas sobre o ambiente ocupado. As ações do homem em transformar o meio natural conforme os seus interesses originam grandes superfícies impermeáveis, dificultando processos como a infiltração das águas pluviais nas superfícies urbanas, causando um desequilíbrio no balanço hídrico, cujas consequências são mudanças no comportamento do hidrograma de uma bacia ou micro-bacia (TUCCI et al., 1995).

O Brasil está passando por um acelerado processo de urbanização, superior a muitos dos países desenvolvidos. Como podemos ver na Tabela 1, em 1970 a população urbana já havia superado a rural. Analisando historicamente é um fenômeno recente, porém, num espaço de tempo de 70 anos a população passou de 40 milhões para 190 milhões, com a população urbana aumentando de 31% para 84% no censo de 2010.

Tabela 1 – Brasil, população total e urbana e grau de urbanização

| Período | Total | Urbana | Grau de urbanização(%) |
|---------|-------------|-------------|------------------------|
| 1940 | 41.236.315 | 12.880.182 | 31,24 |
| 1950 | 51.944.397 | 18.782.891 | 36,16 |
| 1960 | 69.930.293 | 31.214.700 | 44,64 |
| 1970 | 93.139.037 | 52.084.984 | 55,92 |
| 1980 | 119.502.716 | 80.436.419 | 67,31 |
| 1991 | 146.825.475 | 110.990.990 | 75,59 |
| 2000 | 169.544.443 | 137.697.439 | 81,22 |
| 2010 | 190.755.799 | 160.925.792 | 84,36 |

Fonte: FIGBE, censos demográficos de 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010

Segundo Tominaga (2013), além do problema de crescimento acelerado, a continuidade no uso de técnicas tradicionais cujo único objetivo é o transporte rápido das águas (conceito higienista), também pode ser considerado um agravante. Este tipo de solução, na maior parte dos casos, pode afetar locais que antes não apresentavam problemas ou maximizar problemas de inundações já existentes. E não havendo um controle da impermeabilização a montante das canalizações, as vazões continuam a aumentar e em pouco tempo a vazão para a qual o canal foi projetado é ultrapassada.

É essencial uma mudança nas considerações adotadas acerca da importância ambiental no espaço urbano, interligando o processo de urbanização e a drenagem urbana. Dessa maneira, um aprimoramento das práticas de manejo das águas de chuva se torna necessário.

Diante do cenário apresentado, segundo Baptista et al.(2005), nos últimos anos vem se difundindo no Brasil o uso de métodos não tradicionais de drenagem urbana objetivando o reestabelecimento das condições hidrológicas anteriores a urbanização, baseadas em métodos compensatórios que se baseiam em processos de armazenamento, detenção, retenção, interceptação, evapotranspiração e infiltração das águas pluviais.

A proposta deste trabalho é estudar a drenagem de águas pluviais relacionada à urbanização de um bairro no município de Juazeiro do Norte – CE, analisando os efeitos da implantação do método compensatório Jardim de Chuva, a ser executado nos lotes residenciais e nas indústrias, verificando as suas implicações no escoamento superficial.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar, por meio de modelagem computacional no *Software* SWMM, o efeito que a implantação de métodos compensatórios pode proporcionar na redução do escoamento em áreas urbanizadas.

2.2 Objetivos Específicos

- Modelar a sub-bacia considerando sua total urbanização;
- Traçar um mapa de escoamentos no local de estudo;
- Modelar a sub-bacia após a urbanização utilizando o método compensatório jardins de chuva;
- Traçar um mapa de escoamentos na sub-bacia após a implantação dos jardins de chuva;
- Verificar a eficiência do método nas quadras e no exutório do sistema.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico que engloba o tema de discussão deste trabalho. São abordados assuntos relacionados à drenagem urbana e a problemas relacionados a inundações nos centros urbanos, apresentando os principais métodos compensatórios e as plataformas computacionais utilizadas como ferramentas para avaliação.

3.1 Drenagem urbana e os impactos da urbanização

A necessidade de uma rede de drenagem surgiu com o aumento da aglomeração urbana, o esgoto e as águas pluviais corriam a céu aberto desencadeando grandes epidemias. Conhecido como princípio higienista, a ideia de lançar as águas contaminadas o mais rápido possível dos aglomerados urbanos evitando o contágio de doenças como tifo e cólera, foi inicialmente implantado na cidade de Paris, no século XIX, com a criação de grandes redes de drenagem subterrâneas, onde as águas pluviais eram conduzidas numa única canalização, como um sistema único (BAPTISTA et al, 2005). Conhecido como sistema tradicional de drenagem, o conceito higienista causa transtornos a jusante, como inundações frequentes, por não contemplar os problemas de qualidade da água.

Segundo Tucci et al. (2001), o sistema de drenagem deve ser entendido como o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais. E constituído por uma série de medidas que visam minimizar os riscos a que estão expostas as populações, diminuindo os prejuízos causados pelos alagamentos, inundações.

Problemas como alagamentos são ocasionados pelo acúmulo de água no leito das ruas, somado a sistemas de drenagem ineficientes, oriundas das águas precipitadas que não infiltram devido a impermeabilização do solo. Segundo Tucci (2003), inundações devido à urbanização, são as que ocorrem na drenagem urbana devido às chuvas intensas e ao efeito da impermeabilização do solo ou obstrução ao escoamento.

Frente as limitações dos métodos tradicionais de drenagem urbana surge uma nova abordagem de manejo sustentável das águas pluviais, que ao contrário dos

sistemas tradicionais visam armazenar, retardar, infiltrar, reutilizar e melhorar a qualidade dos escoamentos na bacia hidrográfica.

Essa nova abordagem contraria o efeito da expansão urbana através da otimização do uso do solo e da limitação dos custos de investimento. Dessa forma, também foram chamadas de métodos compensatórios, uma vez que foram considerados para compensar os impactos da urbanização (BAPTISTA et al, 2005).

Um dos principais princípios dos métodos compensatórios é que as taxas de vazão devem ser o mais próximo possível de como ocorriam em condições naturais.

3.2 Medidas de controle compensatórias

Nas últimas décadas, foram introduzidas outras formas de abordar os problemas de drenagem. As áreas de inundação passaram a ser objeto de planejamento, sofrendo restrições quanto à ocupação do solo e ao tipo de obras, visando principalmente a garantir a área da seção de escoamento e a minimizar as perdas de carga hidráulica em decorrência de edificações nestas áreas. (Nascimento et al., 1997).

Na busca de atingir esses objetivos, algumas comunidades optaram por incentivar o controle de drenagem urbana através de métodos compensatórios de manejo de águas pluviais, visando compensar o efeito da impermeabilização oriunda da urbanização. (URBONAS E STAHERE, 1993).

Essas medidas compensatórias, também conhecidas como BMP (*Best Management Practices*) ou LID (*Low Impact Development*), podem ser divididas em não estruturais ou estruturais. As medidas de controle não estruturais compreendem regulamentações, voltadas para uso do solo e manejo das águas pluviais com o objetivo de minimizar a sobrecarga dos sistemas de drenagem existentes.

As medidas estruturais dizem respeito a intervenções, obras e dispositivos de pequeno e médio porte, como é o caso das trincheiras de infiltração e jardins de chuva, até intervenções que podem controlar o escoamento de grandes áreas, no caso as bacias de detenção e retenção.

3.2.1 Medidas de controle não estruturais

As medidas não-estruturais baseiam-se principalmente em legislações que contemplem políticas de regulamentação do uso do solo, educação ambiental, elaboração de planos diretores detalhados, previsão e alerta de inundações.

Tucci (2004), exemplifica as medidas não estruturais da seguinte forma:

- Regulamentação do uso da terra – estabelecer o risco de inundações na área inserida, determinando se é permitida ou não a construção de habitações e se esta área pode ser utilizada para recreação.
- Construções à prova de enchentes – é um conjunto de medidas projetadas para reduzir perdas de edificações localizadas em várzeas de inundação durante a ocorrência de cheias.
- Seguro – determina a obtenção de uma proteção econômica para as perdas eventuais.
- Previsão de alerta – é um sistema composto de aquisição de dados em tempo real, transmissão de informações para um centro de análise, previsão em tempo atual com modelo matemático e Plano de Defesa.

A regulação do uso do solo estabelece restrições ao percentual de impermeabilização dos lotes e estabelece recomendações para a criação de áreas verdes e de áreas destinadas à infiltração de águas pluviais. As consequências desse tipo de regulação contribui para a redução de áreas impermeáveis conectadas a rede pluvial, promovendo a diminuição das vazões nesses sistemas (RIGHETTO , 2009).

3.2.2 Medidas de controle estruturais

Estas medidas buscam compensar efeitos da impermeabilização de superfícies. O método constitui-se na aplicação de dispositivos com finalidade de armazenamento, infiltração, retenção e evapotranspiração de águas pluviais como bacias de detenção e retenção, pavimentos permeáveis, micro reservatórios, valas e trincheiras de infiltração. Esta abordagem também pode acontecer com a aplicação de objetos de controle múltiplos como bacias de detenção para uma área de lazer e pavimentos permeáveis que permitem a infiltração e tratamento de escoamento pluvial

enquanto desempenha sua função inicial de veiculação de automóveis. (SOUZA, 2007, p. 28).

Conforme Canholi (1995), as técnicas compensatórias em drenagem urbana podem ser entendidas como estruturas, obras, dispositivos ou ainda conceitos diferenciados de projetos. São soluções que diferem do conceito tradicional de canalização, ou estão associadas a elas, para sua adequação ou otimização do sistema de drenagem.

Este estudo abordou um método estrutural de controle do escoamento superficial de pequeno porte, cujos efeitos serão analisados por meio de modelagem computacional. As estruturas selecionadas foram os jardins de chuva. A seguir, apresentam-se breves descrições deste método compensatório, bem como de outros existentes.

3.2.2.1 *Bacia de retenção*

Segundo Righetto (2009), as bacias de retenção são projetadas para deter uma parte do escoamento da bacia a montante, permitindo o amortecimento da vazão de pico escoada na bacia em decorrência da precipitação. A finalidade é impedir a inundação de áreas situadas a jusante. São sistemas idealizados para funcionar “em série” com a rede de drenagem, esvaziando-se completamente entre eventos de chuva.

Para Baptista, Nascimento e Barraud (2005), essas estruturas são de acumulação temporária e infiltração, possuindo alta funcionalidade na drenagem urbana, amortecendo cheias, reduzindo os escoamentos superficiais e a poluição difusa de origem pluvial.

Figura 1 – Bacia de retenção



Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 2004

3.2.2.2 Microrreservatórios ou barris de chuva

Tominaga (2013), define essas estruturas como pequenos reservatórios implantados nos lotes, cuja finalidade é armazenar os volumes de chuva, contribuindo assim para o amortecimento dos picos de cheia. Pode-se haver também a reutilização da água armazenada para outros fins, como irrigação de espaços verdes, lavagem de veículos, etc.

Os microrreservatórios são estruturas simples possíveis de executar em vários tipos de materiais, como alvenaria e PVC. Podem ser aparentes ou enterrados, possibilitando adaptação as limitações da rede de drenagem. (SILVA, 2004)

Figura 2 – Exemplo de microrreservatório residencial



Fonte: <http://www.kingcounty.gov/>

3.2.2.3 Telhados verdes

Os telhados verdes consistem na aplicação de vegetação na superfície de um telhado convencional. Segundo Tassi et. al. (2014), alguns estudos demonstram que essa prática confere benefícios diversos na da melhora da qualidade ambiental, atuando como amenizador de calor nas edificações, redutor de poluentes e

aumentando a biodiversidade em áreas urbanizadas. A vegetação atua sobre o escoamento superficial do telhado, suavizando os impactos da impermeabilização dele.

Figura 3 – Telhado verde



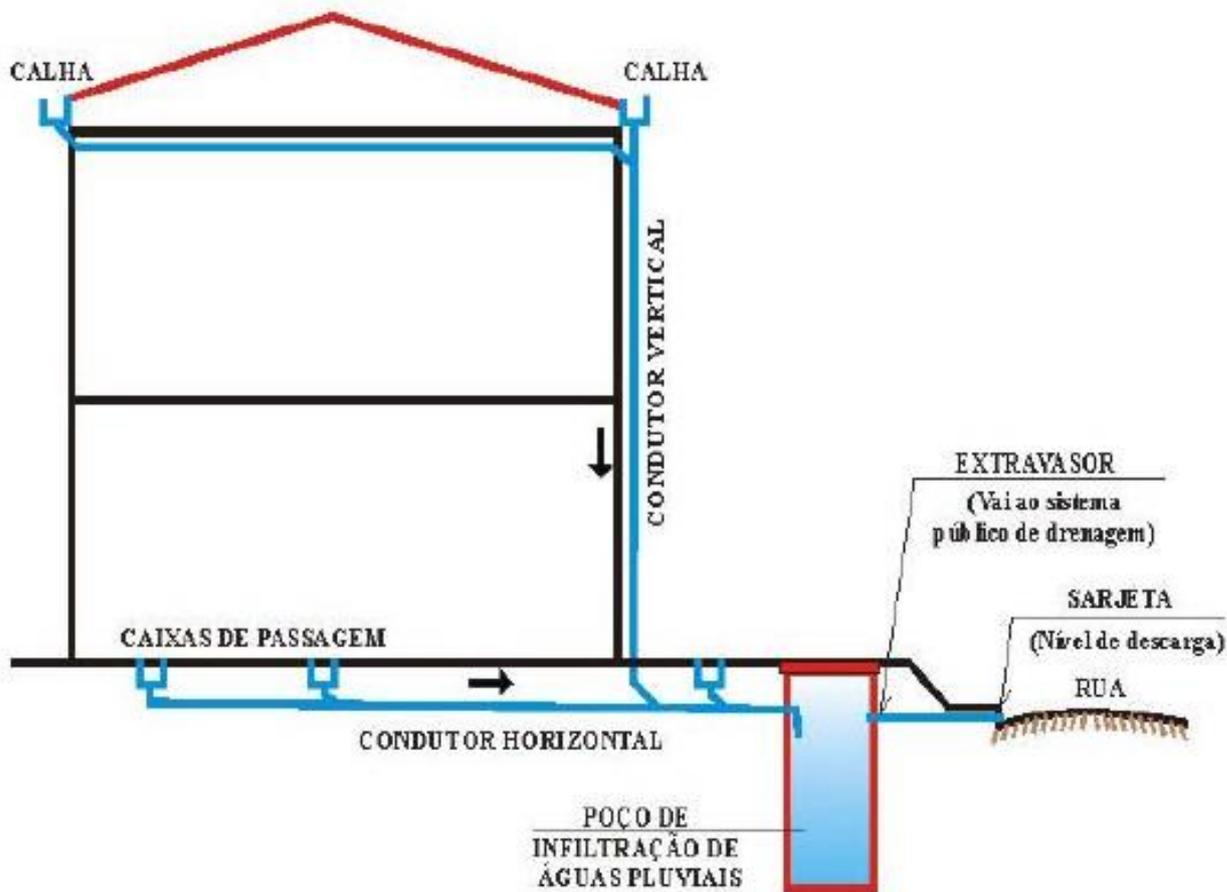
Fonte: Knopik, 2014

3.2.2.4 Poços de infiltração

São estruturas similares a cisternas, onde a água da chuva captada é infiltrada até atingir a capacidade de absorção do solo e o enchimento total da estrutura, após, o restante de água é direcionado para a rede pública. Baptista, Nascimento e Barraud (2005), destacam que as superfícies drenantes dos poços podem variar de alguns metros quadrados a milhares de metros quadrados, apresentando alta capacidade de infiltração nas camadas profundas do solo. Também contribuem para a alimentação do lençol subterrâneo.

Vale-se destacar que por ser um método compensatório baseado em infiltração, sua utilização permite redução de vazões de pico significativas, em contrapartida, devem receber manutenção regular para evitar a colmatagem.

Figura 4 – Poço de infiltração



Fonte: Reis et al, (2008)

3.2.2.5 Trincheiras de infiltração

Para Silva(2007), são métodos implantados com a função de reter e infiltrar uma parcela da água escoada superficialmente. São instalações lineares, ou seja, apresentam profundidade e largura reduzidas, porém apresentam comprimentos maiores.

Sua estrutura consiste basicamente numa escavação no solo na forma de vala, preenchido com material granular envolto em manta geotêxtil para evitar a colmatção. Entre os benefícios das trincheiras encontram-se a recarga do lençol freático, redução da poluição das águas superficiais e a possibilidade da eliminação da rede de macrodrenagem (FEITOSA, 2015).

A aplicação desse método se restringe a locais com pouca declividade por necessitar de pequenas velocidade de escoamento. Um bom uso das trincheiras é em ruas e rodovias adjacente a áreas impermeáveis (TASSINARI, 2014).

Figura 5 – Exemplo de uma trincheira de infiltração



Fonte: www.ristormwatersolutions.org

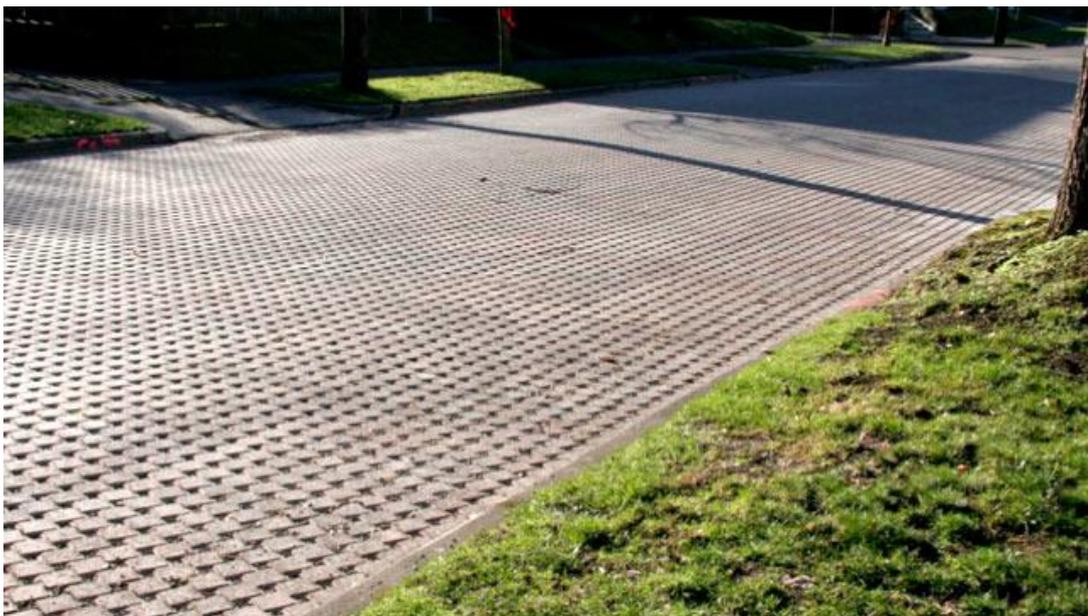
3.2.2.6 Pavimentos permeáveis

São pavimentos que possibilitam a infiltração da água por cavidades em sua estrutura. Kipper (2015), detalha que sua camadas consistem em um revestimento permeável, seguido pela base onde se encontram drenos. A água advinda do escoamento fica retida na estrutura do pavimento, servindo de retenção e retardando o escoamento.

Baptista et al (2005), comenta que a implantação de pavimentos permeáveis é uma solução para redução dos deflúvios superficiais, causados pela prática corrente do Brasil de construção de vias impermeáveis, que podem chegar a ocupar 30% da área das bacias de drenagem.

A capacidade de suporte de carga dos pisos permeáveis pode ser menor, comparando-se com pavimentos normais. Portanto, este método compensatório se adequa mais a projetos residenciais ou comerciais, como: ciclovias, quadras de esporte e estacionamentos.

Figura 6 – Exemplo de um pavimento permeável



Fonte: solucoesparacidades.com.br

3.2.2.7 Jardins de chuva

É um método compensatório que auxilia na redução dos impactos do crescimento urbano, sobretudo em áreas com ocupação densa. Righetto (2009), evidencia a sua eficiência na redução do escoamento, provenientes do seu aumento de área verde e evapotranspiração. Além de agregar valor comercial ao local de aplicação, sendo considerado uma opção excelente quando comparando a outros sistemas.

Segundo Li e Zhao (2008 *apud* Melo *et al.*, 2014), O jardim de chuva pode ser considerado como uma estrutura funcional, de baixo investimento e manutenção simples, em que a associação entre o solo, vegetação, processos de infiltração e retenção absorve as águas precipitadas reduzindo o volume do escoamento mantendo a integridade das águas subterrâneas.

Flynn e Traver (2013) realizaram um estudo sobre os possíveis impactos negativos gerados por jardins de chuva. Constataram que é na fase de projeto e construção do experimento que as prováveis causas dos impactos são geradas e que esses podem comprometer o custo e o ciclo de vida do sistema.

Figura 7 – Detalhe de um jardim de chuva



Fonte: Melo et al., 2014

3.3 Plataformas computacionais em drenagem urbana

3.3.1 Software HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center*)

O software HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*) foi projetado para simular os processos hidrológicos de bacias hidrográficas, incluindo procedimentos necessários para a simulação contínua, incluindo evapotranspiração e umidade do solo. São fornecidas ferramentas de análise suplementar para otimização de modelo, previsão de escoamento, avaliação da incerteza do modelo, erosão, transporte de sedimentos e qualidade da água (Sharffenberg, 2013).

O funcionamento do HEC-HMS é condicionado à definição de certos componentes. Dentro desse processo de definição ocorre a caracterização de um modelo de bacia, um modelo meteorológico e a especificação das condições de controle bem como dos dados de entrada. De maneira concisa, o desenvolvimento da simulação realiza a conversão chuva-vazão empregando os dados do modelo meteorológico e as condições de controle para a restrição do período de abrangência do evento modelado (LIMA, 2011).

3.3.2 Software SWMM (*Storm Water Management Model*)

O SWMM (*Storm Water Management Model*), da EPA é um modelo dinâmico de transformação chuva-vazão capaz de simular séries de precipitação de longa duração ou eventos isolados e os processos hidrodinâmicos na rede hidrográfica. Este modelo é um software livre de distribuição gratuita e vem sendo largamente aplicado em estudos hidrológicos e hidráulicos em bacias urbanas, tanto em termos de quantidade como da qualidade das águas precipitadas (TOMINAGA, 2013).

Para Rossman (2012), O *software* rastreia a quantidade e qualidade do escoamento feita dentro de cada sub-bacia. Ele controla a taxa de escoamento, a profundidade de escoamento e qualidade da água em cada tubo e canal durante um período de simulação composta por várias etapas de tempo. SWMM 5 foi recentemente estendido para modelar o desempenho hidrológico dos seguintes tipos de controles de baixo impacto (LID):

- Pavimento permeável
- Jardins de chuva
- Telhados verdes
- Cisterna
- Trincheiras de infiltração
- Valas de infiltração

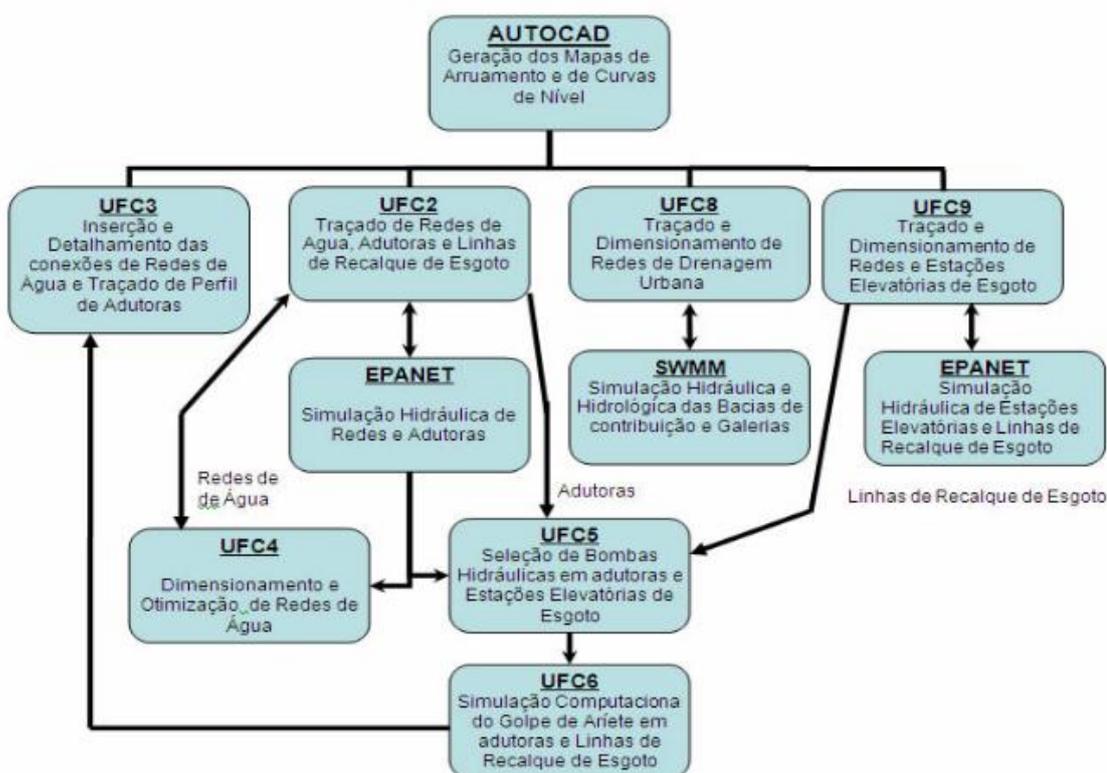
3.3.3 Software Sistema UFC

O Sistema UFC foi desenvolvido na Universidade Federal do Ceará pela equipe do Laboratório de Hidráulica Computacional (LAHC). Esse sistema é constituído de um conjunto de softwares elaborados em linguagens de programação como AutoLISP, VBA (*Visual Basic for Applications*) e Java. Em linhas gerais, o Sistema UFC é composto pelos seguintes módulos estruturais:

- UFC2: Módulo de desenho da rede e/ou Adutoras no AutoCAD e de transferência de dados da rede/adutora para o EPANET;
- UFC3: Módulo de traçado de redes de abastecimento de água.

- UFC4: Módulo de dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento de água;
- UFC5: Módulo de seleção de bombas hidráulicas e traçado da linha piezométrica de adutoras;
- UFC6: Módulo que simula computacionalmente o Golpe de Aríete em adutoras;
- UFC7: Módulo de desenho da rede e/ou Adutoras no ArcGIS e de transferência de dados da rede/adutora para o EPANET;
- UFC8: Módulo para traçado de rede de microdrenagem urbana no AutoCAD e de transferência de dados da rede para o SWMM;
- UFC9: Módulo de traçado e dimensionamento de redes de Esgotamento Sanitário dentro do ambiente AutoCAD;

Figura 8 – Funcionalidades dos módulos do UFC8



Fonte: <http://www.lahc.ufc.br/>

4 METODOLOGIA

Inicialmente no desenvolvimento do trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica referente a drenagem urbana e os métodos compensatórios aplicáveis a ela. Esta pesquisa possibilitou a obtenção de informações relevantes para a inserção de alternativas aos sistemas tradicionais utilizados ou dispositivos que aliados a eles possam aumentar sua eficiência, o que deu sequência aos objetivos dessa dissertação.

Para este trabalho, foi selecionada uma sub-bacia localizada no município de Juazeiro do Norte – Ceará, região caracterizada pela presença de indústrias e de um loteamento, onde foi avaliada a aplicabilidade de um sistema de drenagem compensatório composto por Jardins de Chuva, considerando a sua total urbanização.

Em seguida foi elaborado um sistema de drenagem tradicional no software UFC8, esse sistema servirá de base para a aplicação da técnica compensatória integrada aos aspectos urbanísticos do local modelada no SWMM, onde serão avaliados pela eficiência da redução do escoamento.

Os itens a seguir descrevem os procedimentos utilizados.

4.1 Local de estudo

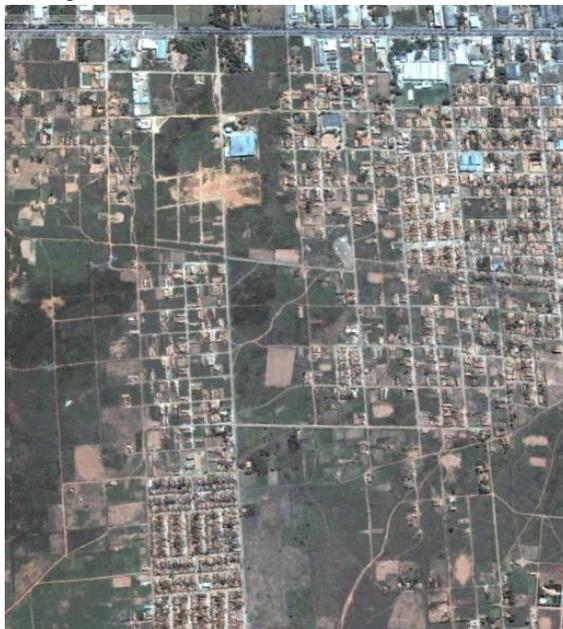
O município de Juazeiro do Norte localiza-se na Região Metropolitana do Cariri, no sul do estado, distante 491 km da capital, Fortaleza. Ocupa uma área de 248.832 km², e sua população é de 268.248 habitantes, segundo estimativa de 2016 (IBGE), que o torna o terceiro mais populoso do Ceará.

Juazeiro é ainda um grande polo cultural do Brasil, sendo um dos maiores centros de artesanato e cordel do nordeste do país. A cidade tem ainda um dos maiores polos acadêmico do interior Nordestino.

Para realização deste projeto de pesquisa, optamos em estudar um local crítico no que se refere a problemas causados por precipitações intensas, este ponto possui uma área de 359.472,83m² e localiza-se no bairro São José, nos limites entre o município de Juazeiro do Norte e Crato e pode ser caracterizado pela presença de loteamentos e indústrias, cujos escoamentos superficiais são direcionados a um único exutório, possuidor de um dissipador de energia do tipo escada hidráulica.

Nas figuras 9 e 10 a seguir, podemos ver o acelerado processo de urbanização na área, o que fez com que a drenagem tradicional aplicada se tornasse ineficiente.

Figura 9 – Área de estudo em 07/11/2004



Fonte: Google Earth (2016)

Figura 10 – Área de estudo em 23/04/2016



Fonte: Google Earth (2016)

4.2 Modelagem no SWMM

A seguir são apresentados os principais procedimentos usados para realização do modelo e os demais aspectos considerados na utilização do SWMM (*Storm Water Management Model*).

4.2.1 Modelagem inicial no UFC8

O Sistema UFC é um conjunto de softwares escritos em diversas linguagens de programação executado como um aplicativo no AutoCAD, ou seja, sua interface de funções é adicionada às palhetas de função do AutoCAD, o UFC8 é um dos módulos presentes no sistema que realiza o traçado de redes de microdrenagem urbana e transfere os dados da rede para o SWMM.

Através dos sub-ícones do UFC8 é possível gerar um projeto de drenagem urbana tradicional desde a sua representação gráfica ao dimensionamento e levantamento de quantitativos.

A facilidade na definição de parâmetros necessários para a modelagem no SWMM como inserção de curvas de nível e arruamento, delimitação, cálculo de área e inclinação das sub-bacias e cálculo de precipitação, é o motivo de escolha do sistema UFC como software de modelagem inicial para esse projeto.

4.2.2 Dados topográficos

A obtenção das curvas de níveis e delimitação da bacia de contribuição, foi através do software de geoprocessamento Global Mapper 17, utilizando o banco de dados "*Data Source: ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data*". Para maior precisão foram geradas curvas com intervalo de 1 metro.

O arruamento do local de estudo foi disponibilizado pela secretaria de Infraestrutura de Juazeiro do Norte (SEINFRA).

No sistema UFC foi inserido o arruamento do local e suas respectivas curvas de nível (figura 11), Esse plano servirá como base de orientação para a delimitação das bacias de contribuição e de todos os elementos pertencentes à rede de drenagem.

Figura 11 – Detalhe do local de estudo com curvas de nível e arruamento



Fonte: O autor (2017)

4.2.3 Precipitação de projeto

Módulo UFC8 permite o cálculo da precipitação através dos seguintes métodos:

- Método de Pfafstetter
- Equações de chuva
- Taborga-Torrico

Neste projeto utilizou-se o método das equações de chuva, também conhecidas como curva IDF, onde foi usada a equação 1 de Fachine Sobrinho (2011), desenvolvida para o município de Juazeiro do Norte – CE.

(1)

$$I = \frac{26,734 \cdot (Tr - 2,90)^{0,098}}{(t + 10,14)^{0,798}}$$

Em que,

I é a intensidade máxima de chuva em mm/min;

T é o período de retorno em anos;

t é a duração da chuva em minutos;

A duração da chuva em minutos foi considerada como sendo igual ao tempo de concentração da bacia, que no UFC8 pode ser calculado pelas equações de Kirpich, Ven te Chow, U.S. Corp of Engineers e Carter, neste trabalho foi utilizada a equação de Kirpich (Equação 2).

$$t_c = \frac{0,019 \cdot L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

(2)

Em que,

t_c é o tempo de concentração da bacia em minutos;

L é o comprimento do talvegue em metros;

S é a declividade do talvegue em m/m;

Segundo Dias (2010), o período de retorno escolhido depende do tipo e da relevância obra de engenharia, fazendo com que a escolha esteja associada ao grau de segurança e a necessidade posterior de reparos. Dessa forma um maior tempo de retorno implica em menor risco e maior custo.

Tabela 2 – Períodos de retorno para diferentes ocupações

| Tipo de obra | Tipo de ocupação da área | Tempo de retorno |
|---------------------|--|-------------------------|
| Microdrenagem | Residencial | 2 |
| | Comercial | 5 |
| | Áreas com edifícios de serviço público | 5 |
| | Aeroportos | 2 - 5 |
| | Áreas comerciais e artérias de tráfego | 5 - 10 |
| Macro-drenagem | Áreas comerciais e residenciais | 50 - 100 |
| | Áreas de importâncias específicas | 500 |

Fonte: DAEE/CETESB (1980)

Como o estudo realizado é de microdrenagem e a ocupação da área é tanto residencial quanto comercial, foi escolhido um período de retorno de 5 anos. Para uma

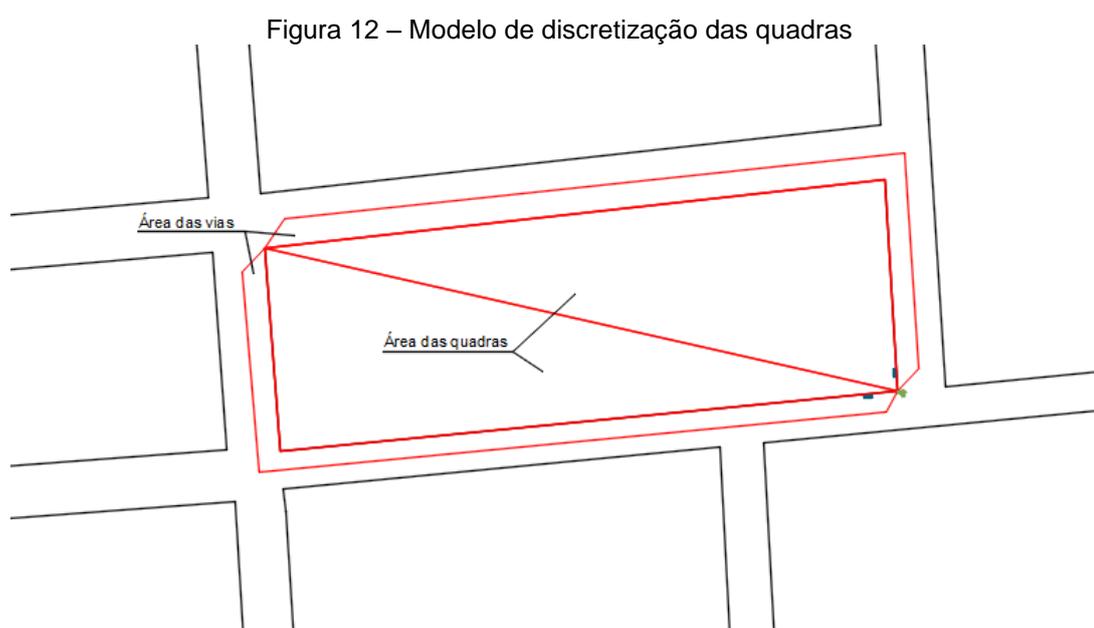
melhor análise da eficiência na redução do escoamento pelos jardins de chuva também foram feitas simulações para 20 anos.

4.2.4 Discretização das sub-bacias

O SWMM define sub-bacias como unidades hidrológicas de terreno cuja topografia e elementos do sistema de drenagem conduzem o escoamento diretamente para um único ponto de descarga. No software o usuário divide a área de estudo em um número adequado de sub-bacias e identifica o ponto de saída de cada uma delas.

Esse processo é bastante facilitado no módulo UFC8, pela facilidade de importação de dados topográficos e arruamento e pelo uso da função “Object Snap” do AutoCAD, que fixa os vértices da delimitação exatamente nos vértices do arruamento, atingindo uma maior precisão na obtenção de dados, como a área.

Para discretização das sub-bacias no UFC8, foram consideradas as áreas das quadras e das vias, dividindo-as em duas áreas, de forma que cada uma delas seja compreendida como área de contribuição responsável pela formação e encaminhamento dos deflúvios a um elemento de drenagem nas vias públicas (figura 12).



Fonte: O autor (2017)

Como resultados das aplicações das técnicas de discretização foram geradas 92 sub-bacias, sendo 46 referentes a quadras e 46 a vias. Os principais parâmetros necessários para cada uma delas no SWMM são:

- Dados pluviométricos;
- O nó onde ela descarrega;
- A área;
- A porcentagem de área impermeável;
- A declividade;
- A largura característica do fluxo superficial;
- O valor do coeficiente de Manning “n” para o fluxo superficial.
- O armazenamento em depressão para áreas permeáveis e impermeáveis.

4.2.5 Parâmetros hidráulicos

Os parâmetros hidráulicos a serem ajustados no SWMM implicam na definição dos nós de conexão da rede de drenagem e também dos elementos responsáveis pela condução do escoamento (galerias, sarjetas, entre outros).

Os Nós de Conexão são objetos do sistema de drenagem onde se conectam os elementos de condução entre si. Fisicamente, podem representar a confluência de canais superficiais naturais, poços de visita do, ou elementos de conexão de tubulações (Rossman, 2012).

Os principais parâmetros a serem fornecidos ao modelo para os condutos são:

- Identificação dos nós de entrada e saída.
- Offset do nó de entrada e de saída.
- Comprimento do conduto.
- Coeficiente de Manning.
- Geometria da seção transversal do conduto.

Neste projeto, como serão analisados apenas os escoamentos das sub-bacias e a vazão do exutório, os condutos foram considerados apenas como um caminho de transporte da vazão, ou seja, sua geometria foi definida apenas de forma

que não existisse trecho de condução extrapolando o limite de capacidade. O coeficiente de Manning utilizado foi de $0,016 \text{ s/m}^{1/3}$.

4.2.6 Aplicação do método compensatório

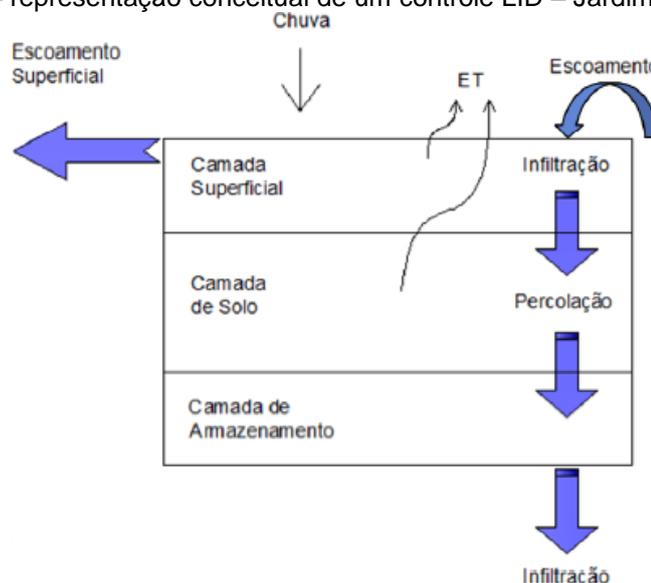
O SWMM trata os métodos compensatórios como dispositivos de controle de baixo impacto (LID), que são projetados para subtrair parte do escoamento superficial por meio de processos artificiais combinados de retenção, infiltração e evapotranspiração. O dispositivo de controle é projetado por unidade de área, de modo que ele pode ser colocado em qualquer número de sub-bacias em diferentes tamanhos ou números de repetições.

Alguns autores consideram os jardins de chuva sistemas ideais para serem implantados em áreas residenciais, principalmente em quintais, onde os sistemas são dimensionados para receber os volumes das áreas impermeáveis (calçadas e telhados). Sendo adotado um critério mínimo de dimensionamento de 5% da área da superfície impermeável (MELO et. al, 2014).

Dessa forma, tentou-se aqui analisar o comportamento do SWMM quando utilizado o dispositivo LID jardim de chuva.

No editor de controle LID encontrado no software a entrada de dados consiste na definição de parâmetros nas camadas do processo escolhido representadas abaixo (figura 13).

Figura 13 – representação conceitual de um controle LID – Jardim de chuva



Fonte: Storm Water Management Model – User's Manual (2010), com modificações

Os jardins foram inseridas no modelo com os dados expostos abaixo (tabela 3). Foi considerada uma cobertura vegetal de 50%, o índice de vazios foi definido com base na porosidade do material e não foi considerado dreno de fundo, já que os jardins foram dimensionadas de forma a esgotarem todo o volume de água através da sua infiltração no solo.

Tabela 3 – Principais parâmetros utilizados nas camadas do processo

| Camada | Principais parâmetros utilizados |
|---------------|---|
| Superfície | Profundidade de Armazenamento - 200mm |
| | Cobertura vegetal (fração) - 0,50 |
| Solo | Espessura - 700mm |
| | Porosidade - 25% |
| | Condutividade hidráulica - 3600mm/h |
| Armazenamento | Altura - 300mm |
| | porosidade - 40% |

Fonte: Produzida pelo autor

O solo escolhido foi de areia grossa, por ter uma boa condutividade hidráulica, com uma pequena camada superior de substrato para possibilitar o plantio da vegetação, já o material usado para o armazenamento foi o cascalho por ter uma boa porosidade e conseqüentemente uma maior capacidade de armazenamento, os respectivos dados de condutividade e porosidade foram retirados das tabelas 4 e 5 abaixo.

Tabela 4 – Coeficientes de condutividade hidráulica

| Material | Condutividade Hidráulica | |
|-----------------|---------------------------------|------------|
| | mm/h | m/s |
| Brita 3 | 1620000 | 0,45 |
| Brita 2 | 900000 | 0,25 |
| brita 1 | 540000 | 0,15 |
| brita 0 | 180000 | 0,05 |
| Areia grossa | 3600 | 0,001 |
| Areia fina | 36 | 0,00001 |
| Silte | 0,36 | 0.0000001 |
| Argila | 0,00036 | 1E-10 |

Fonte: Manual de Drenagem do DNER (1990)

Tabela 5 – Porosidade efetiva de alguns materiais de enchimento

| Material | Porosidade Efetiva (%) |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Brita grossa | 30 |
| Cascalho de granulometria uniforme | 40 |
| Brita graduada | 30 |
| Areia | 25 |
| Seixo rolado | 15-25 |

Fonte: Urbonas e stahre (1993)

4.3 Cenários propostos

4.3.1 Área totalmente urbanizada

O primeiro cenário implantado para análise considerou a total urbanização da área em estudo, para isso foram definidos os percentuais de impermeabilização de todas as sub-bacias utilizando a tabela 6. Como a maior parte dos lotes é composto de residências e conta com a presença de algumas indústrias, foi considerado um coeficiente de impermeabilização de 60% para as quadras e de 90% para as vias que são todas asfaltadas.

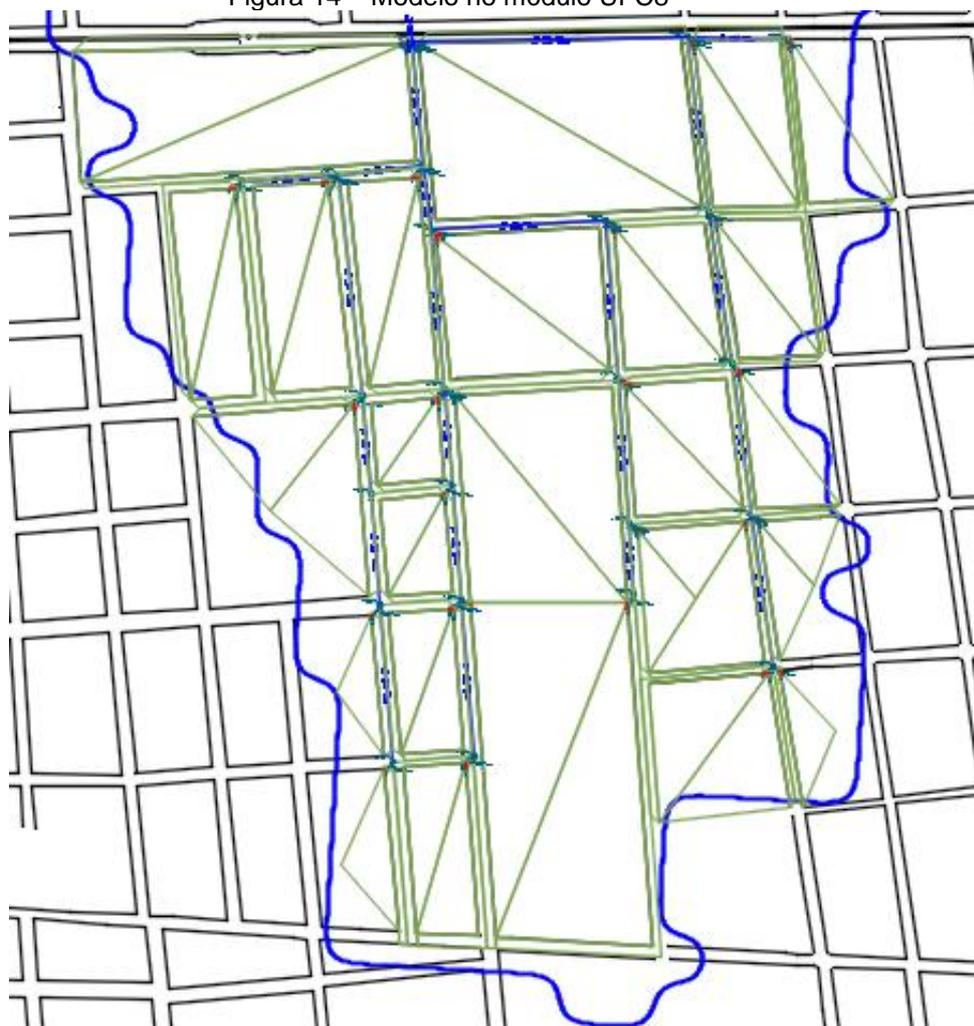
Tabela 6 – Coeficiente de escoamento por zonas

| Zonas | C |
|--|-------------|
| Edificação muito densa: Partes centrais, densamente contruidas, de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas | 0,70 - 0,95 |
| Edificação não muito densa: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas | 0,60 - 0,70 |
| Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas. | 0,50 - 0,60 |
| Edificações com muitas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas. | 0,25 - 0,50 |
| Subúrbios com alguma edificação: Partes de arabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção. | 0,10 - 0,25 |
| Matas, parques e campos de esporte: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação . | 0,05 - 0,20 |

Fonte: Tucci (1995)

No módulo UFC8 foram discretizadas todas as sub-bacias conforme mostrado na figura 14 abaixo, foi modelada também a condução dos escoamentos composta por bocas de lobo, galerias, poços de visita e um exutório. Como descrito no item 4.2.2.2, também foram inseridos os dados pluviométricos representado pela equação de chuva, os outros parâmetros como área, declividade e largura característica das sub-bacias foram calculados automaticamente pelo UFC8.

Figura 14 – Modelo no módulo UFC8



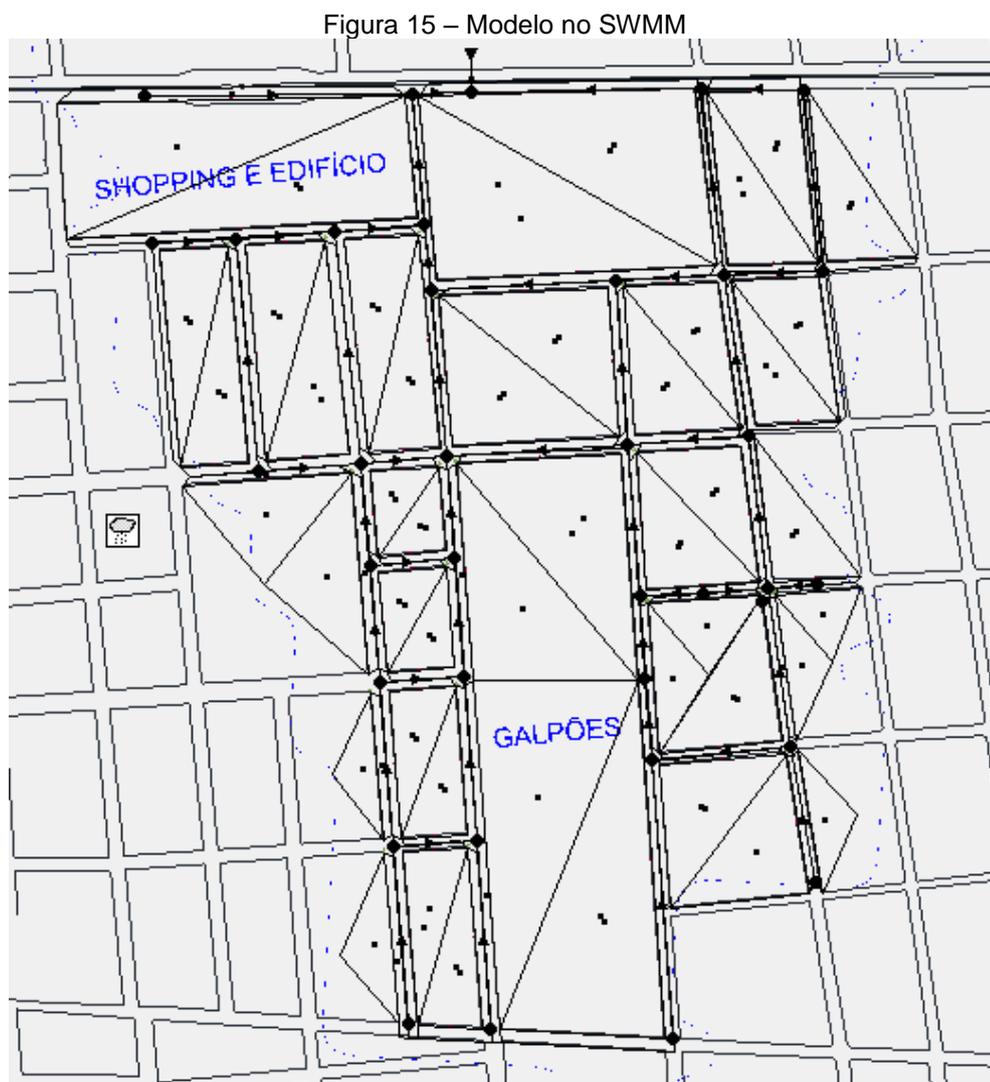
Fonte: O autor (2017)

Após o processo descrito acima a modelagem no UFC8 foi exportada para o SWMM, onde foi feita uma análise do modelo e algumas correções e incrementações.

Entre as principais modificações estão:

- Exclusão de séries temporais e pluviômetros desnecessários;
- Adição de mais uma série temporal com tempo de retorno de 20 anos;

- Exclusão de elementos de drenagem desnecessários (bocas de lobo);
 - Associação das sub-bacias aos nós da rede de condução;
 - Encaminhamento de toda a rede de condução a um único exutório;
- Abaixo modelo final com as correções detalhadas acima (figura 15):

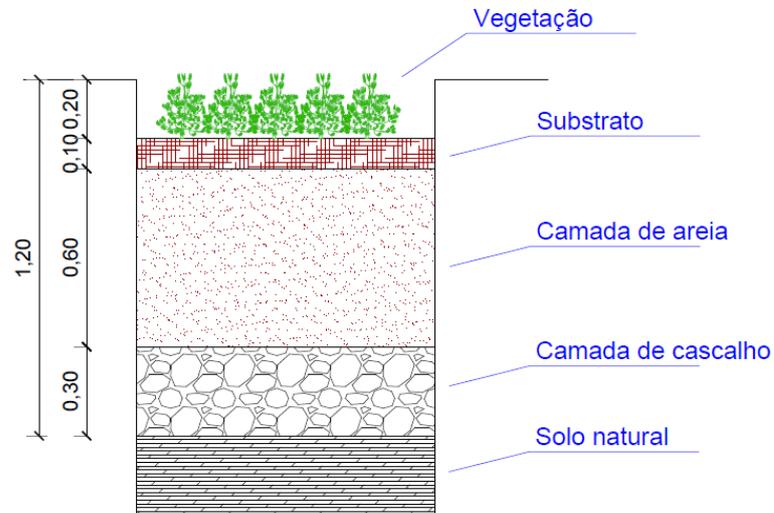


Fonte: O autor (2017)

4.3.2 Área totalmente urbanizada com aplicação de jardins de chuva

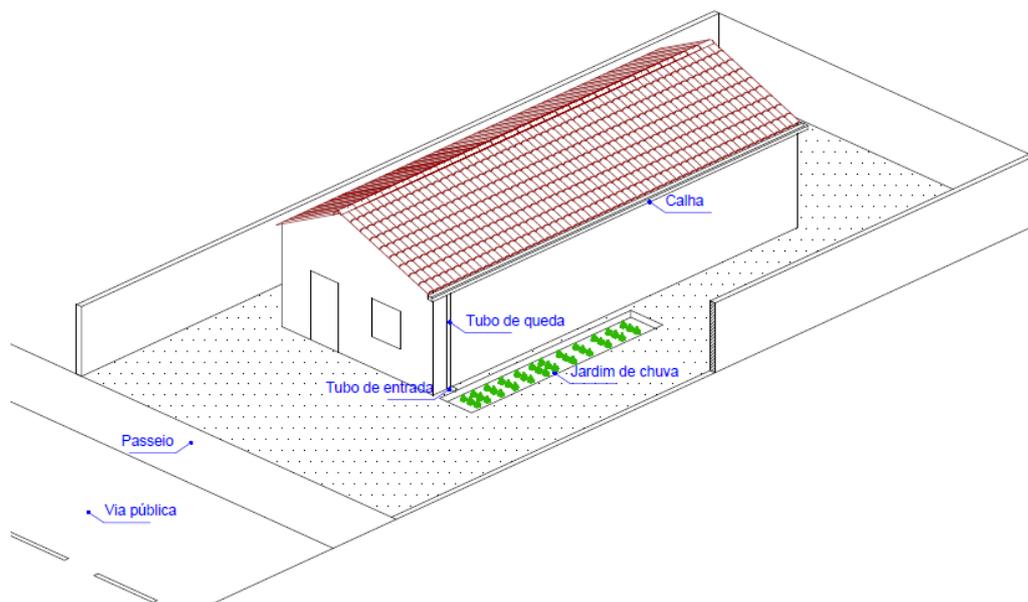
Este cenário proposto trata-se da adição de jardins de chuva ao sistema totalmente urbanizado inicial. Para efeito de análise considerou-se a aplicação dos jardins nas áreas livres das residências e também das indústrias. A única medida pré-definida do método compensatório é a altura correspondente as camadas do processo descritas no item 4.2.2 e representadas na figura 16.

Figura 16 – Detalhe do jardim de chuva.



Fonte: O autor (2017)

Como foi descrito neste trabalho a literatura orienta que a área de aplicação do método jardins de chuva seja 5% da área impermeável da sub-bacia. Para melhor exemplificar foi considerada uma residência de 200m² de área, como o coeficiente de escoamento utilizado foi de 60% e considerou-se que a parte impermeável do lote corresponde aos telhados, temos um telhado com 120m² de área e conseqüentemente um jardim de chuva com 6m² de área. O exemplo descrito aqui foi detalhado na figura 17 abaixo.

Figura 17 – Detalhe de aplicação em residência de 200m²

Fonte: O autor (2017)

Na figura 18 a seguir pode ser vista a implantação dos jardins numa quadra com múltiplas residências.

Figura 18 – Detalhe de aplicação em quadra residencial



Fonte: O autor (2017)

Em função de todos os levantamentos de dados topográficos feitos e, dispondo-se dos parâmetros hidrológicos e hidráulicos dos modelos explanados já corretamente caracterizados, pode-se partir para a execução das simulações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para análise dos resultados desse trabalho, após a execução das simulações foram gerados mapas do escoamento das sub-bacias, tabelas com vazões e tempos de pico, como também os hidrogramas das sub-bacias B1, B10 e do exutório.

Ao ser executada a simulação sem os jardins com os período de retorno de 5 e 20 anos, observou-se um tempo de pico no exutório de 24 minutos e 20 minutos respectivamente, após isso foi elaborado uma mapa dos escoamentos das sub-bacias nestes tempos de pico (figuras 19 e 20).

Figura 19 – Mapa dos escoamentos - Situação urbanizada sem os jardins de chuva, período de retorno de 5 anos e tempo de pico de 24 minutos.

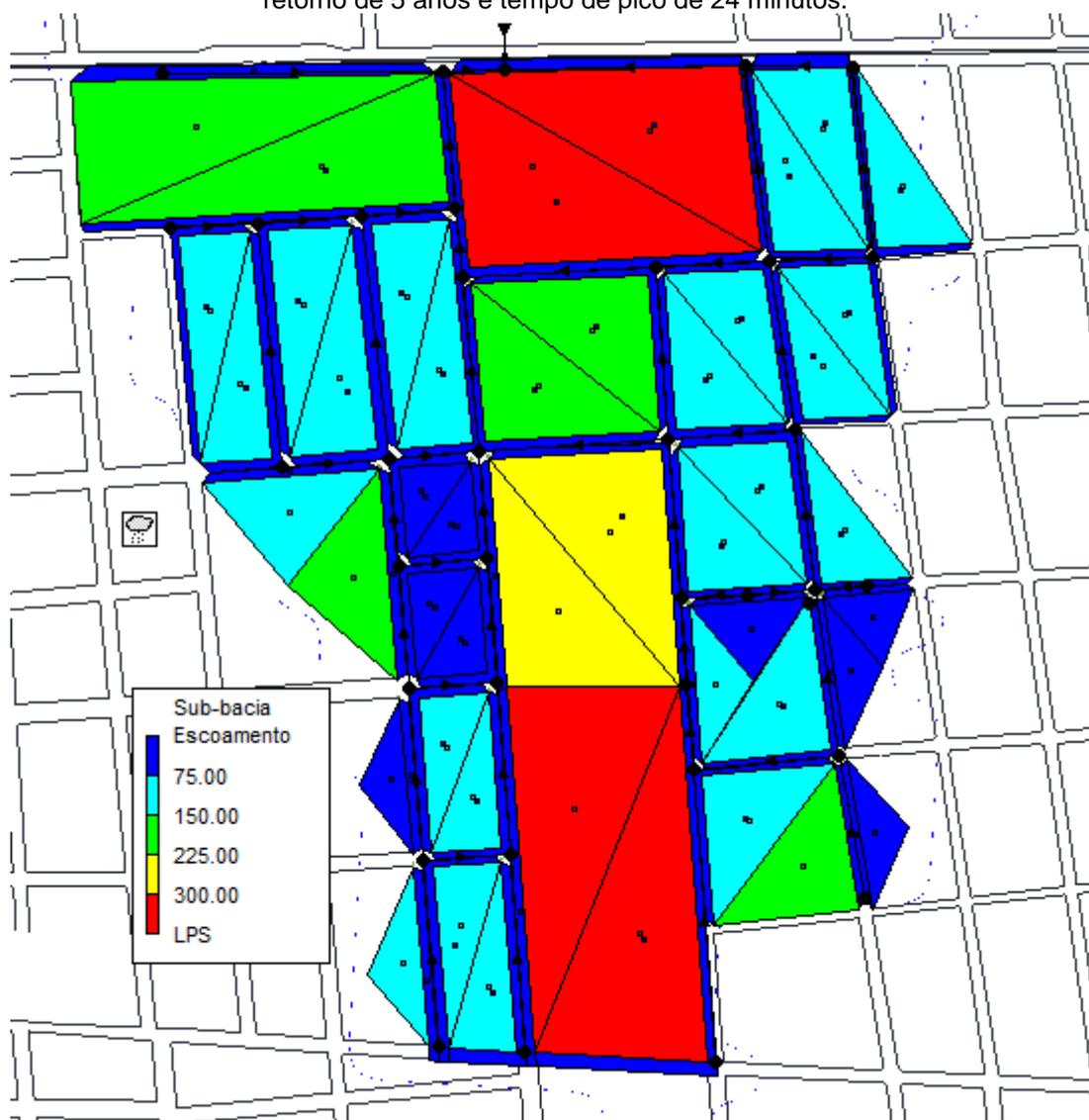
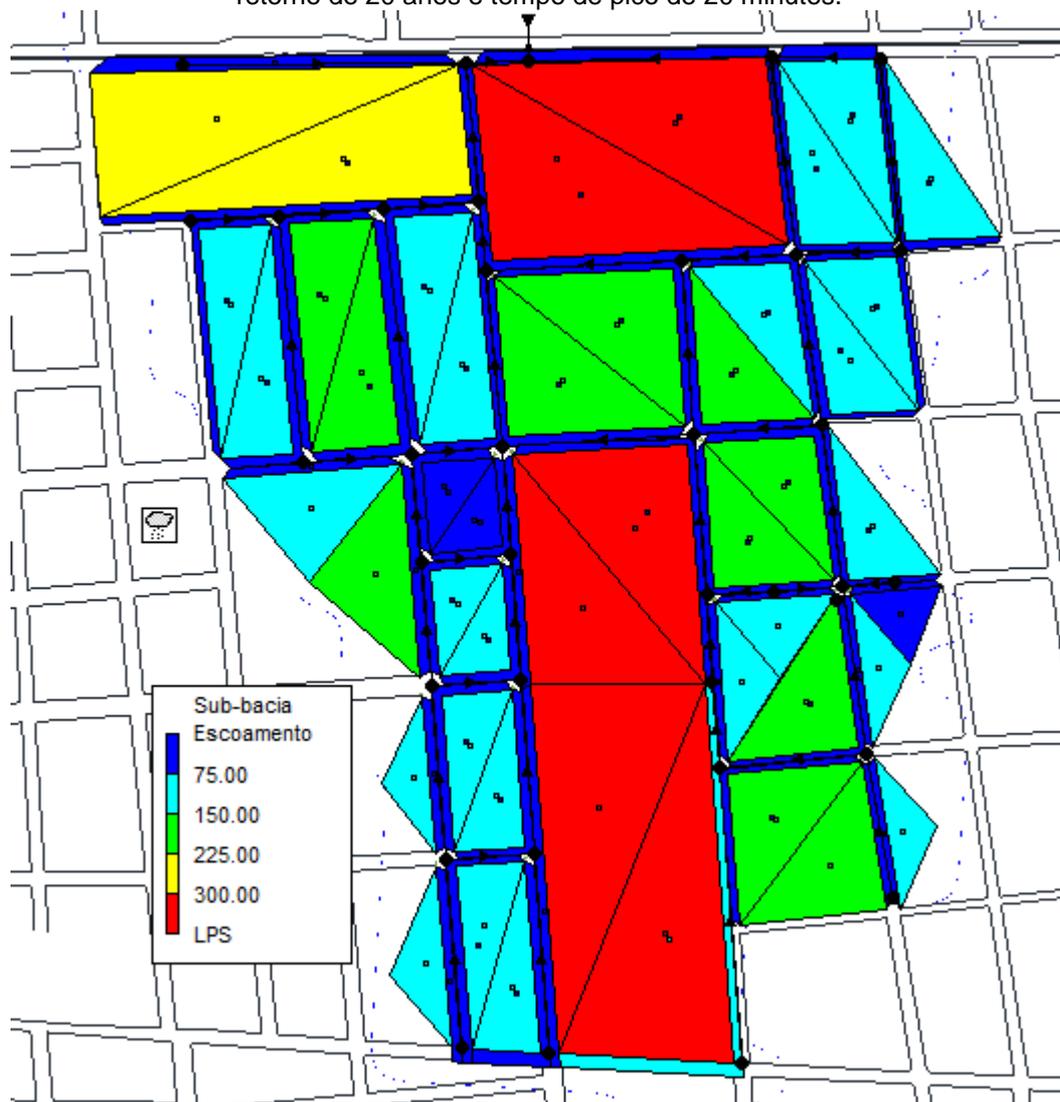


Figura 20 - Mapa dos escoamentos - Situação urbanizada sem os jardins de chuva, período de retorno de 20 anos e tempo de pico de 20 minutos.

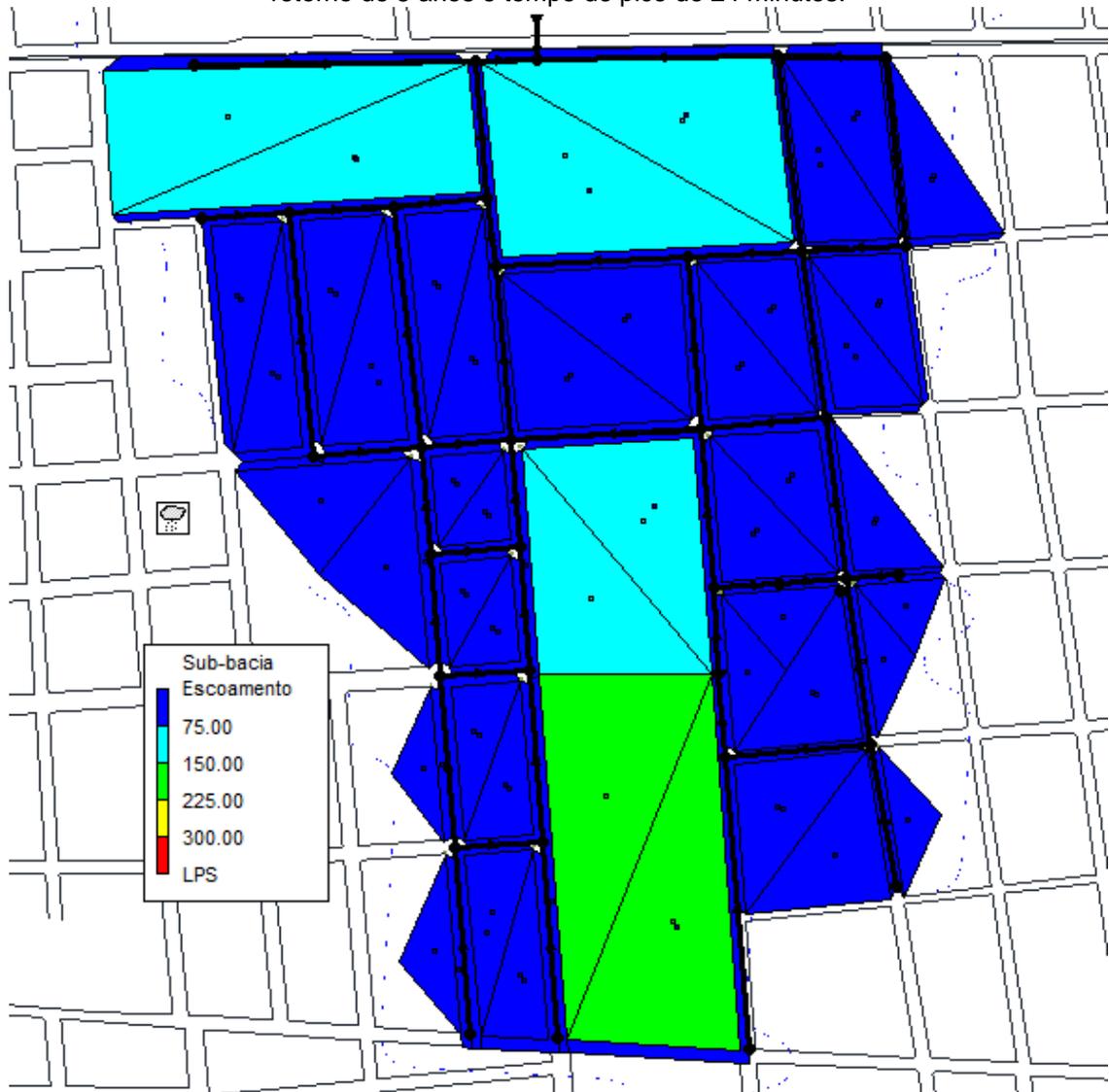


Fonte: O autor (2017)

Podemos ver um aumento substancial nos escoamentos das sub-bacias, principalmente nas localizadas nas quadras industriais (B1, B10, B27, B28), e as localizadas na quadra mais próxima do exutório (B17 e B18), com aumentos de até 100 L/s nas vazões das sub-bacias B1 e B27.

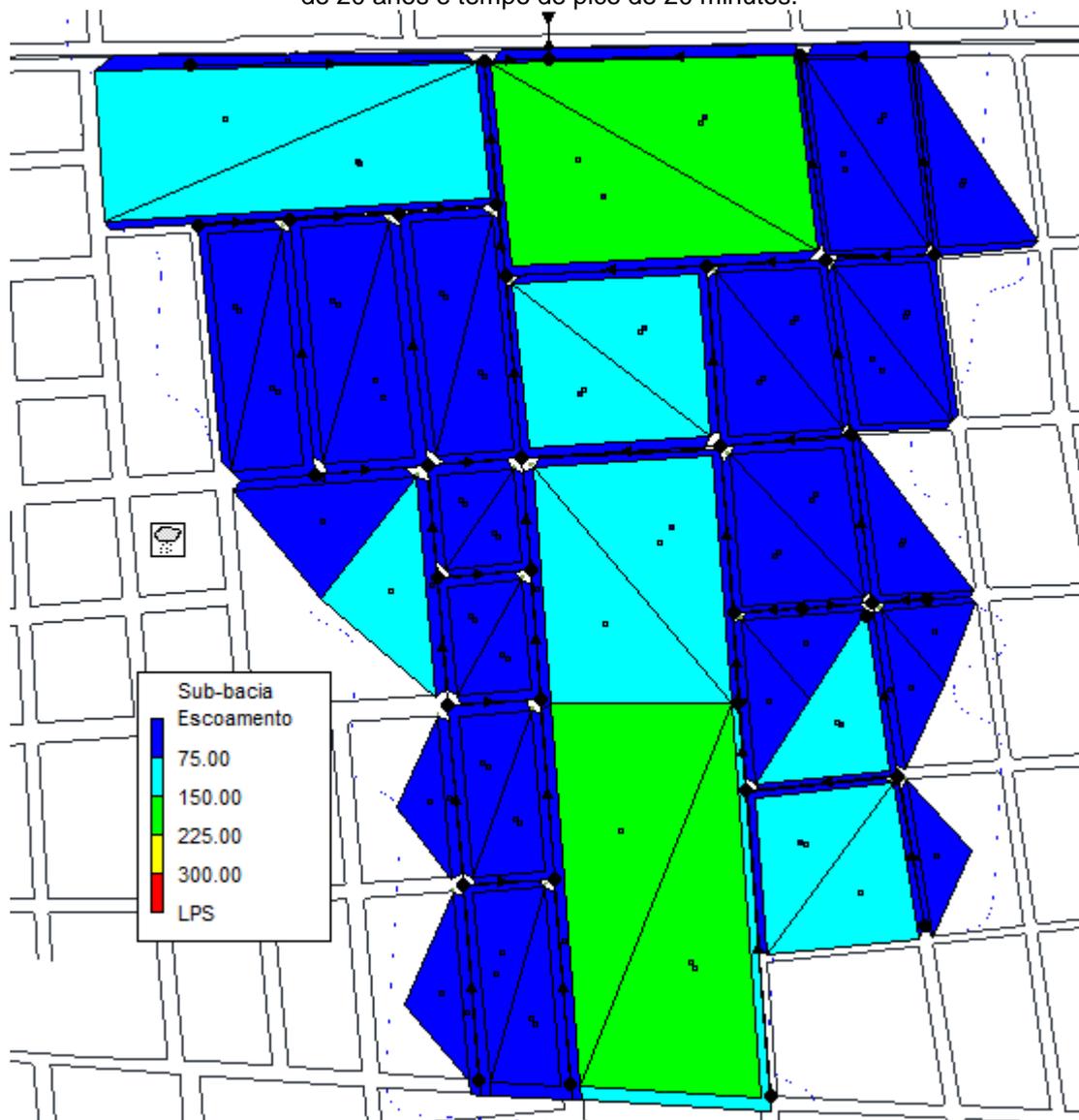
Fez-se simulações com os jardins inseridos com os devidos parâmetros e também foram gerados os mapas de escoamento, observou-se que os exutórios permaneceram com os mesmos tempos de pico de 24 e 20 minutos para 5 e 20 anos de período de retorno. A seguir os mapas de escoamento com o método compensatório aplicado (figuras 21 e 22).

Figura 21 - Mapa dos escoamentos - Situação urbanizada com os jardins de chuva, período de retorno de 5 anos e tempo de pico de 24 minutos.



Fonte: O autor (2017)

Figura 22 - Mapa dos escoamentos - Situação urbanizada com os jardins de chuva período de retorno de 20 anos e tempo de pico de 20 minutos.



Fonte: O autor (2017)

Com o método compensatório aplicado podemos ver uma redução bastante significativa das vazões nas sub-bacias, essas reduções foram de aproximadamente 60% e estão descritas na tabela 7 abaixo. Vê-se que nas sub-bacias das vias não houve redução de vazão do cenário urbanizado para o cenário urbanizado com os jardins implantados, por que os mesmos foram aplicados apenas nas sub-bacias das quadras residenciais, desta forma elas não foram detalhadas na tabela mencionada.

Tabela 7 – Eficiência dos jardins de chuva em diferentes períodos de retorno.

| Sub-bacia | PERÍODO DE RETORNO - 5 ANOS | | | PERÍODO DE RETORNO - 20 ANOS | | |
|-----------|-----------------------------|---------------------|----------------|------------------------------|---------------------|----------------|
| | Tradicional | Compensatório | EFICIÊNCIA (%) | Tradicional | Compensatório | EFICIÊNCIA (%) |
| | Vazão de Pico (L/s) | Vazão de Pico (L/s) | | Vazão de Pico (L/s) | Vazão de Pico (L/s) | |
| B1 | 373.34 | 152.62 | 59.12 | 474.29 | 194.54 | 58.98 |
| B2 | 96.41 | 39.55 | 58.98 | 121.95 | 50.52 | 58.57 |
| B3 | 95.61 | 39.26 | 58.94 | 120.91 | 50.15 | 58.52 |
| B4 | 88.64 | 36.85 | 58.43 | 111.7 | 47.02 | 57.91 |
| B5 | 90.59 | 37.69 | 58.39 | 114.16 | 48.09 | 57.87 |
| B6 | 65 | 27.31 | 57.98 | 81.73 | 34.83 | 57.38 |
| B7 | 64.95 | 27.29 | 57.98 | 81.67 | 34.82 | 57.37 |
| B8 | 55.94 | 23.62 | 57.78 | 70.28 | 30.13 | 57.13 |
| B9 | 57.41 | 24.26 | 57.74 | 72.14 | 30.94 | 57.11 |
| B10 | 257.4 | 104.75 | 59.30 | 326.6 | 133.95 | 58.99 |
| B11 | 111.72 | 45.47 | 59.30 | 141.75 | 58.14 | 58.98 |
| B12 | 116.33 | 47.34 | 59.31 | 147.6 | 60.54 | 58.98 |
| B13 | 158.89 | 65 | 59.09 | 200.73 | 82.9 | 58.70 |
| B14 | 160.01 | 65.45 | 59.10 | 202.16 | 83.47 | 58.71 |
| B15 | 203.43 | 83.18 | 59.11 | 258.41 | 106.22 | 58.89 |
| B16 | 223.57 | 91.41 | 59.11 | 283.81 | 116.74 | 58.87 |
| B17 | 325.44 | 132.98 | 59.14 | 411.31 | 169.63 | 58.76 |
| B18 | 307.34 | 125.68 | 59.11 | 388.34 | 160.31 | 58.72 |
| B19 | 79.77 | 32.87 | 58.79 | 100.76 | 41.97 | 58.35 |
| B20 | 61.27 | 25.63 | 58.17 | 77.12 | 32.69 | 57.61 |
| B21 | 108.21 | 44.22 | 59.14 | 136.81 | 56.42 | 58.76 |
| B22 | 133.76 | 54.49 | 59.26 | 169.67 | 69.67 | 58.94 |
| B23 | 128.43 | 52.32 | 59.26 | 162.89 | 66.89 | 58.94 |
| B24 | 110.19 | 44.91 | 59.24 | 139.74 | 57.42 | 58.91 |
| B25 | 111.97 | 45.63 | 59.25 | 141.99 | 58.34 | 58.91 |
| B26 | 164.25 | 67.5 | 58.90 | 207.67 | 86.2 | 58.49 |
| B27 | 383.45 | 156.67 | 59.14 | 487.13 | 199.7 | 59.00 |
| B28 | 268.32 | 109.18 | 59.31 | 340.51 | 139.63 | 58.99 |
| B29 | 146.88 | 60.12 | 59.07 | 185.95 | 76.82 | 58.69 |
| B30 | 159.05 | 65.06 | 59.09 | 201.41 | 83.14 | 58.72 |
| B31 | 60.23 | 24.88 | 58.69 | 76.04 | 31.76 | 58.23 |
| B32 | 72.26 | 29.66 | 58.95 | 91.4 | 37.89 | 58.54 |
| B33 | 78.07 | 32.56 | 58.29 | 98.33 | 41.54 | 57.75 |
| B34 | 61.97 | 25.69 | 58.54 | 78.16 | 32.79 | 58.05 |
| B35 | 56.15 | 23.36 | 58.40 | 70.76 | 29.81 | 57.87 |
| B36 | 130.25 | 53.47 | 58.95 | 164.74 | 68.3 | 58.54 |
| B37 | 120.25 | 49.39 | 58.93 | 152.06 | 63.09 | 58.51 |
| B38 | 92.51 | 37.68 | 59.27 | 117.36 | 48.18 | 58.95 |
| B39 | 128.31 | 52.55 | 59.04 | 162.42 | 67.14 | 58.66 |
| B40 | 114.34 | 46.87 | 59.01 | 144.7 | 59.87 | 58.62 |
| B41 | 90.06 | 36.66 | 59.29 | 114.27 | 46.88 | 58.97 |
| B42 | 92.4 | 37.61 | 59.30 | 117.24 | 48.1 | 58.97 |
| B43 | 105.55 | 42.88 | 59.37 | 134.06 | 54.84 | 59.09 |
| B44 | 105.03 | 42.66 | 59.38 | 133.4 | 54.57 | 59.09 |
| B45 | 98.58 | 40.32 | 59.10 | 124.53 | 51.43 | 58.70 |
| B46 | 144.47 | 59.07 | 59.11 | 182.99 | 75.48 | 58.75 |

Fonte: O autor (2017)

Gráfico 1 – Hidrograma da Sub-bacia B1 com tempo de retorno de 5 anos.

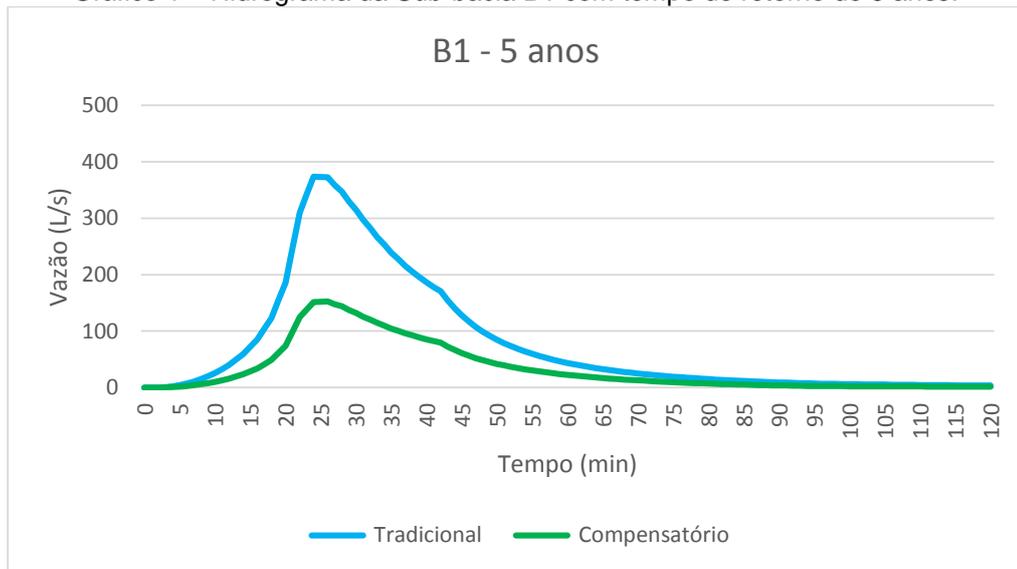


Gráfico 2 – Hidrograma da sub-bacia B1 com período de retorno de 20 anos.

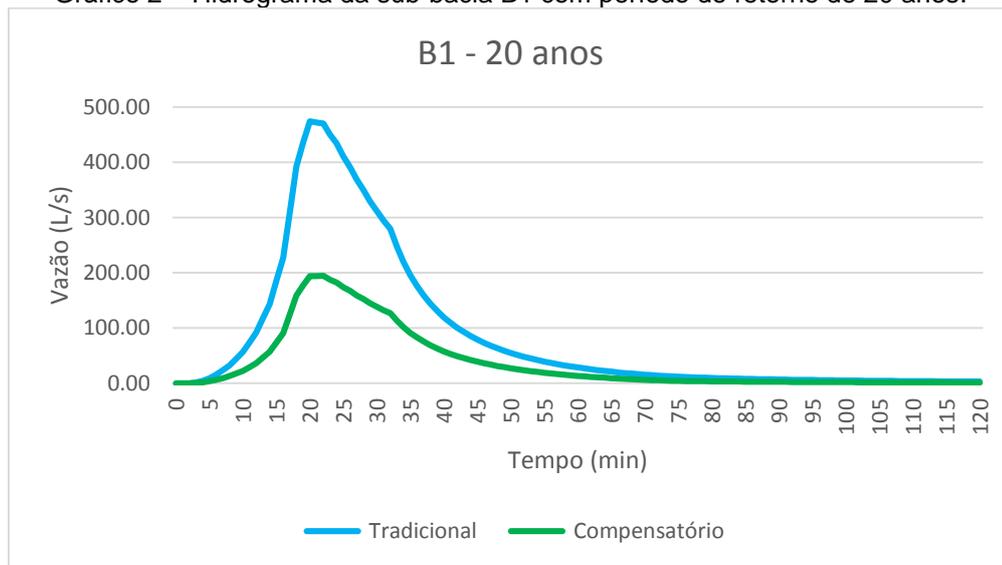
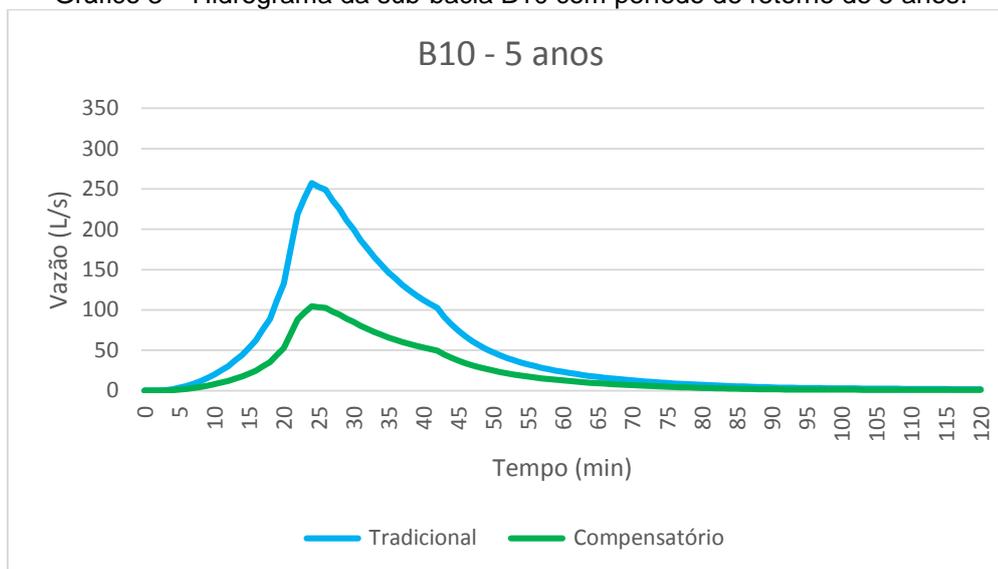
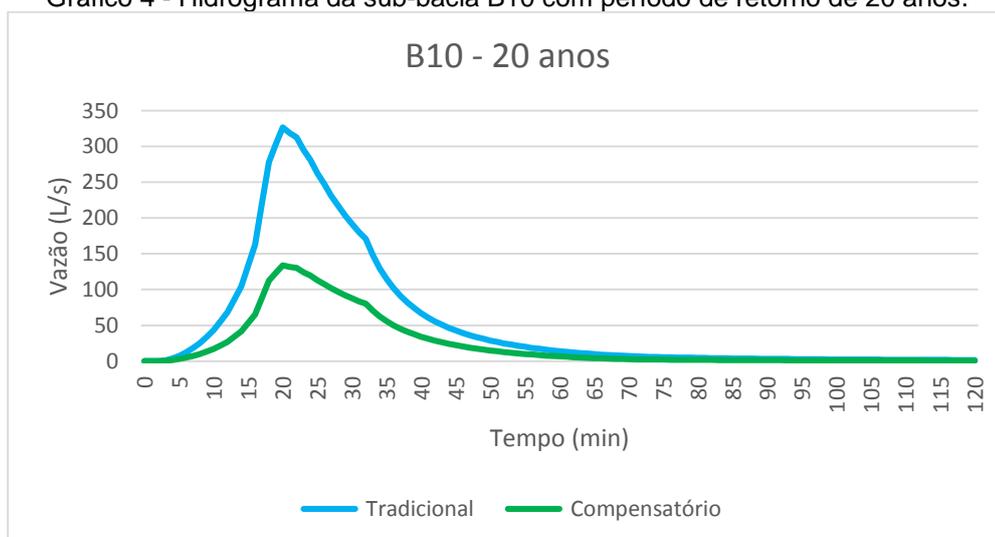


Gráfico 3 – Hidrograma da sub-bacia B10 com período de retorno de 5 anos.



Fonte: o autor (2017)

Gráfico 4 - Hidrograma da sub-bacia B10 com período de retorno de 20 anos.



Fonte: o autor (2017)

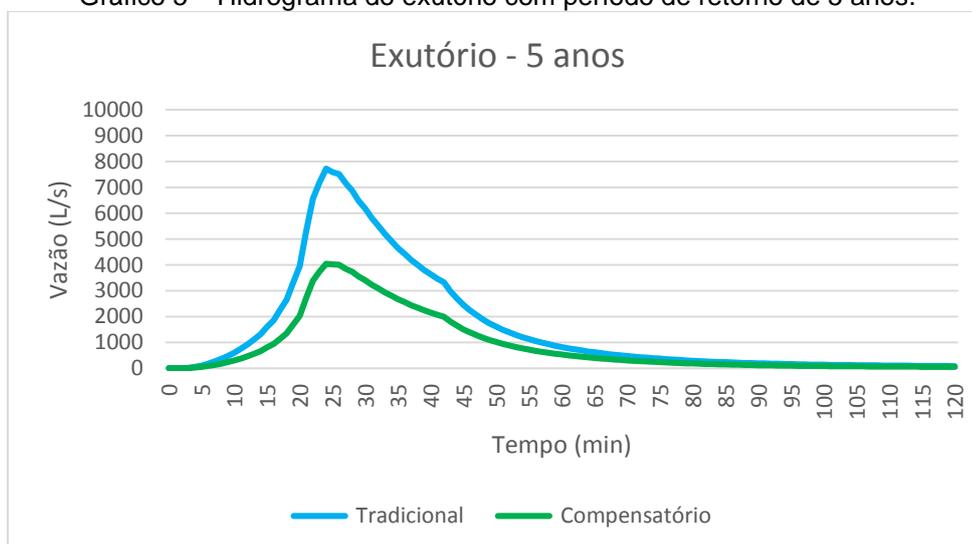
Outro modo de observar que os jardins não influenciam no escoamento das vias é analisando a eficiência de redução da vazão de pico no exutório, de aproximadamente 47% (tabela 8), que difere da redução nas sub-bacias residenciais de aproximadamente 60%. Isso se deve ao fato do exutório considerar a soma das vazões de todas as sub-bacias. Apesar dessa diminuição de eficácia, uma subtração de 47% da vazão de pico ainda continua bastante vantajosa, o que colocaria o método compensatório jardins de chuva como um grande aliado na redução dos danos causados pelo grande escoamento no local.

Tabela 8 – Vazão e tempo de pico.

| VAZÃO NO EXUTÓRIO | | | | |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 5 anos | | 20 anos | |
| | SEM LID | COM LID | SEM LID | COM LID |
| | Vazão (L/s) | Vazão (L/s) | Vazão (L/s) | Vazão (L/s) |
| Vazão de Pico (L/s) | 7723.49 | 4046.94 | 9790.85 | 5157.6 |
| Tempo de pico (min) | 24 min | | 20 min | |
| Eficiência (%) | 47.60 | | 47.32 | |

Fonte: o autor (2017)

Gráfico 5 – Hidrograma do exutório com período de retorno de 5 anos.



Fonte: o autor (2017)

Gráfico 6 – Hidrograma do exutório com período de retorno de 20 anos.



Fonte: o autor (2017)

6 CONCLUSÃO

Por meio da avaliação dos resultados obtidos durante a elaboração da pesquisa e a modelagem aplicada no local analisado, podemos destacar os grandes benefícios trazidos através do uso dos métodos compensatórios, que através de construções simples como os jardins de chuva é possível obter grandes benefícios não somente para a área em estudo, mas também para as regiões a jusante da aplicação que passam a receber uma quantidade menor de água oriunda das áreas a montante.

Os jardins de chuva devem fazer parte do planejamento integrado de sistemas de drenagem, tanto em novos loteamentos como em áreas já ocupadas, onde devem ser implantadas para aumentar a eficácia dos sistemas existentes.

A divulgação do funcionamento dos métodos compensatórios, bem como de seus benefícios devem ser realizados para sensibilização do poder público e da iniciativa privada, na tentativa de se fazer entender que as ações tomadas em cada lote resulta em consequências para áreas a jusante.

Ressalta-se que neste estudo foi dado prioridade à avaliação dos eventos de precipitações, considerando diferentes períodos de retorno e a redução dos escoamentos nas sub-bacias de quadras residenciais e abatimento da vazão de pico no exutório. Outras composições de cenários podem ainda ser avaliadas, como:

- Considerar a colmatação das camadas do processo de controle;
- Variações nos materiais e espessuras das camadas;
- Implantação dos jardins nos passeios dos lotes;
- Associação dos jardins de chuva com outro método compensatório.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S., 2005. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. ABRH, Porto Alegre, 2005. 266 p.

BEZERRA, A. A.; CASTRO, M. A. H. Software para Elaboração de Projetos de Drenagem Urbana Envolvendo AutoCAD e SWMM, **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, (2009)

BEZERRA, A. A.; CASTRO, **MANUAL-UFC8**, (interface entre autocad e swmm). Laboratório de Hidráulica Computacional. Universidade Federal do Ceará. Brasileira de Recursos Hídricos / ABRH, v. 7, n. 1, p.5-27, Porto Alegre/RS.

CANHOLI, A. P. **Soluções Estruturais Não-Convencionais em Drenagem Urbana**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DAEE / CETESB –**Drenagem Urbana, Manual de Projeto**, 2 Edição, agosto de 1980, São Paulo.

DIAS, F. S.; ANTUNES, P. T. S. C. **Estudo Comparativo de Projeto de Drenagem Convencional e Sustentável Para Controle de Escoamento Superficial em Ambientes Urbanos**. 2010. 100p. Escola politécnica do Rio da UFRJ.

FECHINE SOBRINHO, V. **Aplicação do método das isozonas na obtenção das equações IDF de chuvas intensas dos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Crato–CE**, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, 2011.

FEITOSA, F. F. S., **Avaliação do uso de trincheiras de infiltração para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM**. 2015. 101p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2015.

FLYNN, K. M.; TRAVER, R. G. **Green Infrastructure Life Cycle Assessment: a bio-infiltration case study**. Ecological Engineering, v. 55, p. 9-22, 2013.

GOOGLE EARTH-MAPAS. <http://mapas.google.com>. Consulta realizada em dezembro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=9&uf=00>>, acesso em julho de 2015.

KIPPER, A., **Drenagem Urbana: Comparativo De Custos No Dimensionamento Utilizando Sistemas De Drenagem Tradicional (Higienista), E Compensatória Com Microreservatórios**. 2015.

KNOPIK, F. Telhados Verdes, disponível no site: <http://www.arquidicas.com.br/telhadosverdes/>.

RIGHETTO, A. M.; ANDRADE NETO, C. O.; BRITO, L. P.; SALES, T. E. A. de; MEDEIROS, V. M. A.; FERREIRA, L. C. A.; LIMA, R. R. M., (2009). **Estudo Qualiquantitativo de Manejo de Águas Pluviais em Área de Drenagem Piloto na Cidade de Natal-RN**. In: FINEP, PROSAB. (Org.). Manejo de Águas Pluviais Urbanas. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009, v. 04, cap. 6, p. 218-255.

MELO, T.A.T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. Ambiente Construído**. 2014, vol.14, n.4, pp. 147-165. ISSN 1678-8621.

REIS, R. P. A; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. **Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 99-117, abr./jun. 2008.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5**. U.S.EPA. Cincinnati, OH, p.295. 2010.

SILVA, K. A. **Análise da Eficiência de Métodos de Controle de Enchentes na Atenuação de Picos de Cheias Utilizando o Modelo Computacional SWMM**. 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2007.

TASSINARI, L. C. S., **Dimensionamento De Sistemas de Drenagem Pluvial Utilizando Métodos de Baixo Impacto**. 2014. 79p. Universidade Federal de Santa Maria.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. 2013. 137p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da USP. 2013.

TUCCI, C. E. M. e BERTONI, J. C. (2003). **Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre**. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/DisciplinaDrenagem.pdf>>. Acesso em:15/07/2015.

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T., (1995). **Drenagem Urbana: Coleção ABRH de Recursos Hídrico. 5.ed**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 428 p.

TUCCI, CARLOS E. M., (2001). **Gestão da água no Brasil**. UNESCO, Brasília, 156p.

TUCCI, CARLOS E. M., (2002). **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Revista

TUCCI, CARLOS E. M; SILVEIRA, L. L. ANDRÉ., (2004). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3.ed., primeira reimpressão. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 943 p.

URBONAS, B.; STAHERE, P., (1993). **Stormwater – Best Management Practices and Detention for Water Quality Drainage and CSO Management**. Preutice-Hall, Englewood Cliffs, 449 p.