



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ

CAMPUS TERESINA CENTRAL

CURSO TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

IASMIM RODRIGUES DOS SANTOS

**USO DE MICRO RESERVATÓRIOS PARA CONTROLE DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL**

TERESINA

2021

IASMIM RODRIGUES DOS SANTOS

USO DE MICRO RESERVATÓRIOS PARA CONTROLE DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência para obtenção do diploma do Curso
de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Piauí. Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Dr. Mauro César de Brito Sousa

TERESINA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Santos, Iasmim Rodrigues dos

S237u Uso de micro reservatórios para controle do escoamento
superficial /Iasmim Rodrigues dos Santos. - 2021.

45 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental)
-Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2021.

Orientador : Prof. Dr. Mauro César de Brito Sousa.

1. Drenagem urbana. 2. Micro reservatórios. 3. Urbanização. 4.
StormWaterManagement Model (SWMM). I.Título.

CDD - 577

Elaborado por Sindya Santos Melo CRB 3/1085

IASMIM RODRIGUES DOS SANTOS

USO DE MICRO RESERVATÓRIOS PARA CONTROLE DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência para obtenção do diploma do Curso
de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Piauí. Campus Teresina Central.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mauro César de Brito Sousa (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Ailton Soares Freire
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Renato Alves Pedrosa
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)

Aos meus pais, irmãos, amigos e familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Deus, Jeová, também agradeço, o apoio e amor recebido de minha família, meus amados pais Arlindo e Luisa, não esquecendo também de meus irmãos e seus respectivos cônjuges Willian e Lenne, Fernanda e Aldemi, Maycon e Nelma que sempre estiveram do meu lado, me dando o apoio que sempre necessitei para que eu pudesse chegar até aqui e também a minha grande força motivadora, minha sobrinha Rebeca.

Agradeço de uma maneira especial, há alguns amigas que nessa minha caminhada não me deixaram desistir, minhas queridas amigas Heleninha, Ellen, Allana, Mara, Ana Paula e Maria.

Agradeço a todos os que tive o privilégio de encontrar por intermédio do curso de Gestão Ambiental, em especial, Eryc Jefferson, Rayssa Oliveira, José Antônio, Hercules Fernando.

Agradeço muitíssimo ao meu orientador Prof. Dr. Mauro César, primeiramente por ter aceitado me ajudar neste projeto, por me guiar e me motivar no caminho para a apresentação.

Agradeço ao Professor Msc. Dirceu Arcoverde por ter me proporcionado a oportunidade do estágio, onde tive o privilégio e o prazer de conhecer pessoas maravilhosas, como Ranyeryca Teles, Silvana Coroacy, Aldânia Maria, Maria Antônia Cerqueira e Deusimar Muniz.

Agradeço ao corpo docente do curso de Gestão Ambiental de um modo mais especial, aos meus queridos professores Dr. Paulo Borges, Dra. Jaqueline Brito, Dr. Etevaldo Valadão, Msc. Lillian Melo, Esp. Daniel Veras, Esp. Sabrina Mendes, Prof. Dr. Marcos Teixeira e a Msc. Élide Brito que me fizeram amar cada vez mais o curso de Gestão Ambiental. Agradeço aos servidores do IFPI do Campus Teresina Central, em especial ao Senhor Francisco Djalma Silva.

Agradeço de uma maneira especial à coordenadora do curso Dr. Bruna Iwata, que no período que estive distante, sempre que precisei, me apoiava e não deixou de me ajudar, até o meu reingresso ao curso.

“A excelência deve ser perseguida, deve ser
almejada com toda força e esforço que cada
um de nós temos”.

Vince Lombardi

RESUMO

O crescimento urbano modificou o ciclo hidrológico natural, visto que grandes áreas começaram a ser impermeabilizadas, consequentemente acarretando grandes enchentes no meio urbano. Buscando a resolução para essa problemática, a drenagem urbana surgiu, objetivando a rápida remoção de águas pluviais. Entretanto, as soluções tradicionais, mostraram-se ineficientes, pois apenas deslocavam o problema de um lugar para outro. Com o passar dos anos, surgiram novas soluções que objetivam mitigação da problemática do escoamento superficial. Este estudo procurou comparar a utilização dos métodos tradicionais de drenagem e os métodos compensatórios de drenagem urbana, os micro reservatórios. O estudo foi realizado na Sub-Bacia PE04, localizada no bairro Parque Sul, Teresina, PI. Para a simulação dos cenários se utilizou o programa computacional SWMM, versão 5.1, onde modelou-se dois cenários. Após a realização das simulações, constatou-se que com a utilização do método compensatório de drenagem, ocasionando na mitigação da vazão do escoamento superficial da Sub-Bacia PE04.

Palavras-chave: Drenagem urbana, Micro reservatórios, Urbanização, SWMM.

ABSTRAT

Urban growth has modified the natural hydrological cycle, since large areas have become impermeable, consequently causing major flooding in the urban environment. In the search for a solution to this problem, urban drainage has emerged, aiming at the rapid removal of rainwater. However, traditional solutions proved inefficient, as they only displaced the problem from one place to another. Over the years, new solutions have emerged that aim to mitigate the problem of runoff. This study sought to compare the use of traditional drainage methods and the compensatory methods of urban drainage, the micro reservoirs. The study was carried out in the sub-basin PE04, located in the Parque Sul neighborhood, Teresina, PI. For the simulation of the scenarios the computer program SWMM, version 5.1, was used, where two scenarios were modeled. After the simulations, it was found that with the use of the compensatory drainage method, there was a mitigation of the runoff flow in the sub-basin PE04.

Keywords: Urban drainage, Micro reservoirs, Urbanization, SWMM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Exemplo de telhado verde	27
Figura 2	Exemplo de pavimentos permeáveis	28
Figura 3	Exemplo de trincheira e vala de infiltração	29
Figura 4	Exemplo de poço de infiltração	30
Figura 5	Exemplo de micro reservatório enterrado	31
Figura 6	Localização da Área de Estudo – SUB-BACIA PE04	35
Figura 7	Escoamento superficial x Tempo Simulado	37
Figura 8	Escoamento superficial x Tempo Simulado	38
Figura 9	Escoamento superficial x Tempo Simulado	39
Quadro 1	Resultados da simulação do escoamento sem LID	37
Quadro 2	Resultados da simulação do escoamento com LID	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BMP	Best Management Practice
EPA	Environmental Protection Agency
IMP	Integrated Management Practices
LID	Low Impact Development
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SUDS	Sustainable Urban Drainage System
SWMM	Storm Water Management Model
WSUD	Water Sensitive Urban Design
ANSWERS	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation
SWAT	Soil Water and Analysis Tools
L-THIA	Long-Term Hydrologic Impact Assessment

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivo	16
1.2.1	Geral	16
1.2.2	Específico	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Urbanização	17
2.2	Inundação Urbana	19
2.3	Drenagem Urbana	21
2.3.1	Sistema de Drenagem Urbana	22
2.3.2	Sistema Alternativo de Drenagem Urbana	24
2.3.2.1	Técnicas Compensatórios	25
2.3.2.2	Técnicas Compensatórias não Estruturais	26
2.3.2.3	Medidas Compensatórias Estruturais	26
2.3.3	Modelagem Hidrológica	32
2.3.4	SWMM	33
3	METODOLOGIA	34
3.1	Área de Estudo	34
3.2	Dados de Precipitação	35
3.3	Modelagem dos micro reservatórios	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Resultados da simulação do escoamento sem LID	37
4.2	Resultados da simulação do escoamento com LID	38

5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS.	43

1 INTRODUÇÃO

A população urbana mundial aumentou drasticamente ao longo dos anos. Após a revolução industrial ocorrida entre os séculos XVIII e XIX, desenvolvimento de construção e crescimento de grandes centros urbanos intensificou-se. Deste então, as cidades desenvolveram-se e urbanizaram-se rapidamente, acarretando como consequência, problemas ambientais e infraestrutura (TUCCI, 2005).

No Brasil, esse crescimento não é diferente. Nas últimas décadas, a população urbana brasileira expandiu significativamente, originando assim as grandes metrópoles. Desde a década de 60, o desenvolvimento da urbanização acelerado vem ocorrendo, deixando a população urbana com escassa infraestrutura. Atualmente, a taxa de população urbana do Brasil ultrapassa 80% (IBGE, 2015).

O crescimento urbano mudou muito o ciclo hidrológico natural das bacias. Um dos resultados da urbanização desordenada é o aumento do deflúvio superficial, acarretando grandes enchentes no meio urbano, causando sobrecarga de poluição e presença de sedimentos. Portanto, a área impermeável aumentou significativamente e conseqüentemente também as enchentes e perdas causadas pela falha do sistema de drenagem ampliou-se.

Em busca de soluções para essa problemática ambiental, surgiram soluções que visam mitigar os efeitos adversos das ações antrópicas no meio ambiente. Com base nisso, o estudo da drenagem urbana vem adaptando-se às novas tecnologias que incorporam a gestão de águas e a busca de soluções alternativas mitigadoras para as enchentes urbanas.

O principal objetivo das estratégias de drenagem, é a rápida remoção de águas pluviais, sem causar danos e inundações. Entretanto, observou-se que a aplicação de soluções tradicionais, apenas deslocou o problema de um lugar para outro.

Atualmente, com o avanço da tecnologia e dos estudos, o conceito mais inovador utilizado é um escoamento atrelado a práticas de drenagem sustentáveis (TUCCI, 2012).

O propósito da drenagem sustentável é o controle quantitativo e qualitativo das águas oriundas das chuvas. Para tal, busca-se fazer um planejamento atrelado ao

desenvolvimento das cidades, usando meios compensatórios, ou seja, técnicas que buscam a mitigação dos efeitos da urbanização. (RIBEIRO, 2014).

Portanto, surgiram tecnologias que consideram outros aspectos do manejo da água da chuva, como: qualidade do escoamento, aspectos da paisagem, valor recreativo e proteção ecológica de bacias hidrográficas. Essas soluções de drenagem têm sido amplamente utilizadas em todo o mundo e são chamadas de "Soluções de Desenvolvimento de Baixo Impacto" ou "LID" (TOMINAGA, 2013).

O uso da LID tem melhorado a adaptação da cidade às enchentes e inundações, pois muitas vezes, mesmo com extensas pesquisas sobre a construção de redes de drenagem, as medidas de proteção implantadas ficarão desatualizadas devido à instabilidade climática.

Este estudo tem como objetivo avaliar a utilização de um tipo de micro reservatórios como solução de desenvolvimento urbano de baixo impacto (LID) na bacia hidrológica PE04 do Teresina Piauí, e observar o impacto de sua execução na mitigação de vazões urbanas.

1.1 Justificativa

Cada rio tem sua área de inundação nativa. A inundação, portanto, é um fenômeno natural no regime fluvial, e não necessariamente apenas o sinônimo de desastre. Ainda que, com a evolução descontrolada da urbanização, as inundações se tornaram um problema no ambiente urbano porque não se respeitaram os limites naturais do rio.

Ao reduzir o grau de inundação que converte a água da chuva em fluxo de água e, assim, reorganizar o método de descarga final, a adaptabilidade da cidade pode ser melhorada. Este método utiliza medidas de armazenamento e infiltração distribuídas na bacia hidrológica para reduzir e prevenir desastres ambientais.

Visando o enfrentamento dessa problemática, surgiram novas abordagens na temática da drenagem sustentável de águas pluviais, utilizando-se de medidas mitigadoras no controle do escoamento superficial, reduzindo a probabilidade de cheias no meio urbano.

Os micro reservatórios podem controlar efetivamente o escoamento e apresentam grande potencial na redução do impacto da urbanização na bacia,

principalmente pela disponibilidade de áreas adequadas ao tamanho dos equipamentos e pela facilidade de instalação.

No tocante da cidade de Teresina, o “Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina”, traz como resolução para a amenização do escoamento das águas pluviais soluções que desconsideram o uso de medidas de baixo impacto, melhorando o desenvolvimento sustentável da cidade e sua adaptabilidade às enchentes.

Portanto, este estudo investiga a capacidade de mitigação de escoamentos superficiais que ocorrem em bacias hidrográficas da cidade de Teresina, através da modelagem computacional de soluções de desenvolvimento de baixo impacto. Os micro reservatórios são os dispositivos escolhidos como alternativa por serem de fácil instalação e ocuparem pouco espaço em áreas já urbanizadas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Analisar a mitigação do escoamento superficial na sub-bacia PE04, localizada no bairro Parque Sul, Teresina – PI, pelo uso de micro reservatórios.

1.2.2 Específicos

- Levantamento bibliográfico.
- Modelagem computacional da bacia PE04.
- Modelagem computacional da bacia PE04 considerando os efeitos com micro reservatórios.
- Delimitar os efeitos, a partir de estudo comparativo, entre a implementação dos micro reservatórios e a situação atual da bacia PE04.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Urbanização

A evolução urbana, principalmente, nos países em desenvolvimento, é representativa desde a década de 1970 e suas consequências negativas são a degradação do bem-estar e do meio ambiente (TUCCI, 2005).

O crescimento e a evolução no urbano têm levado à relação entre a sociedade e os rios, controlando os recursos hídricos por intermédio da realização de projetos de grande escala e abastecimento público de água, canais, controle de cheias e outros projetos de preservação da água. Devido ao desenvolvimento excessivo dessas tarefas, mudanças ocorreram, principalmente após a Revolução Industrial, que levou à degradação dos rios, aumento da poluição e inundações e mudanças nas comunidades biológicas. Isso torna o rio um elemento desagradável no espaço urbano (SARAIVA, 1999).

Segundo Tucci (2005), o problema de urbanização é causado por diversos motivos, tais como:

- A população rural que migra para as cidades geralmente carece de capacidade de investimento e de emprego, obrigando-a a viver em áreas com infraestrutura inadequada e riscos de inundação
- O governo municipal não pode prever a expansão urbana e planejar espaço suficiente para um desenvolvimento adequado;
- Crise financeira.

Os motivos acima têm impacto na infraestrutura de gestão das águas urbanas, tais como:

- Carência de tratamento de esgoto e despejo de rejeitos nos rios;
- Carência de rede de drenagem pluvial e aumento de inundações devido a impermeabilização;
- Ocupar áreas destinadas à inundação natural dos rios, impermeabilização e o desvio dos rios urbanos aumentam o pico de vazão das águas pluviais e a carga de poluição;

Segundo Tucci (2005), a urbanização causará as seguintes mudanças no ciclo hidrológico:

- Reduz a infiltração solo;
- Intensificar o volume e a velocidade do escoamento superficial por intermédio de dutos;
- Ampliar a vazão máxima ou seu pico de vazão;
- Menor nível do lençol freático, diminuindo o escoamento subterrâneo;

Em meados do século XX, o processo de urbanização do Brasil intensificou-se. Entre 1950 e 2010, a proporção da população que vive nas cidades mais que dobrou (DRUMOND, 2012). Embora seja considerado sinônimo de desenvolvimento, o crescimento das áreas urbanas costuma se combinar com o impacto no meio ambiente e, na maioria dos casos, a pressão negativa sobre o meio ambiente se reflete na população (VILLANUEVA et al., 2011).

A característica do processo de urbanização no Brasil é que nas áreas urbanas, principalmente no entorno, as pessoas de baixa renda não cumprem as leis e regulamentos de uso do solo ao construir casas em locais inadequados e ilegais. Isso também vem acompanhado de falta de investimento e negligência na correta aplicação das políticas de saúde e saneamento décadas atrás (MARICATO, 2017).

Baseado no Ministério da Cidade (BRASIL, 2005), as principais questões ambientais relacionadas ao uso e ocupação do solo e a urbanização são:

- Expansão irregular das áreas de abastecimento humana, colocando em risco a sustentabilidade dos recursos hídricos urbanos;
- População de baixa renda ocupando áreas de risco de e áreas de inundações ribeirinhas devido à falta de planejamento e fiscalização;
- O aumento da densidade habitacional, o consequente aumento da demanda de água e o aumento da carga de poluentes não tratados lançados nos rios próximos à cidade;

Segundo Tucci (2012), apesar da existência de planos diretores urbanos obrigatórios, o crescimento urbano do Brasil ocorre principalmente em áreas metropolitanas e cidades centrais regionais, com irregularidades e quase nenhum planejamento.

Portanto, pode-se observar que as principais consequências da urbanização desordenada e da impermeabilidade do solo são: redução da absorção da água da chuva, aumento e aceleração do escoamento superficial e aumento da vazão máxima. Por ser um dos mecanismos mais importantes do ciclo hidrológico, o escoamento superficial está diretamente relacionado ao tipo de cobertura do solo.

Consoante estudo de Tucci (2012), 7% da impermeabilização dobrará o escoamento, e casos mais extremos, como 80%, gerarão 8 vezes o escoamento.

O escoamento relacionado à urbanização é causado pela impermeabilização do solo urbano, ocorrendo em estradas pavimentadas, estacionamentos e aumentando a drenagem. Desta forma, aumenta-se a vazão de pico, diminui o tempo de concentração na bacia e aumenta a frequência e a escala das inundações. Questões relacionadas a inundações e mitigação de impacto serão discutidas abaixo.

2.2 Inundações

Como a população está distribuída em vales e zonas costeiras, as inundações urbanas são um dos perigos ambientais mais comuns.

Segundo a pesquisa de Cardoso (2014), além da intervenção direta do processo de urbanização no ciclo hidrológico, devido à resistência à água de grande parte da superfície e até mesmo às mudanças nas condições climáticas, também temos fatores hidrológicos que afetam a origem do processo de inundação por questões políticas.

O processo das inundações é natural, ele ocorre quando a água de rios, córregos e galerias deixa seus leitos menores e flui através de leitos menores ocupados por população, habitação, transporte, entretenimento, comércio e indústria. Ocorre quando o evento chuvoso é extremo e o solo não tem capacidade de infiltração, assim parte da água escoar para o sistema de drenagem ultrapassando sua capacidade (TUCCI, 2005).

Apesar disso, o desenvolvimento desordenado das cidades em áreas de risco, como áreas de várzea, deixa a população exposta às enchentes e inundações, ocasionando perdas humanas e materiais.

Em conformidade com Tucci (2005), existem dois processos principais que levam a inundações urbanas. O primeiro processo é de inundações das áreas costeiras e o segundo é causado pela urbanização.

Os de áreas costeiras são processos naturais, causadas por mudanças na precipitação e escoamento. Este tipo de risco de cheia ocorre quando o escoamento atinge o nível da água acima do leito do rio a jusante.

Martins (2012) acredita que as várzeas apresentam características como desvalorização do solo devido aos riscos de inundações e solos inadequados para a construção civil. A ocupação dessas áreas e encostas reduzirá a capacidade de armazenamento de água e, simultaneamente, encostas altas aumentarão os sedimentos, resultando na diminuição da capacidade natural do rio devido ao assoreamento.

O impacto dessas enchentes se traduz em perdas materiais e humanas, prejuízos às atividades econômicas e risco de moléstias de veiculação hídrica, que são ocasionadas pela ocupação ilegal de áreas de risco por pessoas de baixa renda, pois os custos do solo nessas áreas são menores (MARTINS, 2012).

O segundo processo que é causado pela urbanização acontecem em áreas urbanas graças à impermeabilização do solo, formação de escoamento e desenvolvimento urbano dificultando o escoamento. O principal impacto dessas enchentes é o aumento da vazão máxima, o aumento da quantidade de resíduos e sedimentos e a deterioração da qualidade das águas superficiais mediante descargas nas ruas.

Segundo Sousa *et al.* (2012), são necessários dois aspectos para se ter cursos de água que não afetem a inundação das cidades ribeirinhas: desenvolvimento urbano longe da zona natural de inundação do rio, e a máxima proteção do local.

De modo geral, pode-se dizer que nos países em desenvolvimento as enchentes têm causado grandes prejuízos pelo não cumprimento das políticas de controle, enquanto nos países desenvolvidos são utilizadas medidas de controle não estruturais, como alerta de enchentes e prevenção de zoneamento (TUCCI, 2008).

Obviamente, os diferentes episódios de inundação registrados no Brasil evidenciam a dificuldade em eliminar completamente esses eventos, principalmente em áreas altamente urbanizadas.

Como supracitado, neste tipo de inundação, o processo de urbanização acarreta grandes mudanças qualitativas e quantitativas na vazão, resultando em uma vazão maior que deve ser controlada

O sistema de drenagem urbana implantado absorve esses efeitos, mas muitas vezes o sistema apresenta defeitos, é muito pequeno ou apenas transfere o problema para a jusante, causando inundações urbanas locais de maior impacto (TUCCI, 2008).

A inundação proveniente do uso e ocupação do solo desordenado é um dos processos de maior interesse deste estudo. Um tópico muito importante em relação às inundações é a drenagem urbana, que será discutido a seguir.

2.3 Drenagem Urbana

Drenagem urbana não é apenas uma questão técnica de engenharia, mas envolve também a cooperação e sensibilização da população (NETO, 2010; CARDOSO, 2014).

Para Tucci (2012), a drenagem urbana é uma sucessão de medidas que visam minimizar os riscos enfrentados pela população, reduzir os danos causados pelas enchentes e promover o desenvolvimento de forma harmoniosa, clara e sustentável.

O intuito da gestão da drenagem urbana compreende uma coleção de tecnologias e ações, que podem ser resumidas em três etapas, iniciando-se com o planejamento, onde inclui atividades como a formulação de um plano diretor concepção e implementação de medidas e tecnologias para reduzir a ameaça de inundações.

A segunda etapa envolve a gestão que inclui a execução, conservação e monitoramento da estrutura de implantação do sistema, bem como também o exercício de ações de formação e promoção em drenagem urbana para incentivar a utilização de dispositivos hidráulicos que facilitem a permeabilidade e limitem a impermeabilização.

E por fim, a última etapa é a prevenção, que engloba o atendimento a emergências relacionadas a eventos extremos que afetam a drenagem urbana. Isso requer treinamento e previsão em condições de chuvas de alta intensidade, e desenho de mapas de possíveis impactos.

2.3.1 Sistema de Drenagem Urbana

Foi criado a fim de drenar a água da chuva de uma área e evitar danos locais (SOUZA, 2017). Mesmo na antiguidade, seguia a tecnologia de drenagem cloacal e jogava todos os resíduos diretamente em espaços abertos e corpos d'água.

O sistema clássico é baseado no conceito de higienista, priorizando o rápido escoamento das águas pluviais por meio de canos de drenagem, mantendo a água longe da multidão, para prevenir enchentes e doenças de difusão hídrica (BAPTISTA *et al.* 2015).

Com a evolução da urbanização juntamente com o avanço do conhecimento na área de saneamento, ficou claro o papel do saneamento das águas pluviais como disseminador de doenças. Portanto, surgiu o conceito higienista de drenagem. Ele poderia drenar rapidamente a água através de áreas impermeáveis e sistemas de tubulação artificiais. Assim se tornou a base dos sistemas clássicos de drenagem urbana e ainda são amplamente utilizados no Brasil (TUCCI, 2005).

No sistema de drenagem tradicional, as torrentes geradas pela precipitação fluem para bueiros e sarjetas, e são descarregadas por meio de dutos. Esses dutos entram no fundo do vale mediante duto secundário e há um fluxo topográfico claro a jusante. O escoamento no fundo do vale é chamado de sistema de macrodrenagem, e o sistema que capta a água e a transporta é o sistema de micro drenagem.

Esses sistemas existem na superfície e no subsolo e têm apenas a incumbência de conduzir a água da chuva de um ponto de maior altitude para um ponto de menor altitude, sem reduzir ou controlar a quantidade de água, resultando em inundações a jusante.

Todavia, segundo Souza (2012), o sistema de drenagem possui duas características importantes. O escoamento ocorrerá independentemente de haver um sistema de drenagem adequado. Portanto, as falhas do sistema fazem com que a água se acumule ou flua pela superfície da cidade, causando inundações e escoamento.

A atuação do sistema de drenagem ocorre apenas durante e após o evento de chuva, e a intensidade necessária também depende da dimensão e da duração da chuva.

O sistema de drenagem clássico é dividido em micro drenagem e macrodrenagem em conformidade com seu tamanho e função.

A rede de dutos de micro drenagem compõe-se por dutos e sistemas de canais nos bairros ou grandes redes urbanas relacionadas ao sistema viário. Neste caso, destinam-se ao transporte de água para o sistema de drenagem ou macrodrenagem (BAPTISTA et al, 2005).

A rede de micro drenagem, quando for dimensionada e mantida corretamente, toda a população enfrentará menos riscos e transtornos, como inundações.

A rede de dutos de macrodrenagem tem a atribuição de transportar as águas pluviais coletadas pela rede de dutos de micro drenagem. Além das redes de dutos de drenagem natural como córregos, riachos e rios urbanos e reservatórios implantados para manejo de inundações, também é constituída por canais abertos e maiores canais fechados (BAPTISTA et al, 2005).

Os elementos que compõem a rede de macrodrenagem devem levar em consideração o período de retorno de 25 a 100 anos. É muito importante manter o sistema de macrodrenagem por meio de atividades como limpeza de canais e estruturas de armazenamento (TOMINAGA, 2013).

À semelhança do sistema de micro drenagem, a sua manutenção é de extrema importância para manter o funcionamento normal da estrutura que o constitui, evitando qualquer tipo de risco.

O sistema consiste em canais abertos ou tubulações enterradas de grande porte (galerias). Também podem ser instalados equipamentos auxiliares, como

bueiros, dissipadores de energia e estações elevatórias de águas (BAPTISTA et al., 2005).

Resumindo, a água é captada e descarregada rapidamente a jusante, mas isso terá um sério impacto ambiental na área do corpo receptor e, em última instância, é apenas a transferência do problema, uma solução oportuna, mas não a final. Os sistemas projetados para evitar tais problemas resumem-se na importância da infiltração da água e seu armazenamento na fonte de escoamento, e em grande parte buscam controlá-la na fonte.

Portanto, o sistema de drenagem tradicional tem se mostrado inadequado e ineficiente, sendo necessário tomar medidas mais sustentáveis não só em termos de controle de enchentes nas áreas urbanas, mas também em termos de qualidade da água, qualidade de vida da população e meio ambiente, sustentabilidade, conforme mostrado abaixo.

Seguindo essa linha de raciocínio, surgiram os conceitos de drenagem compensatória ou BMP (Best Management Practice) e LID (Low Impact Development), com o objetivo de reduzir a quantidade e vazão de água obtida antes do processo de urbanização.

2.3.2 Sistemas Alternativos de Drenagem Urbana

Obviamente, o sistema de drenagem clássico não representa uma solução eficaz, pois, por vezes, apenas transfere o problema para jusante. Como possível solução, o conceito de cultura de desenvolvimento urbano sustentável teve início na década de 50, com os ajustes necessários na hidrologia para lidar com as questões de urbanização e propostas de tecnologias adequadas às reais condições regionais (RIGHETTO, 2009).

Neste âmbito, o desenvolvimento urbano sustentável busca atingir o propósito de gerar um ambiente saudável, reduzindo a poluição e controlando a quantidade de água da chuva, desta forma evitando o impacto negativo dos eventos de precipitação. Como forma de reduzir os danos a bacia hidrológica, as técnicas compensatórias surgem como uma forma de planejamento urbano.

Baptista et al. (2015) discorre que desde a década de 1970, o desenvolvimento de técnicas compensatórias iniciou-se principalmente na Europa e América do Norte,

com o objetivo de equilibrar o impacto da urbanização, controlar o excesso de escoamento e aumentar tempo de transmissão a jusante.

Para obter o sucesso do uso de tais técnicas a sua implementação deve ser correta nos ambientes urbanos. Devido ao número e à diversidade de expressões de técnicas compensatórias, pode ser mais difícil escolher a opção mais adequada ao avaliar diferentes alternativas.

As técnicas compensatórias dividem-se em estrutural e não estrutural. A não estrutural, inclui procedimentos que levam a atrasar o escoamento, como restrições legislativas, e divisão do solo urbano e educação ambiental. Por outro lado, a técnica compensatória estrutural classifica-se consoante com o seu funcionamento e onde o dispositivo é implantado (BAPTISTA et al., 2005).

2.3.2.1 Técnicas Compensatórias

Soluções compensatórias combinadas com estruturas tradicionais visam compensar o impacto da urbanização por meio de equipamentos que amplie a infiltração do solo

Tavanti (2009) diz que além do tratamento combinado com sistemas clássicos de drenagem e questões urbanas e paisagísticas, as técnicas compensatórias também permitem que o sistema seja ajustado em conformidade com o crescimento urbano. Portanto, minimizam o custo da drenagem tradicional.

Exemplos internacionais mostram que as técnicas compensatórias podem combater com eficácia as enchentes, reduzindo o impacto no sistema de drenagem, melhorando a qualidade da água da chuva, reduzindo os custos do tratamento da água e integrando essas tecnologias aos espaços urbanos para um ambiente mais natural e de melhor qualidade.

Para Ribeiro (2014), os EUA detêm um amplo conhecimento nessa área por ser um país pioneiro. O Canadá também segue a mesma direção, usando as normas americanas, entretanto com uma organização própria.

Além do conceito de BMP, os americanos criaram um conceito que chamaram de LID (*Low-Impact Development*) por meio da EPA (*Environmental Protection Agency*). Ao contrário das medidas de compensação que procuram compensar os problemas de drenagem, a LID é preventiva.

O objetivo principal é o controle da gestão na nascente, que pode ser alcançado por meio de alguns mecanismos, como alocar e ocupar parcelas menores, manter maiores espaços verdes. A adaptação dessa estrutura às especificidades da paisagem é denominada Prática Integrada de Gerenciamento (IMP - *Integrated Management Practices*).

O ponto-chave é que qualquer espaço a ser desenvolvida, deve ter funções hidrológicas para obter as premissas de pré-desenvolvimento, ou seja, intervir próximo da fonte.

Na Europa, as normas e requisitos, foram combinados para criar o SUDS - Sustainable Urban Drainage System (Sistema Sustentável de Drenagem Urbana), o conceito de sistemas de drenagem urbana sustentáveis no Reino Unido. Embora conceitualmente diferentes, BMP e SUDS possuem técnicas similares, devido ao foco no controle da fonte, na sequência lógica das operações e atividades, depois na entrega do excesso de volume para o pré-tratamento e depois para o tratamento (Ribeiro, 2014).

Na Austrália, existe o termo WSUD (*Water Sensitive Urban Design*), que trouxe a ideia de focar na água ao longo do ciclo, esse termo é igualmente utilizado nos EUA.

2.3.2.2 Técnicas Compensatórias Não estruturais

Segundo Tucci (2012), as medidas não estruturais podem ser consideradas preventivas à medida em que atuam na realização de prognóstico e alerta de cheia e no zoneamento de áreas de risco. Entretanto, ainda é necessário o desenvolvimento de ações e políticas de conscientização dos planejadores e da sociedade para mudar o cenário da urbanização integral.

A técnica compensatória não estrutural procura definir a ocupação do solo e minimizar o impacto do escoamento superficial de forma preventiva. A gestão é centrada no plano diretor. O plano estabelece, dentre outras medidas, a taxa de restrição à impermeabilização de solos e incentivos fiscais para redução de impermeabilizações.

2.3.2.3 Medidas Compensatórias Estruturais

As medidas de compensação estrutural são projetos construídos para minimizar ou compensar o aumento do escoamento devido à urbanização e ao fechamento do solo.

Em conformidade com Tucci (2005) estas medidas tendem a reduzir e retardar os picos de enchente e controlar a erosão da bacia, reproduzindo condições de hidrograma natural. A seguir, as principais medidas:

- Telhado verde

É implantado no telhado de um edifício e casa, e pode efetivamente reduzir o escoamento superficial, especialmente em áreas densas, e realçar a beleza do projeto.

Seu alicerce é composto por painel impermeável, leve camada de solo e um sistema de drenagem. Sua eficiência máxima é para chuvas fortes e curtas (RIGHETTO, 2009).

A função do sistema inclui o armazenamento temporário da água produzida quando chove, que será lentamente lançada no sistema de drenagem ou devolvida à atmosfera. Estes telhados possuem importante valor paisagístico onde serão implantados devido ao seu revestimento verde.

Além de “corrigir” o alto grau de impermeabilização de telhados comuns levando a um grande aumento do escoamento, os telhados verdes apresentam muitas outras vantagens. Dentre elas, podemos destacar a eficiência energética e a qualidade do ar, reduzir temperatura e ruído. A seguir, representado pela figura 1, um exemplo de telhado verde.

Figura 1 - Exemplo de telhado verde



Fonte: <https://sustentarqui.com.br/grande-telhado-verde-casa-plana-sp/> (2018)

- Pavimentos permeáveis

Possuem espaço livre em sua estrutura para que a água possa penetrar. A primeira camada consiste em um revestimento permeável seguida de drenos. A água é armazenada na estrutura do pavimento até ser drenada, atuando como reservatório e retardando o escoamento da água.

Conforme Tominaga (2013), eles apresentam uma boa relação custo/benefício, pois têm função de amortecimento nos períodos de pico de cheias e o custo é semelhante ao dos pavimentos impermeáveis, desde que existam técnicas construtivas eficazes e melhoradas. Abaixo, pode-se observar um exemplo.

Figura 2 – Exemplo de pavimentos permeáveis.



Fonte: <https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-permeavel-o-que-e-e-quais-seus-grandes-atrativos/> (2017)

- Trincheiras de infiltração e retenção

A abertura de trincheira é uma técnica em que a água é drenada do solo ou por meio de sistemas tradicionais em uma direção perpendicular ao seu comprimento, geralmente com profundidade e largura inferiores a 1 metro.

Além de trincheiras é comum o uso de bacias, poços, valas e mantas de infiltração.

- Vala de Infiltração e Vala de Detenção

Segundo Baptista (2005), são exemplos de técnicas de compensação, construída por meio de simples depressões escavadas no solo, objetivando a captação da água da chuva, armazenamento temporariamente e, por fim, facilitar sua infiltração.

A seguir, representado pela figura 3, um exemplo trincheiras e valas de infiltração.

Figura 3 – Exemplo de trincheira e vala de infiltração

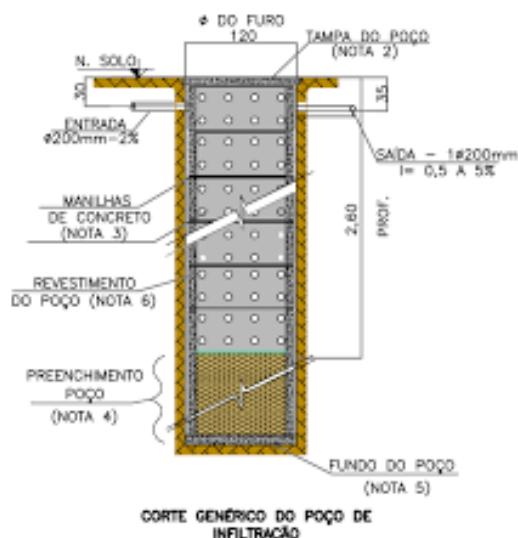


Fonte: Campus da UFSCar - Gutierrez (2011)

- Poço de Infiltração

É um dispositivo pontual que não ocupa o solo e tem como objetivo a drenagem da água da chuva diretamente para o solo por meio de infiltração (BAPTISTA *et al.*, 2005). Quando é usado no terreno, ele auxilia o sistema de águas, suprimindo o pico de fluxo e reduzindo a drenagem (REIS; ILHA, 2014). Possui uma pequena capacidade de armazenamento e pode ser usada como um complemento à técnica centralizada. Abaixo, representado pela figura 4, um exemplo de poços de infiltração.

Figura 4 – Exemplo de poço de infiltração



Fonte: Projeto Drenagem Ceasa – Governo Estadual de Goiás (2019)

- Bacia de Detenção e infiltração

Conforme Baptista (2005), são estruturas que temporariamente acumulam ou infiltram a água oriundas da chuva, e são utilizadas para cumprir três funções principais, a mitigação de inundações, a atenuação do escoamento superficial e, finalmente, a redução da proliferação da poluição provocadas pela água da chuva.

Portanto, eles ajudam a reduzir o impacto da urbanização e promover a penetração.

- Micro reservatórios

Como o nome sugere, o micro reservatório, é uma pequena estrutura reservada para controle no manancial de águas pluviais para compensar a perda de capacidade de armazenamento do solo impermeável.

Portanto, sua função é reservar temporariamente a precipitação, retardar a velocidade de escoamento superficial.

Pode ser instalado no terreno e, em alguns casos, a água da chuva coletada é utilizada para fins não potáveis, como irrigação e limpeza. Esses reservatórios podem ser abertos ou enterrados em concreto. Abaixo, representado pela figura 5, um exemplo de micro reservatórios.

Figura 5 – Exemplo de micro reservatório enterrado



Fonte: Croqui de um micro reservatório enterrado – Drumond (2012).

Seu tamanho é dado em função das restrições de escoamento e das reservas necessárias, tornando as cotas de terreno e rede de águas pluviais ainda são limitadas. Também podem ser de dois tipos, *online*, independente da intensidade da chuva, vão receber a vazão, ou *off-line*, só operando em determinados eventos, o que torna isso possível em razão do *by-pass*.

Quando instalados em residências, podem transportar a água da chuva do telhado e piso impermeável para o micro reservatório. Portanto, a água é redirecionada para a tubulação de saída, podendo ou não ser conectada à rede pública de drenagem urbana. Quando a vazão de entrada é maior do que a de saída, isso fará com que a água seja armazenada, atrasará e reduzirá o pico (DRUMOND,2012).

Os micro reservatórios quando instalados em determinados pontos da rede de drenagem, ajudam na correção do problema de inadequação do sistema e manter o uso da rede existente.

A utilização dos micro reservatórios permite diferentes configurações de sistemas de drenagem. Com respeito aos seus formatos, eles podem ser: cilíndricos,

retangulares ou quadrados, abertos, fechados, superficiais ou enterrados e construídos com diversos materiais como concreto, alvenaria, metal, fibrocimento e acrílico.

Tomar medidas preventivas e restritivas ao uso do solo urbano é favorável ao meio ambiente urbano. Uma forma para avaliação dos resultados da utilização de tais medidas é por meio de simulação computacional, que visa exibir os efeitos por meio do uso ordenado do solo ou de quaisquer outras técnicas de compensação empregadas.

2.3.3 Modelagem Hidrológica

Para Tucci (1998), um modelo hidrológico pode ser definido como uma ferramenta usada para representar os processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica e prever suas consequências. Além disso, segundo o mesmo autor, esses modelos surgiram devido à necessidade de se obter sequências hidrológicas mais longas para futuros projetos.

Os modelos são ferramentas muito úteis para lidar com questões ambientais e possíveis alternativas para mitigar impactos, visto que, podem ser usados para prever condições futuras por meio de simulação.

Desta forma, observar-se que é de suma importância obter conhecimento relacionado a distribuição e também a intensidade da chuva em um certo período de tempo, e neste momento o hietograma apresenta-se como uma ferramenta muito relevante para os estudos hidrológicos, pois ele relaciona a “intensidade da chuva ao longo do tempo”. (Bemfica, Goldenfum e Silveira, 2000).

Vários modelos hidrológicos são aplicados em todo o mundo para os mais diversos fins, como por exemplo, o ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*), o SWAT (*Soil Water and Analysis Tools*), o L-THIA (*Long-Term Hydrologic Impact Assessment*), etc.

Para o ambiente urbano, sobressai o modelo SWMM (*Storm Water Management Model*). É um modelo dinâmico de chuva-razão para a administração da drenagem. Sendo o modelo chuva-razão aplicado para produzir simulações hidrológicas e também informações sobre vazões em bacias hidrográficas (Luiz, Schröder, 2020).

2.3.4 SWMM

O SWMM foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos em 1971 e é um modelo de taxa de precipitação que pode simular a quantidade e a qualidade do escoamento, especialmente em áreas urbanas. SWMM é um programa de ambiente de trabalho baseado em Windows. É um software público de código aberto e é gratuito para utilização em todo o mundo (LENHS/UFPB, 2020).

O Storm Water Management Model da EPA (SWMM) é utilizado em todo o mundo, onde é realizado a modelagem e análise de dados relacionados com o escoamento de águas pluviais, esgotos combinados e sanitários, e outros sistemas de drenagem. Pode ser utilizado para avaliar estratégias de controle de águas pluviais, e é uma ferramenta útil para criar soluções de controle de águas pluviais (US EPA, 2014).

3 METODOLOGIA

Para fins de pesquisa, será aplicado o processo de modelagem utilizado por Kourtins et. Al (2018), que considera a seleção do modelo para simulação das águas pluviais, as características fisiográficas da bacia, as características a serem modeladas da LID e a elaboração de cenários que considerem o uso ou não de micro reservatórios.

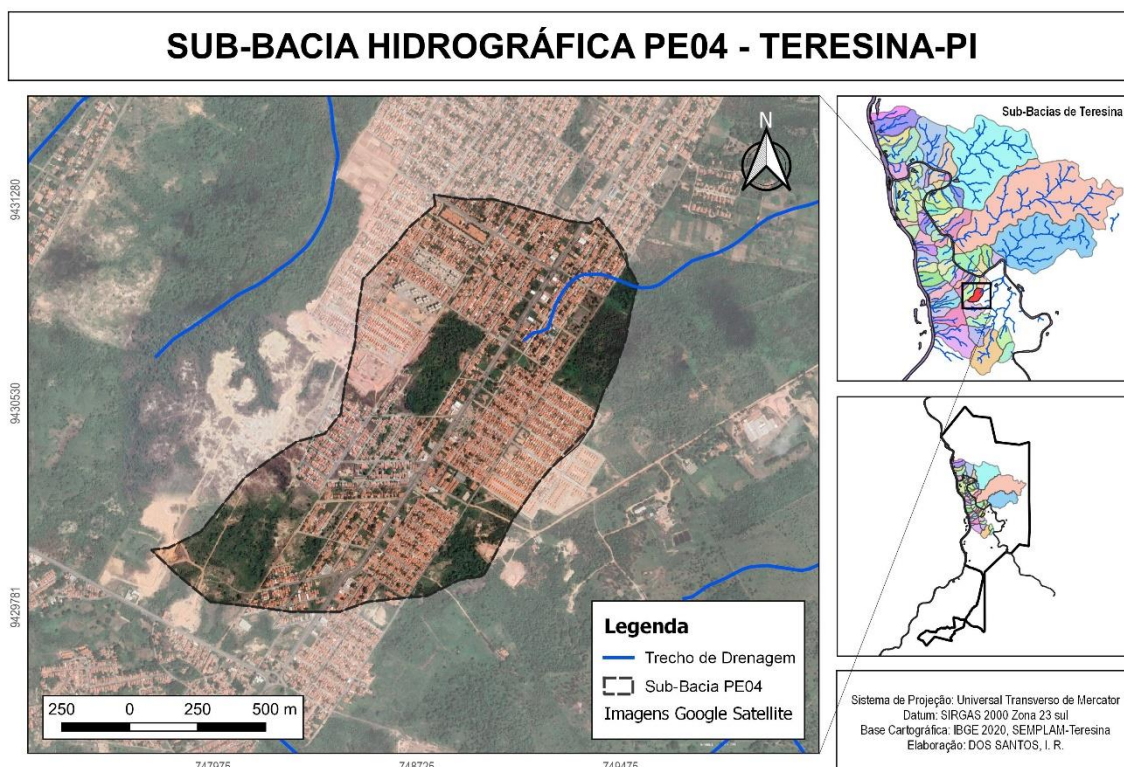
Portanto, as características geográficas e as condições meteorológicas locais da bacia de pesquisa são primeiro definidas para delinear o cenário original. Em seguida, em conformidade com os parâmetros, a LID a ser modelado é caracterizada. Por fim, considerando a comparação entre o cenário original e o cenário LID simulado, será realizado o estudo comparativo dos hidrogramas gerados para identificação da eficiência da solução modelada.

3.1 *Área de Estudo*

A sub-bacia PE04 localiza-se no conjunto Parque Sul, no município de Teresina, capital do estado do Piauí. O bairro tem uma área de 1,49 km². A sub-bacia a ser utilizada na pesquisa, encontra-se em uma região de nascentes, com grande uso e ocupação do solo, a mesma, apresenta-se em formato de gota, com tendência a alagamentos (TERESINA, 2018).

Na figura 6, pode-se observar a localização precisa da sub-bacia no bairro.

Figura 6 – Localização da Área de Estudo – SUB-BACIA PE04



Fonte: Autora (2021)

3.2 Dados de Precipitação

O Plano Diretor de Teresina, determina a equação (Equação 1) para as curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF). A sua utilização é apropriada para a definição do hietograma do modelo chuva-razão.

$$i = \frac{1194,273 \times T^{0,1738}}{(t + 10)^{0,7457}} \quad (1)$$

Onde (i) é a intensidade da chuva em mm/h, (T) o período de retorno em anos e por fim, o (t) é o tempo de concentração da bacia em minutos. O período de tempo utilizado para a modelagem da sub-bacia PE04, foi determinado em razão do menor tempo de concentração encontrado na área a ser modelada.

3.3 Modelagem dos micro reservatórios

Para a modelagem dos micro reservatórios, utilizou-se dois cenários. O primeiro cenário sem a utilização dos micro reservatórios e o segundo cenário com a

implementação dos micro reservatórios. Onde se comparou o pico da vazão e o volume dos escoamento nos dois cenários.

Foram instalados 2167 micro reservatórios, distribuídos entre casas e condomínios. O volume de cada micro reservatório é de 1000 litros, tendo 1 metro de altura.

A sub-bacia PE04 com uma área total 145,22 ha, destes 43,05 ha, corresponde a área total dos telhados, que correspondem a 53,84% da área da sub-bacia PE04.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados da simulação do escoamento sem LID

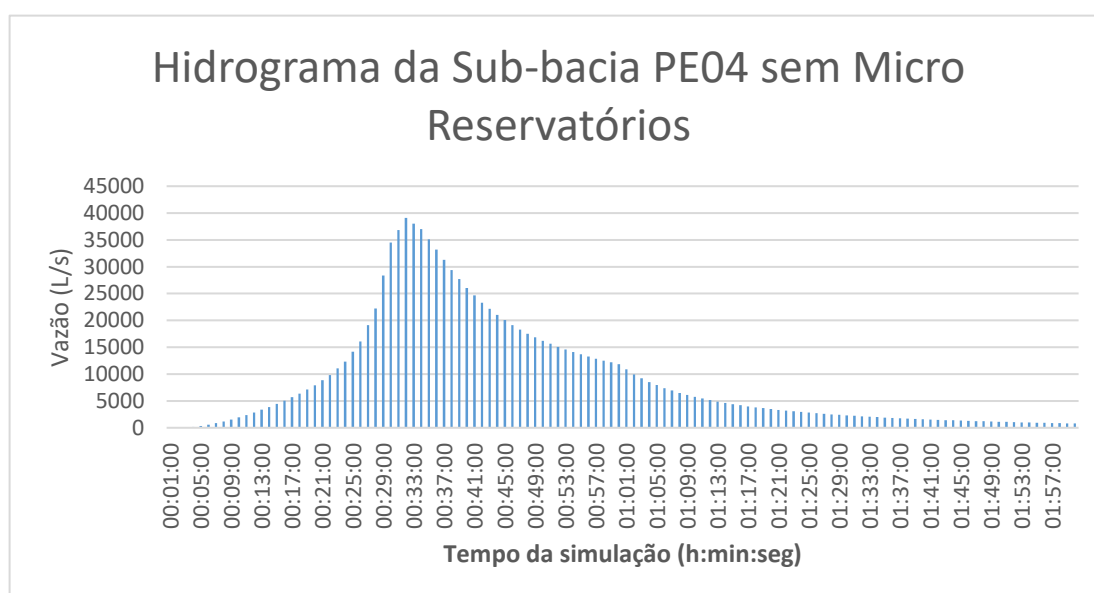
Analisando a primeira simulação, onde não há modelagem do cenário com a instalação de micro reservatórios, na sub-bacia PE04, observou-se que o escoamento se iniciou no primeiro minuto da simulação. O pico do seu escoamento ocorreu aos 00:32:00 minutos e com um valor de 39.078,23 L/s. Neste cenário, o volume de água escoado foi de 65.527 m³. O quadro 1 a seguir, resumirá os resultados da simulação e a variação da vazão na simulação expressa na figura 7.

Quadro 1 – Simulação sem implementação dos micro reservatórios

Bacia Modelada	Cenário Modelado	Pico de escoamento (L/s)	Pico da simulação (min)	Volume escoado (m³)
PE04	Sem micro reservatórios	39.078,23	00:32:00	65.527

Fonte: Autora, 2021.

Figura 7 - Escoamento superficial x Tempo simulado



Fonte: Autora, 2021.

4.2 Resultados da simulação do escoamento com LID

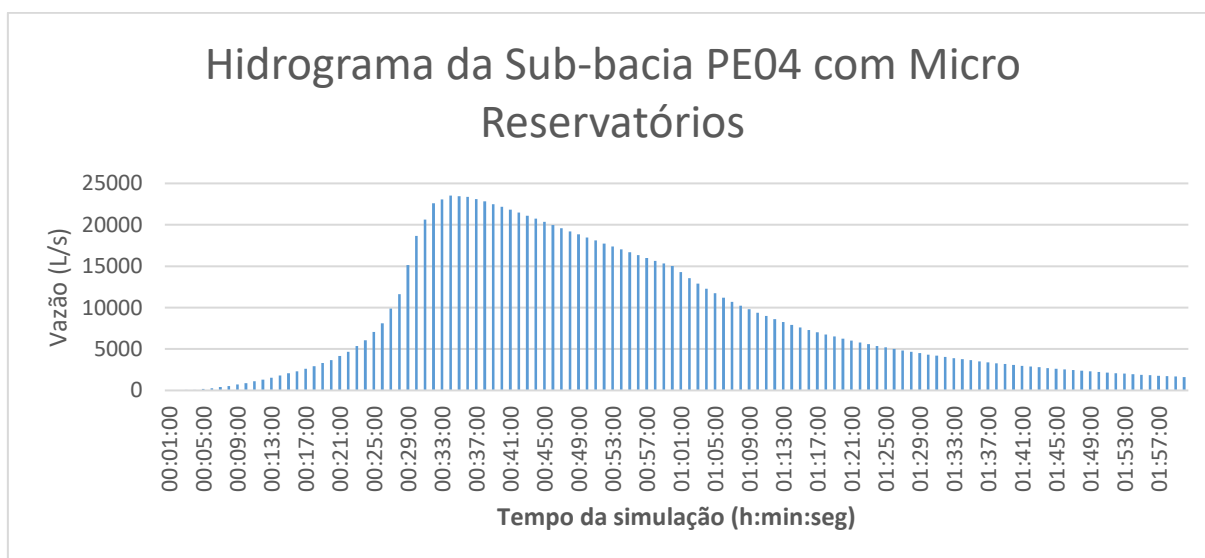
Analisando o cenário da segunda simulação, onde há modelagem com a implementação dos micro reservatórios, na sub-bacia PE04, observou-se que, similar ao primeiro cenário, o escoamento começou nos primeiros minutos da simulação. Entretanto, atingiu seu pico às 00:34:00, com um valor de 23.518,95 L/s. Neste cenário, o volume de água escoado foi de 61.960 m³. O quadro 2 resumirá os resultados obtidos na simulação e a variação da vazão na simulação expressa na figura 8.

Quadro 2 – Simulação com implementação dos micro reservatórios

Bacia Modelada	Cenário Modelado	Pico de escoamento (L/s)	Pico da simulação (min)	Volume escoado (m ³)
PE04	Com micro reservatórios	23.518,95	00:34:00	61.960

Fonte: Autora, 2021.

Figura 8 - Escoamento superficial x Tempo simulado

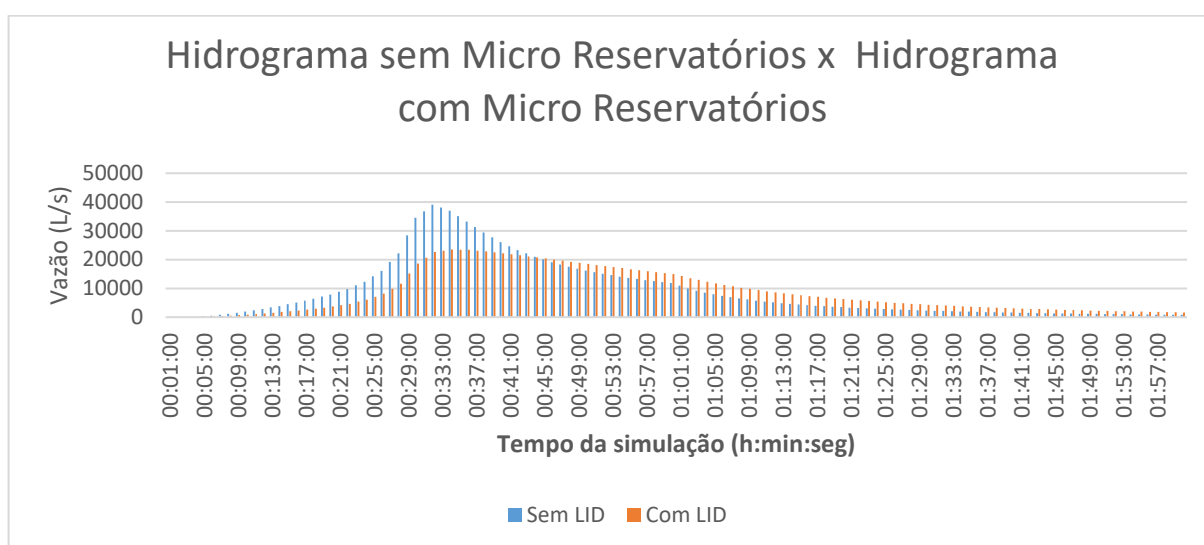


Fonte: Autora, 2021.

Após as simulações, observou-se mudanças nos valores do escoamento na sub-bacia. Desta forma, nota-se que o sistema de micro drenagem obteve um amortecimento de 39,81% de vazão, e também obteve uma redução no volume de água escoada em 5,44%.

Verificou-se também que, ao observar os dados simulados, o escoamento na bacia hidrográfica passou a ser atrasado em 02 minutos em relação ao cenário não modelado, tal cenário pode ser observado na figura 9.

Figura 9 - Escoamento superficial x Tempo simulado



Fonte: Autora, 2021.

Após os dados serem informados, observou-se que com o uso dos micro reservatórios ocorreu a redução tanto da vazão de escoamento bem como postergou o pico.

No Brasil, mesmo com a existência de poucos estudos que avaliaram o funcionamento em escala real dos micro reservatórios, podemos destacar alguns estudos.

Agra (2001) avaliou a função de um micro reservatório com volume de 1 m³ para receber água da área com a extensão de 337,5 m². Oito episódios foram analisados, o que mostra que os micro reservatórios são eficazes na redução do pico de fluxo. Porém, acerca do aumento do tempo de resposta da bacia hidrográfica, constatou-se que a estrutura foi inapta devido ao pequeno valor de retenção.

Um outro estudo importante foi realizado por Campos (2007), que verificou o comportamento hidrológico de três parcelas de 360 m² em Bertioga/SP, em três situações distintas. Foram analisados 15 eventos, onde se comparou a vazão em um lote natural, sem nenhum tipo de interferência, um lote convencional, com 50% de sua área ocupada e por fim um lote sustentável com a mesma taxa de ocupação do lote convencional, entretanto neste lote foram instalados dois micro reservatórios e trincheiras de infiltração.

Campos (2007), ao analisar o resultados de seus eventos, observou que o pico de vazão dos lotes sustentáveis, onde foram utilizados os micro reservatórios, foram atenuados, se comparados com o lote convencional.

Retirando-se do cenário brasileiro e analisando cenários externos, podemos destacar a pesquisa de Petrucci et al. (2010). Nesta pesquisa, foram realizadas avaliações com o a implementação do dispositivo de controle da fonte de água da chuva na vila de Champigny-sur-Marne em Paris. Aproximadamente 450 micro reservatórios foram instalados em 157 residências. Feitas as avaliações, concluiu-se que, houve redução na vazão de chuvas pequenas e médias intensidade, mas as inundações não podem ser evitadas sob chuvas fortes.

Ademais, quando analisamos pesquisas que focavam em simulações teóricas, observamos que a maior parte da eficiência de amortecimento do pico de fluxo foi avaliada, assim como a pesquisa realizada por Drummond *et al.* (2013) .

Ao observar os dados sobre as simulações da sub-bacia PE04 e levando em consideração os demais estudos realizados sobre o uso de micro reservatórios como soluções para a problemática da drenagem urbana, infere-se que, mesmo com inúmeras pesquisas teóricas realizadas, utilizando programas de modelagem computacional, ainda há uma enorme carência de pesquisas em escala real sobre o uso do sistema de micro drenagem, bem como também, a análise com um maior tempo de retorno e a manutenção adequada dos micro reservatórios.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa que teve como objetivo a análise da mitigação do escoamento superficial na sub-bacia PE04, localizada no bairro Parque Sul, Teresina – PI, através da modelagem computacional de soluções de desenvolvimento de baixo impacto, os micro reservatórios, utilizando-se para este objetivo o programa SWMM.

Após a realização das simulações, onde comparou-se o pico escoamento na sub-bacia, observou-se que, na primeira simulação, sem o uso dos micro reservatórios, o pico foi aos 00:32:00 minutos e com um valor de 39.078,23 L/s e posteriormente, com o uso dos micro reservatórios, atingiu-se o pico às 00:34:00, com um valor de 23.518,95 L/s.

Ao se analisar as simulações, nota-se que o uso do sistema de micro drenagem, os micro reservatórios, amorteceram e retardaram o pico do escoamento na sub-bacia PE04 em 02 minutos, significando assim uma redução em 39,81% no pico da vazão. Desta forma, reduz-se as chances de alagamentos, perdas materiais e riscos à vida da população na área da sub-bacia.

Desta maneira, constatou-se que a implementação da solução de baixo impacto, os micro reservatórios, proporcionou a mitigação do escoamento superficial nas bacias urbanas, especificamente na sub-bacia PE04.

REFERÊNCIAS

AGRA, S. G. **Estudo Experimental de Microrreservatórios para o Controle do Escoamento Superficial**. 2001. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

ALCÂNTARA, D. DE; SCHUELER, A. S. DE. Gestão das águas e sustentabilidade: desafios globais e respostas locais a partir do caso de Seropédica, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Cadernos Metrópole**, v. 17, n. 33, p. 109–126, maio 2015.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Belo Horizonte ABRH, 2005.266p.

CAMPOS, J. B. N., **Análise hidrológica experimental de lotes urbanos sob formas diferenciadas de ocupação e controle da inundação**, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, 2007.

CARDOSO, A. **Sistemas Urbanos de Drenagem**, disponível no site http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf Acesso em: 24 mai. 2021.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. DOS S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe3, p. 94–108.

CUBIDES, E. D.; SANTOS, G. E.. Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. **Entre Ciencia e Ingenieria**, Pereira , v. 12, n. 24, p. 32-42, Dec. 2018 . Available from <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672018000200032&lng=en&nrm=iso>. access on 18 May 2021.

DIRETOR-EXECUTIVO, P. et al. Presidente da República Ministro do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98887.pdf>>.

DRUMOND, P. P., COELHO, M. M. L. P., MOURA, P. M. (2013b) Avaliação do Funcionamento de um Microrreservatório com o Volume Exigido pela Legislação de Belo Horizonte. In **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH, Bento Gonçalves, Nov. 2012.

DA COSTA BEMFICA, Daniela; GOLDENFUM, Joel ; DA SILVEIRA, André. **ANÁLISE DA APLICABILIDADE DE PADRÕES DE CHUVA DE PROJETO A PORTO ALEGRE**. v. 5, p. 5–16, 2000. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/arroiodiluvio/conteudo-antigo/copy_of_sobre-o-arroio-diluvio/analise.pdf>. Acesso em: 20 Nov. 2021.

KOURTIS,I.; TSIHRINTZIS,V.; BALTAS, E. **Simulation of Low Impact Development (LID) Practices and Comparison with Conventional Drainage Solutions**. Proceedings, 2018.

LUIZ, T. B. P., SCHRODER, T. **MODELOS CHUVA-VAZÃO: USO DE TÉCNICAS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINAS PARA CALIBRAÇÃO DE MODELOS EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA**. Revistas.ufg.br. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/62872/35378>>. Acesso em: 20 Nov. 2021.

MELO, T. DOS A. T. DE et al. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 147–165, dez. 2014.

NASCIMENTO, S. M. DOS M. G. DO; GOMES, J. M. A. Planejamento e orçamento municipal de Teresina para o crescimento econômico e meio ambiente no período de 2014 a 2016. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 3, p. 695–707, 4 jun. 2018.

PETRUCCI, G., DEROUBAIX, J. F., BOMPARD, P., DEUTSCH. J.C., GOUVELLO, B., LAFFRÉCHINE, K. e TASSIN, B. **Efficiency of distributed water harvesting on runoff reduction. Case-study of “Village Parisien” district, Champigny-sur-Marne, Ile de France**. In: 7 th International Conference on Innovative Techonologies in Urban Storm Drainage1NOVATECH, Lyon, 2010.

RIBEIRO, A M. **BMP's em drenagem urbana: aplicabilidade em cidades brasileiras**. São Paulo,2014. 104p.

SANTOS, P. T. DA S. et al. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 1, p. 161–174, mar. 2013.

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

SWMM. Disponível em: <<http://ct.ufpb.br/lenhs/contents/menu/swmm>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

TASSI, R. et al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 139–154, mar. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas. Estudos Avançados**. v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. ABRH Editora da Universidade, 652p, 1998.

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

US EPA,ORD. **Storm Water Management Model (SWMM) | US EPA**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. 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, 13 out. 2016.