



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**TAÍS MARIA NUNES CARVALHO**

**AVALIAÇÃO DO USO DE CISTERNAS NA BACIA DO PAJEÚ PARA ATENUAÇÃO  
DE PICOS DE CHEIA UTILIZANDO O SWMM**

**FORTALEZA**

**2016**

TAÍS MARIA NUNES CARVALHO

AVALIAÇÃO DO USO DE CISTERNAS NA BACIA DO PAJEÚ PARA ATENUAÇÃO DE  
PICOS DE CHEIA UTILIZANDO O SWMM

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Francisco de Assis de Souza Filho, Ph.D.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- C329a Carvalho, Taís Maria Nunes.  
Avaliação do uso de cisternas na bacia do Pajeú para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM /  
Taís Maria Nunes Carvalho. – 2016.  
56 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho.
1. Cisternas. 2. LID. 3. Drenagem Urbana. 4. SWMM. I. Título.

CDD 628

---

TAÍS MARIA NUNES CARVALHO

AVALIAÇÃO DO USO DE CISTERNAS NA BACIA DO PAJEÚ PARA ATENUAÇÃO DE  
PICOS DE CHEIA UTILIZANDO O SWMM

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 16/12/2016.

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Francisco de Assis de Souza Filho, Ph.D. (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

  
Prof. Me. Carla Beatriz Costa de Araújo

Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

  
Engenheiro Civil Daniel Antônio Camelo Cid

Aos meus pais, Cláudio e Terezinha, e aos meus  
irmãos, João e Taiana.

Ao meu companheiro inseparável, Walter.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que me deu vida, saúde e inteligência e que me mantém forte na caminhada em busca dos meus objetivos.

Ao professor Assis, pela orientação, compreensão e entusiasmo, que sempre se mostrou disponível quando foi necessário.

A professora Carla Beatriz e ao Engenheiro Daniel Cid pela participação na banca examinadora desta monografia.

A todos os professores que durante a graduação contribuíram para a minha formação profissional, especialmente aos professores Assis, Ana Bárbara e Ronaldo Stefanutti.

Aos meus pais, Terezinha e Cláudio, que nunca mediram esforços para me proporcionar todas as ferramentas necessárias para a minha educação e formação profissional, pela paciência, inspiração, incentivo e ensinamentos diários, por me acompanhar em todos os momentos, acreditando em mim e nos meus objetivos e por encherem a minha vida de amor e carinho.

Aos meus queridos irmãos, Taiana Cláudia e João Cláudio, pelas risadas, pelo apoio e confiança, estando sempre presentes e disponíveis para me ajudar.

Ao meu parceiro, amigo e companheiro, Walter, por todo o amor, incentivo e paciência, pela dedicação e participação em todos os momentos durante os cinco anos de graduação, por ser meu modelo e inspiração, me guiando pelos melhores caminhos possíveis e tornando meu dia a dia mais feliz.

Aos meus amigos do curso de graduação em Engenharia Ambiental, especialmente Maria Aparecida, Priscila, Ariadne, Renata, Mateus e João Paulo, pelo companheirismo, bons momentos, pelas madrugadas de estudos e por todos os aprendizados que cada um me proporcionou.

Aos meus queridos amigos Letícia, Suyanne, Samara, Joel e Thais, pelo apoio, admiração, carinho e motivação.

A todos que contribuíram direta e indiretamente à execução deste trabalho.

## RESUMO

A utilização de técnicas compensatórias em drenagem urbana tem se tornado bastante recorrentes diante do processo contínuo de urbanização das últimas décadas. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a influência da utilização de cisternas como solução para a atenuação das vazões de escoamento superficial. A área de estudo utilizada foi a bacia do riacho Pajeú, localizada na cidade de Fortaleza, na qual eventos de inundações são comuns durante a quadra chuvosa. Para realizar as simulações, foi utilizado o software Storm Water Management Model – SWMM. Foram quantificados os efeitos na redução do pico de vazão causados pela construção de cisternas na bacia. Para isso, foi simulado um evento de chuva de quatro horas de duração, sendo ainda considerados períodos de retorno de 5, 10, 20 e 50 anos. Dessa forma, foram avaliados dois cenários: o primeiro, sem a utilização de dispositivos de Low Impact Development (LID), e o segundo, com variadas aplicações de cisternas na bacia. Os resultados das simulações mostraram que a utilização de medidas compensatórias do tipo cisterna tem efeitos consideráveis na atenuação do pico de vazão de escoamento, que variam de acordo com a porcentagem de ocupação da bacia. A utilização de cisternas em 50% da bacia pode reduzir em até 64% a vazão máxima de escoamento no ponto exutório. Destaca-se a importância de trabalhos desse caráter, visto que simulações hidrológicas desse tipo podem ser de grande importância para o planejamento de drenagem urbana.

**Palavras-chave:** Cisternas. LID. Drenagem urbana. SWMM.

## ABSTRACT

Compensatory techniques on urban drainage has become quite recurrent due to the continuous process of urbanization of the last decades. The objective of this work was to evaluate the influence of cisterns as a solution to reduce storm water runoff. The study area was the Pajeú basin, located in Fortaleza, in which flood events are common during the rainy season. To perform this simulation, the Storm Water Management Model - SWMM software was used. The effects on the runoff peak reduction caused by the construction of cisterns in the basin were quantified. For this, a four-hour rainfall event was simulated, and different return periods were also analyzed (5, 10, 20 and 50 years). Therefore, two scenarios were evaluated: the first one, without the use of Low Impact Development (LID) devices, and the second one, with several applications of cisterns in the basin. The results of the simulations showed that the usage of compensatory measures (cisterns) has considerable effects on the attenuation of the runoff peak, which vary according to the percentage of LID occupation of the basin. The usage of cisterns in 50% of the basin can reduce up to 64% the maximum outflow at the outfall. It is important to emphasize the importance of works of this character, since this kind of hydrological simulations may be of great importance for urban drainage planning.

**Keywords:** Rain barrel. LID. Urban drainage. SWMM.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Impactos da urbanização sobre as águas .....	15
Figura 2 – Tipos de técnicas compensatórias .....	18
Figura 3 – Pavimento permeável .....	23
Figura 4 – Trincheira de infiltração .....	24
Figura 5 – Vala de infiltração .....	25
Figura 6 – Comparação entre telhado convencional e telhado verde .....	27
Figura 7 – Bacia de detenção.....	27
Figura 8 – Localização da área estudada .....	30
Figura 9 – Divisão da Bacia do Pajeú em Sub-bacias .....	31
Figura 10 – Pontos de alagamento da bacia .....	32
Figura 11 – Registro de inundação no ponto P1 .....	32
Figura 12 – Registro de inundação no ponto P2.....	33
Figura 13 – Registro de inundação no ponto P3.....	33
Figura 14 – Registro de inundação no ponto P3.....	33
Figura 15 – Curvas IDF de Fortaleza para os períodos de retorno estudados .....	35
Figura 16 – Hietograma de blocos alternados para o período de retorno de 5 anos.....	36
Figura 17 – Modelo de reservatório não-linear .....	37
Figura 18 – Classificação da cobertura do solo na Bacia do Pajeú .....	41
Figura 19 – Mapa de impermeabilização das sub-bacias .....	42
Figura 20 – Esquema das sub-bacias e canais utilizados na simulação.....	43
Figura 21 – Ajuste dos parâmetros da sub-bacia após a introdução de Controles por Dispositivos de Baixo Impacto (LIDs).....	44
Figura 22 – Mapa das vazões de pico por sub-bacia (sem LID) .....	45
Figura 23 – Mapa das vazões de pico por sub-bacia (30% da bacia ocupada por cisternas) .....	46
Figura 24 – Hidrograma da sub-bacia S1, para $Tr=5$ anos .....	47
Figura 25 – Hidrograma da sub-bacia S6, para $Tr=5$ anos .....	47
Figura 26 – Variação dos hidrogramas no ponto exutório sob diferentes ocupações LID.....	48
Figura 27 – Hidrograma do ponto exutório, para $Tr=5$ anos.....	49
Figura 28 – Variação das vazões máximas para diferentes períodos de retorno .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese das mudanças conceituais entre conceitos higienistas e conceitos inovadores de gestão de águas em meio urbano .....	16
Tabela 2 – Técnicas compensatórias de drenagem urbana ao redor do mundo .....	17
Tabela 3 – Categorias de medidas não estruturais.....	20
Tabela 4 – Funções e Efeitos das Principais Medidas Compensatórias .....	22
Tabela 5 – Períodos de retorno para diferentes ocupações.....	35
Tabela 6 – Cálculo do tempo de concentração .....	36
Tabela 7 – Vazão de pico nas sub-bacias .....	46
Tabela 8 – Vazões de escoamento máximas para diferentes períodos de retorno.....	49

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BMP	Best Management Practices
CN	Curve Number
EPA	Environmental Protection Agency
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, duração e frequência
LID	Low Impact Development
NRCS	National Resources Conservation Service
SCS	Soil Conservation Service
SWMM	Storm Water Management Model

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
1.2	OBJETIVO .....	13
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.2	Histórico da drenagem urbana.....	14
2.2.1	Técnicas atuais de drenagem urbana.....	17
2.2.2	Medidas compensatórias .....	18
2.2.2.1	Medidas não estruturais .....	19
2.2.2.2	Medidas estruturais .....	21
2.3	O MODELO SWMM .....	29
3	ÁREA DE APLICAÇÃO.....	30
4	METODOLOGIA .....	34
4.1	Cálculo da chuva de projeto .....	34
4.2	Modelo chuva-vazão SWMM .....	37
4.3	Avaliação de desempenho sem LID .....	41
4.4	Avaliação de desempenho com LID: uso de cisternas.....	43
5	RESULTADOS.....	45
6	CONCLUSÕES.....	51
	REFERÊNCIAS .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de crescimento da população urbana está acontecendo sob um ritmo acelerado, de forma que paralelamente a esse fenômeno, as fontes de abastecimento de água estão reduzindo, ou na melhor das hipóteses, permanecendo constantes em quantidade, mas diminuindo em qualidade (NIEMCZYNOWICZ, 1999). Segundo Tucci (2001), um dos graves problemas neste processo de desenvolvimento urbano resulta da expansão, geralmente irregular, que ocorre sobre as áreas de mananciais de abastecimento humano, comprometendo a sustentabilidade hídrica das cidades.

A urbanização tem como consequência direta o aumento da área de superfícies pavimentadas, que causam a diminuição da permeabilidade e da infiltração do solo, provocando um aumento do escoamento superficial. A canalização de córregos naturais resulta em escoamento rápido com picos de vazão elevados. Tais mudanças de regime natural, em uma área relativamente pequena de uma cidade trazem efeitos significativos e muitas vezes desastrosos em toda a bacia do rio a jusante da cidade (NIEMCZYNOWICZ, 1999).

Durante muitos anos, tanto no Brasil como em outros países, a drenagem urbana das grandes metrópoles foi abordada de uma maneira acessória, no contexto do parcelamento do solo para usos urbanos. Na maior parte dessas grandes metrópoles, o crescimento das áreas urbanizadas processou-se de forma acelerada e somente em algumas a drenagem urbana foi considerada fator preponderante no planejamento da sua expansão (CANHOLI, 2014).

Na década de 60, em alguns países da Europa, passou-se a questionar o sistema clássico de drenagem urbana que, através da evacuação rápida das águas acumuladas em áreas importantes, transfere o problema para outras áreas ou para o futuro. Esta visão, que ainda predomina em alguns meios técnicos, foca o controle do escoamento na própria calha do curso d'água, não dando a devida importância ao escoamento gerado nas superfícies urbanizadas (POMPÊO, 2000).

Chocat (1997) destaca que o surgimento das técnicas alternativas de drenagem urbana está ligado à conjugação de três aspectos: a insuficiência dos sistemas existentes, a necessidade de desenvolvimento urbano e a crescente preocupação ecológica.

Nesse contexto, foram desenvolvidos métodos compensatórios de manejo de águas pluviais (também denominados Best Management Practices - BMPs) os quais são constituídos de planejamento em escala de bacia e da aplicação de dispositivos de armazenamento e infiltração

(bacias de detenção, bacias de retenção, pavimentos permeáveis, microrreservatórios e trincheiras de infiltração). Tal abordagem passou a ser recomendada mundialmente a partir da década de 70, e em alguns municípios brasileiros na última década (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

Diante desses aspectos, este trabalho propõe-se a analisar a influência da implantação de práticas de desenvolvimento de baixo impacto (Low Impact Development – LID) na Bacia do Pajeú, localizada no município de Fortaleza, capital do estado cearense. A técnica LID avaliada foi a utilização de cisternas para atenuação dos picos de vazão. Para caracterizar e quantificar os cenários desejados, foi utilizado o modelo de transformação chuva-vazão do Storm Water Management Model (SWMM).

## **1.2 OBJETIVO**

Avaliar o impacto da urbanização na drenagem urbana e identificar como medidas compensatórias podem reduzir estes impactos.

### **1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar o aumento ou redução das vazões de pico.
- Analisar a redução do impacto utilizando dispositivo LID do tipo reservatório de água (cisterna).

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

O objetivo da revisão da literatura foi destacar os princípios das soluções alternativas de drenagem urbana, sua evolução e os principais dispositivos LID atualmente utilizados.

### **2.2 Histórico da drenagem urbana**

Durante o desenvolvimento das civilizações, o crescimento das cidades esteve particularmente relacionado a proximidade com os cursos de água. A ocupação preferencial de áreas próximas a água se deu pela utilização dos rios como transporte, meio de obtenção de água para consumo e de higiene, além da facilitação das comunicações e do comércio (TUCCI, 2007; BAPTISTA, NASCIMENTO, 2002).

Assim, de acordo com Canholi (2014), o aumento das áreas urbanizadas e, conseqüentemente, impermeabilizadas, ocorreu a partir das zonas mais baixas, próximas às várzeas dos rios ou à beira-mar, em direção às colinas e morros.

De início, a proximidade entre rios e aglomerações urbanas era fator de desenvolvimento e segurança. Os cursos d'água proviam a água de abastecimento, a facilidade para o despejo de resíduos, a via natural de comunicação e transporte, facilitando o comércio, a fonte de energia para a indústria incipiente, a eventual defesa natural contra invasores (BAPTISTA, NASCIMENTO, 2002). Até meados do século XVIII, esses benefícios compensavam o risco e os custos conseqüentes das inundações.

No século XIX, o crescimento das aglomerações urbanas, juntamente com as epidemias de cólera e tifo que assolaram a Europa, em combinação com os avanços científicos – notadamente em microbiologia e epidemiologia –, levaram ao estabelecimento dos preceitos higienistas, que representaram uma mudança radical na relação existente entre as águas e o meio urbano (BAPTISTA, CARDOSO, 2013).

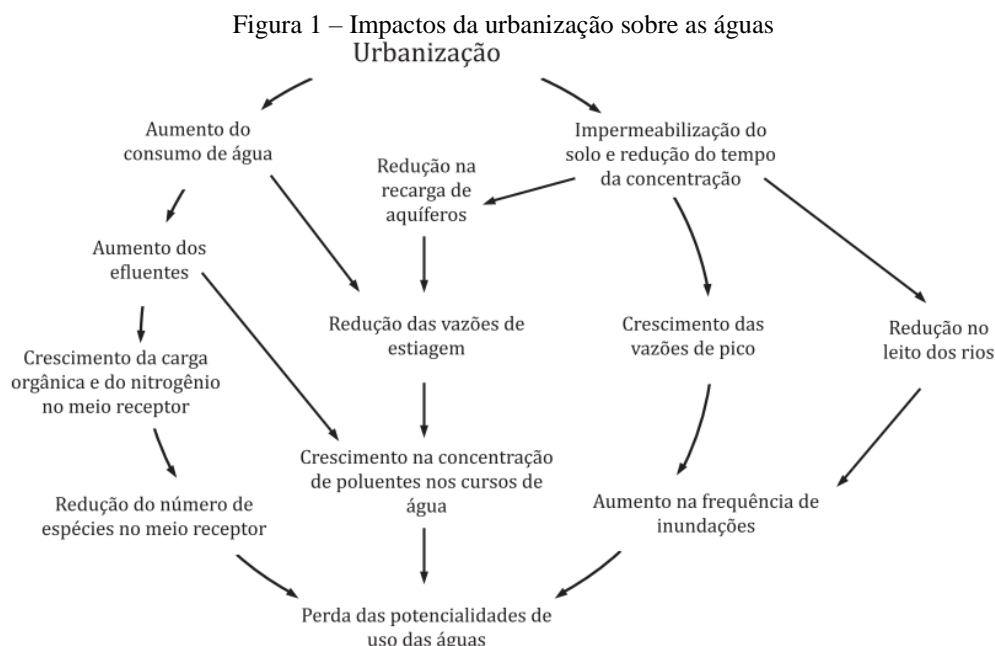
Os princípios do higienismo preconizavam, dentre outros princípios, o transporte rápido dos excessos pluviais por condutos enterrados. Segundo Tucci (2005), neste período a solução sempre foi de coletar a água a montante e dispor o esgoto à jusante. As águas pluviais eram planejadas para escoar pelas ruas até os rios. Este cenário foi aceitável enquanto as cidades tinham

população de até 20 mil habitantes e se encontravam distantes uma da outra para que o esgoto de uma cidade não contaminasse a outra.

A eficiência dos princípios do higienismo refletiu-se em significativa redução das taxas de mortalidade, levando a um intenso crescimento da população mundial a partir do início do século XX (BAPTISTA, CARDOSO, 2013). O crescimento urbano ocorrido em países em desenvolvimento tem sido significativo desde a década de 70 (TUCCI, 2005). Dentre as principais consequências da crescente urbanização nos países em desenvolvimento, destaca-se a concentração da população em áreas relativamente pequenas. (TUCCI, 2005; NIEMCZYNOWICZ, 1999)

A implantação de estruturas de suporte ao crescimento populacional, através da construção de grandes áreas impermeáveis (estradas, viadutos, edifícios), causa uma mudança no ciclo hidrológico. Dessa forma, segundo Niemczynowicz (1999), a infiltração e a recarga do lençol freático diminuem, o padrão de escoamento superficial e do curso d'água é alterado, implicando em um aumento das vazões de pico, em grandes volumes de escoamento superficial e no transporte acelerado de poluentes e de sedimentos de áreas urbanas.

Segundo Baptista e Cardoso (2013), os impactos da urbanização sobre os recursos hídricos são agravados pela canalização dos cursos de água, levando a crises de insuficiência nos sistemas de drenagem e ao conseqüente aumento na frequência de inundações, com impacto direto nas áreas ribeirinhas, como pode ser visto na Figura 1.



Fonte: Baptista, Cardoso (2013).



Segundo Braga (1994), a maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, experimentou nas últimas décadas uma expansão urbana com precária infraestrutura de drenagem, advindo os problemas de inundação principalmente da rápida expansão da população urbana, do baixo nível de conscientização do problema, da inexistência de planos de longo prazo, da utilização precária de medidas não estruturais e da manutenção inadequada dos sistemas de controle de cheias (CANHOLI, 2014).

Tabela 1 – Síntese das mudanças conceituais entre conceitos higienistas e conceitos inovadores de gestão de águas em meio urbano

<b>Higienismo</b>	<b>Conceitos inovadores</b>
Drenagem rápida das águas pluviais; transferência para jusante.	Favorecimento à infiltração, ao armazenamento e ao aumento do tempo de percurso do escoamento.
Redes subterrâneas, canalização de cursos d'água naturais.	Valorização da presença da água na cidade, busca de menor interferência sobre o sistema natural de drenagem.
Associação do sistema de drenagem ao sistema viário.	Soluções técnicas multifuncionais: sistema de drenagem associado a áreas verdes, terrenos de esporte, parques lineares, ...
Sistema de drenagem gravitacional, não controlado, configuração fixa da rede.	Sistema de drenagem controlado, possibilidade de alteração na configuração da rede de drenagem em tempo real.
Concepção e dimensionamento do sistema segundo um nível único de risco de inundação.	Concepção e dimensionamento segundo diferentes níveis de risco de inundação, para atender a objetivos diferenciados.
Não analisa o sistema no contexto de eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto.	Avaliação da operação do sistema para eventos de tempos de retorno superiores aos de projeto, gestão do risco de inundação.
Objetivos de saúde pública e de conforto no meio urbano, despreocupação com impactos da urbanização sobre meios receptores.	Preocupação com a garantia de condições adequadas de saúde pública e conforto no meio urbano e de redução dos impactos da urbanização sobre os meios receptores.

Fonte: Nascimento, Batista e von Sperling (1999).

A partir dos anos 1970 tem-se observado em países da Europa e da América do Norte a construção de novos modelos e concepções para tratar os problemas de gestão das águas na cidade (NASCIMENTO, HELLER, 2004). As concepções do modelo de inspiração higienista tem sido substituído por conceitos inovadores mais apropriados ao quadro de crescente urbanização, como está disposto na Tabela 1. Também no Brasil mudanças importantes de concepção, planejamento e gestão das águas em contexto urbano têm sido observadas nos últimos anos. Nesse contexto, surgiram técnicas inovadoras como as medidas compensatórias de drenagem pluvial.

### 2.2.1 Técnicas atuais de drenagem urbana

Novos métodos têm sido desenvolvidos para o tratamento de águas pluviais, baseados em tecnologias de pequena escala, ambientalmente racionais e que envolvem sistemas biológicos naturais ou artificiais. Alguns desses métodos incluem vários tipos de lagoas, plantas filtrantes, escoamento superficial através de ecossistemas naturais ou artificiais, wetlands, sistemas radiculares, instalações de percolação, infiltração do solo, asfalto permeável, e muitas combinações desses. (NIEMCZYNOWICZ, 1999).

A utilização dessas técnicas de controle de escoamento, que visam manter as características hidrológicas o mais próximo possível das condições de pré-ocupação, são conhecidas nos Estados Unidos e no Canadá como Best Management Practices (BMP). A Tabela 2 dispõe as formas de aplicação e a terminologia dessa prática em diversos locais do mundo.

Tabela 2 – Técnicas compensatórias de drenagem urbana ao redor do mundo

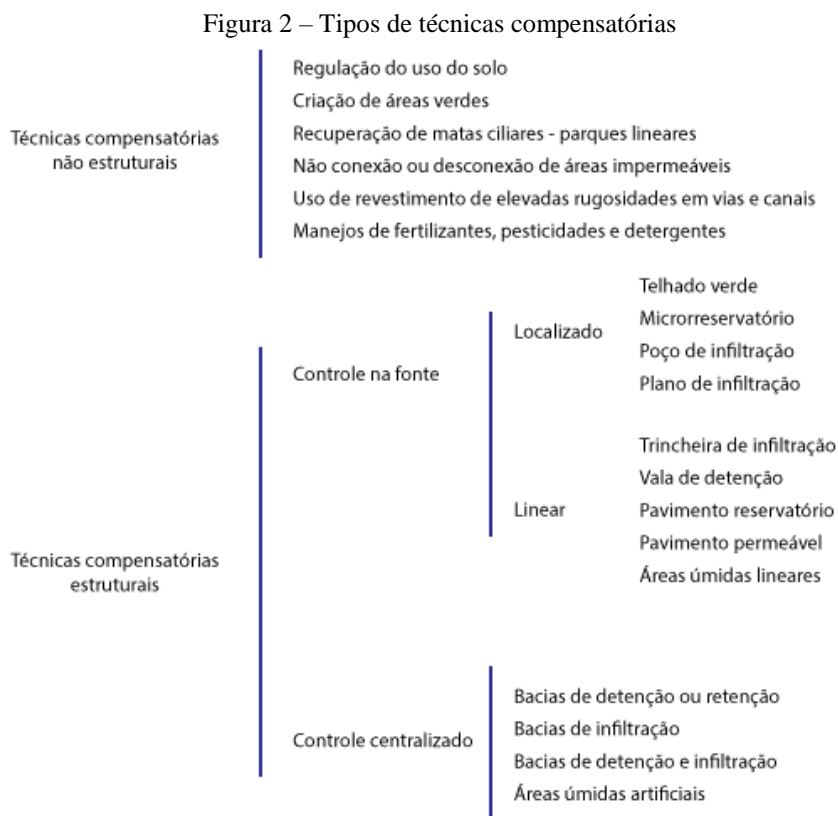
<b>Local</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resumo das técnicas</b>
Estados Unidos	Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID)	Procura aproximar a drenagem urbana do sistema natural, incentivando práticas de reuso e infiltração. Através de técnicas como implantação de telhados verdes, valas de infiltração, faixas gramadas e reeducação da população, conseguiu-se em 1996 uma redução de 35% do escoamento superficial nas ruas da cidade de Portland.
Inglaterra	Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana (Sustainable Urban Drainage Systems –SUDS)	Um dos países que mais se tem desenvolvido estudos e aplicações dos sistemas sustentáveis de drenagem, onde universidades e empresas trabalham juntos para o melhor desenvolvimento de técnicas sustentáveis.
Austrália	Projeto Urbano Hidricamente Sensível (Water Sensitive Urban Design – WSUD)	Procuram usar técnicas que o fluxo das águas se aproximem o máximo possível de seu curso natural. Seus estudos são de grande importância para o Brasil, por ambos países possuírem climas semelhantes, diminuindo o número de adaptações para que as técnicas sejam aplicadas no Brasil.
Nova Zelândia	Projeto e Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (Low Impact Urban Design and Development – LIUDD)	Tem como objetivo principal otimizar o desempenho e a competitividade das cidades, melhorando a integração entre as atividades humanas e processos naturais.

Fonte: Poletto,(2011)

## 2.2.2 Medidas compensatórias

Muitas ações de gestão são necessárias em uma bacia hidrográfica para alcançar a redução do volume de escoamento superficial e a redução da poluição das águas pluviais; no entanto, nenhuma solução única padronizada pode ser eficaz em todos os locais. Fatores como a escala das bacias hidrográficas, as atividades humanas e as características naturais podem variar significativamente de um lugar para outro. (LEE et al., 2012)

Nas definições atuais para manejo de águas pluviais urbanas, adotam-se um conjunto de ações e soluções de caráter estrutural e não estrutural, que envolvem a execução de grandes e pequenas obras e de planejamento e gestão de ocupação do espaço urbano, com o uso de legislações específicas e fiscalização ativa quanto à geração dos deflúvios superficiais decorrente do uso e da ocupação do solo (RIGHETTO; MOREIRA; SALES, 2009). As diversas técnicas compensatórias, agrupadas em estruturais e não-estruturais, estão dispostas na Figura 2.



Fonte: Adaptado de Baptista et. al (2005).

Em sua maior parte, as medidas de mitigação se baseiam na utilização de superfícies permeáveis, áreas de infiltração e armazenamento das águas superficiais (TUCCI; GENZ, 1995), integrando a outros interesses da sociedade, como abastecimento e paisagismo. O grande desafio enfrentado pelo tomador de decisão é como selecionar a melhor combinação de práticas para a implementação dentre as muitas opções disponíveis para alcançar a estratégia de gestão mais rentável e prática possível para o local de interesse (LEE et al., 2012).

Uma forma interessante da utilização do LID é integrá-lo nos lotes urbanos, com o intuito de reduzir a quantidade de escoamento superficial ocasionado pela grande quantidade de áreas impermeáveis (Lu et al., 2013).

### **2.2.2.1 Medidas não estruturais**

De acordo com a definição da U.S. EPA (1999), medidas não-estruturais para gestão das águas urbanas são práticas institucionais de prevenção à poluição para prevenir, minimizar a poluição das águas pluviais ou reduzir o volume dessas águas a ser gerenciado. Elas não envolvem instalações permanentes e costumam trabalhar na mudança de comportamento por meio de regulamentações do governo, persuasões ou instrumentos econômicos (Taylor e Wong, 2002).

Os sistemas não estruturais são denominados sistemas de controle na fonte, pois atuam no local ou próximo das fontes de escoamento, estabelecendo critérios de controle do uso e ocupação do solo nessas áreas (RIGHETTO; MOREIRA; SALES, 2009). As principais medidas não estruturais são do tipo preventiva, como previsão e alerta de inundação, zoneamento das áreas de risco de inundação, seguro e proteção individual contra inundação.

O sistema de previsão de alerta tem a finalidade de se antecipar à ocorrência da inundação, avisando a população e tomando as medidas necessárias para reduzir os prejuízos resultantes da inundação (TUCCI, 2007). Dessa forma, a adoção de tal sistema de alerta atua na redução da vulnerabilidade da população frente a um evento de inundação. Segundo Canholi (2005), estes sistemas visam evitar o fator surpresa, que muitas vezes provoca vítimas fatais grandes prejuízos pelo alagamento de vias, aprisionamento de veículos e inundações de edificações.

Miguez e Magalhães (2010) percebem o impedimento ou a restrição da ocupação das planícies de inundação como a mais importante medida não estrutural. O zoneamento das áreas de

inundação é um importante instrumento para mitigar os efeitos danosos de uma enchente de maior porte. Além disso, de acordo com Canholi (2005), o zoneamento permite a definição de uma regulamentação para a construção, ou obras de proteção individual (instalação de comportas, portas-estanques, etc) para serem incluídas em construções existentes.

O seguro de inundação consiste em uma apólice de seguro cujo valor é estipulado com base no risco associado às cheias que podem vir a acontecer em zonas sujeitas a inundações decorrentes de enchentes. Assim, é um procedimento preventivo que permite a aquisição de uma proteção econômica para os danos associados a eventos de cheias. Porém, Tucci (2007) atenta para os casos em que as áreas de risco são ocupadas pela população de baixa renda, tornando a implementação do seguro inviável, seja pela incapacidade dos moradores de pagar o prêmio, seja pelo baixo valor dos imóveis a serem segurados. A Tabela 3 classifica e resume as principais medidas compensatórias não estruturais de controle do escoamento na fonte.

Tabela 3 – Categorias de medidas não estruturais

<b>Principais categorias</b>	<b>Medidas não estruturais</b>
Educação pública	Educação pública e disseminação do conhecimento
Planejamento e manejo da água	Equipe técnica capacitada Superfícies com vegetação Áreas impermeáveis desconectadas Telhados verdes Urbanização de pequeno impacto
Uso de materiais e produtos químicos	Uso de produtos alternativos não poluentes Práticas de manuseio e de armazenamento adequadas
Manutenção dos dispositivos de infiltração nas vias	Varrição das ruas Coleta de resíduos sólidos Limpeza dos sistemas de filtração Manutenção das vias e dos dispositivos Manutenção dos canais e cursos d'água
Controle de conexão ilegal de esgoto	Medidas de prevenção contra a conexão ilegal Fiscalização: detecção, retirada e multa Controle do sistema de coleta de esgoto e de tanques sépticos
Reúso de água pluvial	Jardinagem e lavagem de veículos Sistema predial Fontes e lagos

Fonte: Adaptado de Righetto; Moreira; Sales (2009).

### 2.2.2.2 Medidas estruturais

As medidas estruturais compreendem as obras de engenharia, são medidas que modificam o sistema de drenagem, evitando os prejuízos decorrentes das inundações, podendo estar relacionadas à infiltração e percolação das águas, ao armazenamento e ao aumento da eficiência do escoamento (TUCCI e GENZ, 1995). Tucci (1995) estabelece uma classificação para as medidas estruturais de acordo com a sua atuação na bacia, dividindo-as em medidas distribuídas, na microdrenagem e na macrodrenagem:

- Distribuídas: é o controle que atua sobre o lote, praças e passeios.
- Na microdrenagem: é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos.
- Na macrodrenagem: é o controle que atua sobre os rios e canais.

A Tabela 4 dispõe a função e o efeito das principais técnicas estruturais de drenagem compensatória, que serão detalhadas a seguir.

Tabela 4 – Funções e Efeitos das Principais Medidas Compensatórias

<b>Obra</b>	<b>Característica Principal Função</b>	<b>Função</b>	<b>Efeito</b>
<b>Pavimento Poroso</b>	Pavimento com camada de base porosa como reservatório	Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas
<b>Trincheira de infiltração</b>	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente
<b>Vala de infiltração</b>	Depressões lineares em terreno permeável	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha
<b>Poço de infiltração</b>	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado na área contribuinte ao poço
<b>Micro-reservatório</b>	Reservatório de pequenas dimensões	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas
<b>Telhado reservatório</b>	Telhado com função reservatório	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação
<b>Bacia de detenção</b>	Reservatório vazio (seco)	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
<b>Bacia de retenção</b>	Reservatório com água permanente	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
<b>Bacia subterrânea</b>	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
<b>Condutos de armazenamento</b>	Condutos e dispositivos com função de armazenamento	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente à macro-drenagem
<b>Faixas gramadas</b>	Faixas de terreno marginais a corpos d'água	Áreas de escape para enchentes	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais

Fonte: Restrepo (2010).

### a) Pavimento permeável

O pavimento permeável é considerado um dispositivo de infiltração, se em solo com boa capacidade de infiltração, onde o escoamento superficial é desviado através da superfície do pavimento para um reservatório/camada (colchão) de pedra ou areia, que se localiza entre o solo e a superfície do pavimento. Para locais com solo de baixa capacidade de infiltração, o pavimento permeável pode ser utilizado como microrreservatório de retenção (ARAÚJO *et al.*, 2000).

Pode-se afirmar ainda, que os pavimentos permeáveis podem promover a recarga do lençol freático e a melhora significativa da qualidade da água que infiltra pelo subsolo, apesar de apresentar a possibilidade de contaminação do lençol freático, provavelmente desprezível (SCHUELER, 1987).

Estudos demonstram a boa eficiência no desempenho dos pavimentos permeáveis quanto à redução do escoamento superficial, consequentemente, redução do tempo e da vazão de pico. Para Costa Júnior (2003), a eficiência depende diretamente de cuidados de manutenção, a fim de se impedir o processo de colmatação.

Figura 3 – Pavimento permeável



Fonte: Urbonas e Stahre (1993).



## **b) Trincheiras de infiltração**

Lima (2009) define trincheiras como técnicas compensatórias lineares, implantadas junto à superfície ou a pequena profundidade, com finalidade de recolher as águas pluviais de afluência perpendicular a seu comprimento, favorecendo a infiltração. A geometria longa e estreita objetiva reduzir a área de base, que tende a colmatar devido às partículas sólidas presentes na água infiltrada, ao mesmo tempo em que aumenta a relação entre a principal área de infiltração (os lados) e o volume de armazenamento (Mikkelsen et al., 1996).

De acordo com Feitosa (2015), as trincheiras de infiltração ajudam na recarga do aquífero, reduzem o risco de inundação, e de poluição das águas superficiais, podendo eliminar o uso de redes de macrodrenagem no local. As trincheiras de infiltração são implantadas em áreas com espaços limitados, a exemplo de calçadas, rodovias, lotes residenciais e estacionamentos (DUCHENE; MCBEAN; THOMSON, 1994).

Figura 4 – Trincheira de infiltração



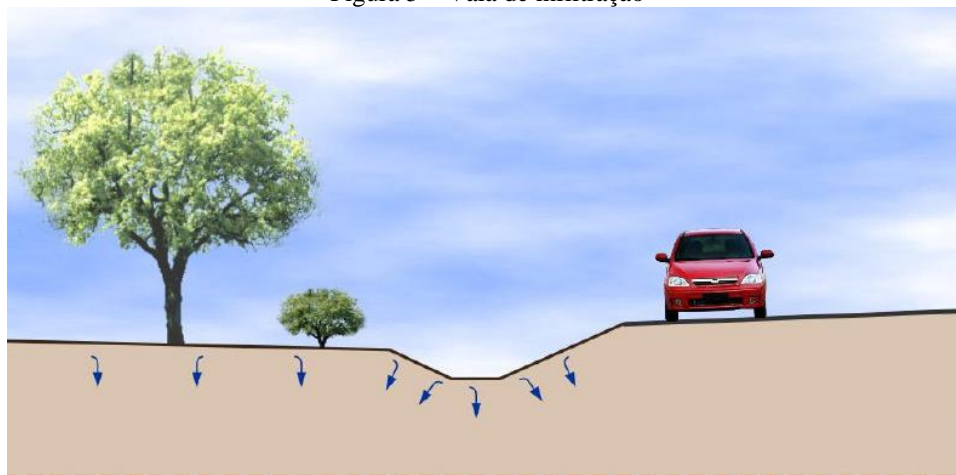
Fonte: Gutierrez et al. (2010); Moura (2004).

## **c) Valas de infiltração**

São dispositivos que concentram o fluxo de águas de áreas adjacentes impermeabilizadas, promovendo a infiltração ao longo do seu comprimento, de forma que possam agir como canais, armazenando e transportando as águas para outros dispositivos de drenagem ou diretamente para o corpo receptor (TUCCI; BERTONI, 2003).

As valas são caracteristicamente obras de grande largura e baixa declividade no sentido longitudinal, escavadas na terra, com pequenas profundidades (BRITO, 2006). Durante eventos de pequena magnitude, as valas também promovem a filtragem do escoamento superficial com a remoção de sólidos em suspensão e outros poluentes (URBONAS; ROESNER, 1992).

Figura 5 – Vala de infiltração



Fonte: Pinto (2011).

#### **d) Microrreservatórios**

Estas estruturas compreendem pequenos reservatórios, que usualmente podem ser implantados no próprio lote, cuja função principal é o armazenamento de volumes de chuva, contribuindo para o amortecimento do pico de cheia. Outra característica de grande importância é a possibilidade de utilização do volume de água armazenado para outros fins, como: irrigação de jardins e lavagens de superfícies (TOMINAGA, 2013).

São dispositivos que proporcionam o recolhimento das águas de escoamento superficial, culminando em um amortecimento das vazões ao longo do tempo. O custo de manutenção, segundo Moura (2004), envolve limpeza semestral e recuperação eventual das alvenarias, e a vida útil estimada por este autor para a estrutura é de 30 anos.

### e) Cisternas

Cisternas são tanques construídos para armazenar imediatamente as águas de chuva captadas em uma superfície próxima. No meio rural, são empregadas para atender às necessidades dos usos domésticos da água, que deve ter qualidade compatível com os padrões de potabilidade (ANDRADE NETO, 2016). A cisterna de placas, fabricada com placas de concreto e arame liso, rebocada por dentro e por fora, é até hoje a mais construída no Nordeste (Figura 6).

Figura 6 – Cisterna de placas



Fonte: Ecodebate (2012).

Figura 7 – Cisterna de polietileno



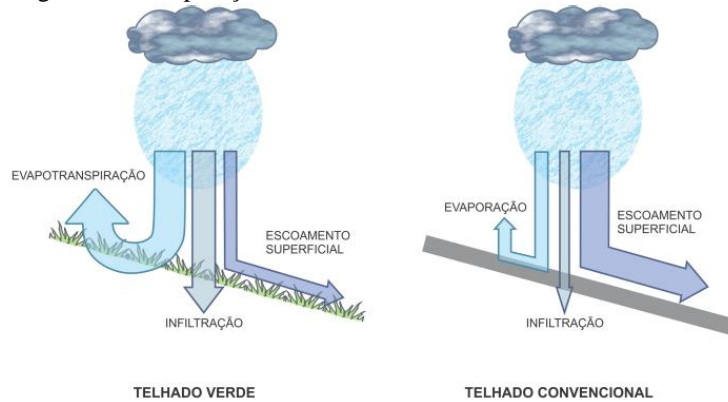
Fonte: Leal (2012).

### f) Telhados verdes

São estruturas que podem retardar provisoriamente as águas de chuva e, dessa forma permitir seu encaminhamento a rede de drenagem ou a outro exutório posteriormente a chuva, ou durante a mesma, na medida em que o solo satura e sua capacidade de armazenamento diminui. Sua capacidade de armazenamento é limitada as dimensões do telhado (PINTO, 2011).

Os telhados verdes favorecem a evapotranspiração e a infiltração e agem como limitante da impermeabilização no ambiente urbano, reduzindo parte do escoamento superficial, como pode ser observado na Figura 8 (PAOLETTI, 2012).

Figura 8 – Comparação entre telhado convencional e telhado verde



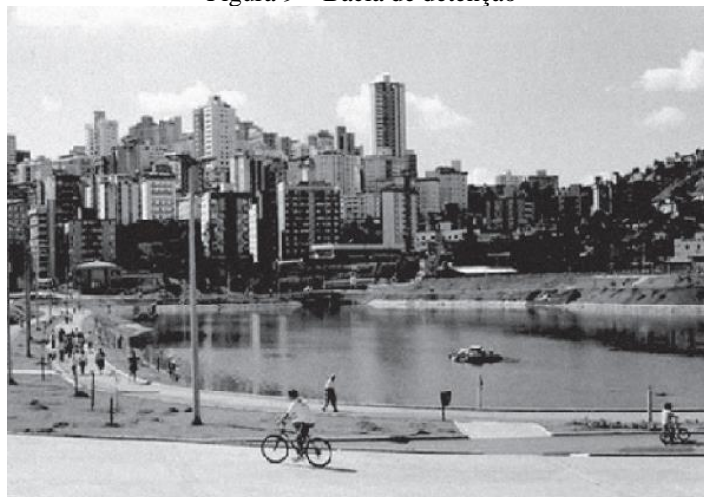
Fonte: Ohnuma Júnior (2008).

### g) Bacias de retenção

Os reservatórios de retenção não reduzem significativamente o volume de escoamento superficial, mas atuam sobre a vazão de pico, reduzindo e estendendo os períodos de recessão dos hidrogramas de cheia (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

Podem ser divididas em: (i) Bacias de retenção (para reservação temporária da água); (ii) Bacias de infiltração (para infiltração de toda a água nelas recolhida – volume de escoamento a jusante nulo); e (iii) Bacias de retenção e infiltração (combinação das características das anteriores, que proporcionam um rearranjo temporal das vazões e uma redução no volume de escoamento).

Figura 9 – Bacia de retenção



Fonte: Righetto, Moreira, Sales (2009).

## **h) Poços de infiltração**

São considerados dispositivos pontuais, de controle na fonte, normalmente com forma circular de pequena dimensão horizontal e com profundidade definida em função das características do solo, tendo como função amortecer o pico de vazão do hidrograma de escoamento superficial do lote ou da área edificada, com o objetivo de restabelecer o balanço hídrico natural (ALMEIDA, 2014).

De acordo com Baptista *et al.* (2005), a infiltração das águas de drenagem pelo poço de infiltração contribui para alimentação da vegetação circundante e para a recarga do lençol freático.

Apresenta baixo custo de implantação, boa integração com o meio urbano, sem grandes restrições relacionadas à topografia. Necessita de manutenção regular, já que as superfícies de infiltração podem colmatar ao longo do tempo (CASTRO, 2002).

## 2.3 O MODELO SWMM

O modelo SWMM (Storm Water Management Model) é um modelo de armazenamento/hidrodinâmico desenvolvido pela Metcalf & Eddy Inc., Universidade da Flórida, e a Water Resource Engineers. O SWMM é considerado o mais detalhado e abrangente modelo de simulação de cenários para eventos de escoamento através de tubulações e estruturas de armazenamento/tratamento, a partir disso pode ser aplicado para períodos longos de simulação (LIMA, 2011).

O modelo é bastante difundido e de uso consolidado, utilizado em planejamento, análise e projetos ligados ao escoamento superficial e sistemas de drenagem, contemplando também aplicações voltadas a áreas não urbanas (ROSSMAN, 2010).

Trata-se basicamente de um modelo dinâmico chuva-vazão amplamente utilizado para planejamento, análise e projetos de sistemas de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas (ROSSMAN, 2010).

Huber & Dickinson (1992) apresentam a estrutura do modelo em nove blocos ou módulos, sendo quatro computacionais e cinco de serviços, além do módulo *Executive*, que determina a organização da ordem das simulações. Dentre os módulos computacionais estão:

- *Runoff*: responsável pela transformação chuva-vazão, ou seja, à geração do escoamento superficial;
- *Transport*: responsável pela propagação do escoamento através da rede de drenagem pelo método da onda cinemática;
- *Extran*: responsável pela modelagem hidrodinâmica em condutos e canais;
- *Storage / Treatment*: responsável pelo tratamento e armazenamento da água.

Os módulos computacionais desenvolvem as principais rotinas de cálculo, e são auxiliados pelos módulos de serviço:

- *Statistics*: dedicado às análises estatísticas dos resultados;
- *Graph*: possibilita a apresentação dos dados de saída em forma de gráfico;
- *Combine*: possibilita a combinação de arquivos de interface;
- *Rain*: dedicado à avaliação dos dados de entrada de precipitações;
- *Temperature*: dedicado à verificação dos dados de entrada de temperatura.

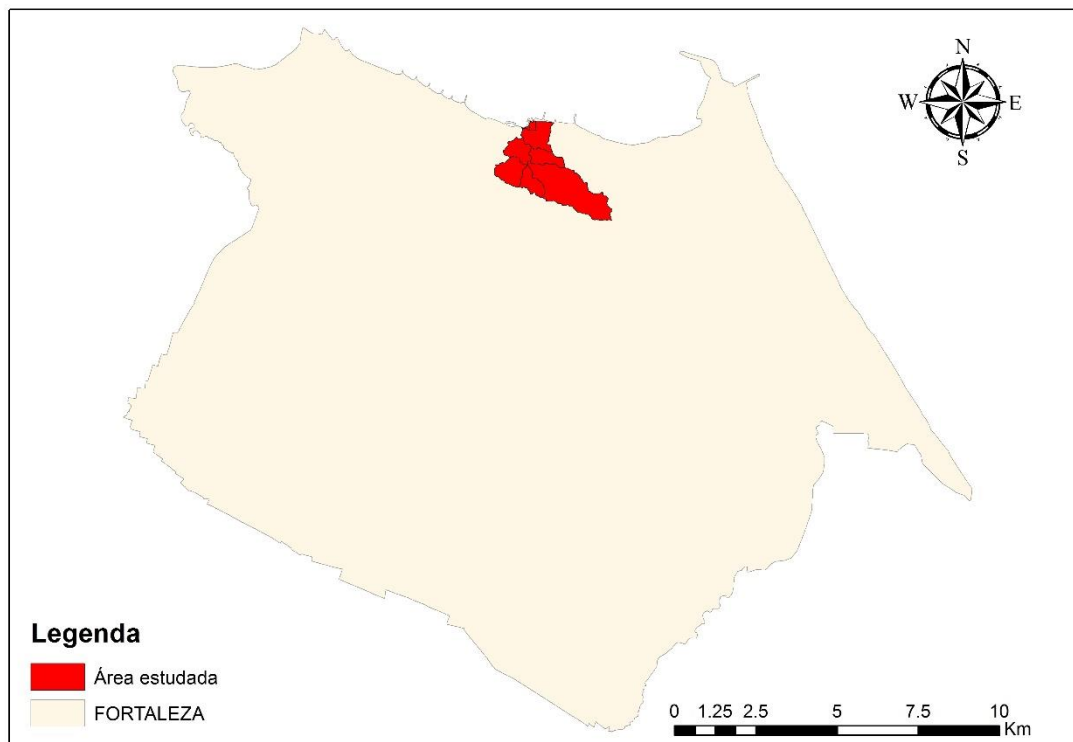
### 3 ÁREA DE APLICAÇÃO

O município de Fortaleza se encontra na região Nordeste do Brasil e pertence a mesorregião Metropolitana de Fortaleza, possuindo uma área territorial de 314,930 km<sup>2</sup> e uma população de 2.609.716 pessoas, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O Riacho Pajeú está localizado na Bacia Vertente Marítima, e juntamente com o Lago da Cidade da Criança (local onde passa em galeria subterrânea), é o principal elemento macro-drenante da sub-bacia A3, de acordo com o Inventário Ambiental de Fortaleza (CEARÁ, 2003).

Sua nascente, hoje aterrada para implantação de edifícios sobre o leito natural, situa-se no quarteirão formado pelas ruas Silvia Paulet, José Vilar, Bárbara de Alencar e Dona Alexandrina (DEMES; MOTA, 2013). A bacia hidrográfica formada pelo riacho Pajeú compreende boa parte do bairro Centro. O mapa da Figura 10 destaca a localização da área estudada.

Figura 10 – Localização da área estudada



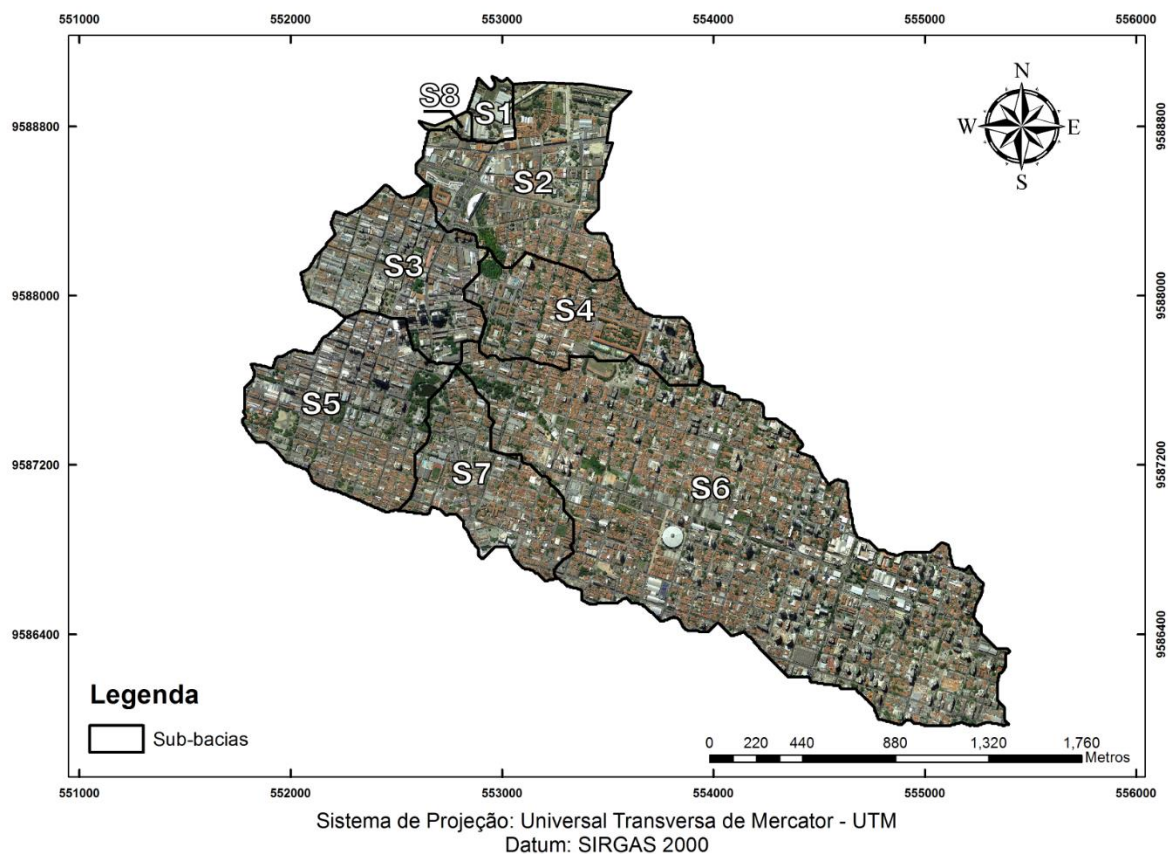
Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
Datum: SIRGAS 2000

Fonte: Elaborada pela autora.



A bacia foi escolhida pela importância histórica, visto que o riacho Pajeú proporcionou o povoamento da cidade de Fortaleza, servindo de recurso hídrico fundamental para o estabelecimento da população. Além disso, a área delimitada por essa bacia possui grande densidade populacional e problemas decorrentes da urbanização, destacando-se o mau funcionamento do sistema de drenagem durante eventos de inundação. O mapa da Figura 11 representa a bacia estudada.

Figura 11 – Divisão da Bacia do Pajeú em Sub-bacias

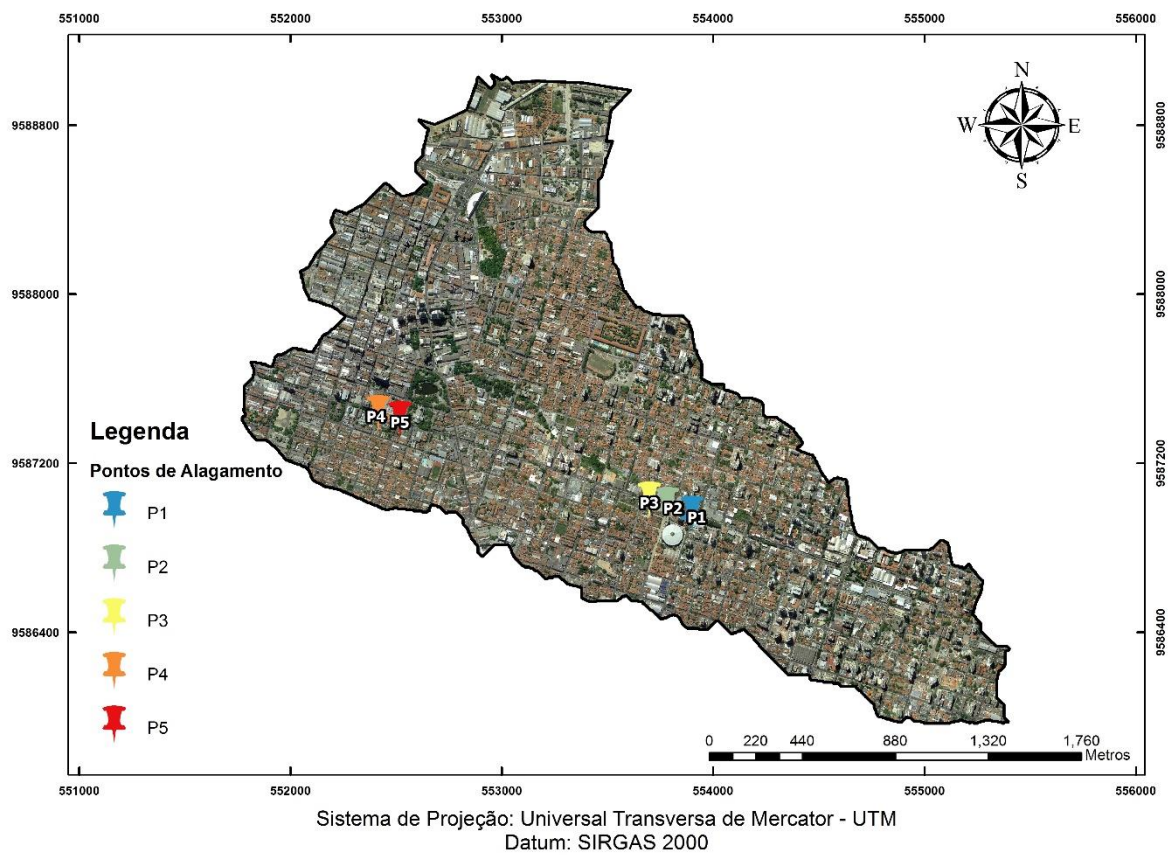


Fonte: Elaborada pela autora.

O mapa apresentado na Figura 12 indica alguns dos principais pontos de alagamento da Bacia do Pajeú durante eventos de inundação. A Figura 13, que representa o ponto P1, correspondente ao cruzamento da Avenida Heráclito Graça com a Rua Idelfonso Albano, foi registrada em abril de 2016, após uma chuva de 73,4 milímetros e destaca uma das principais consequências desses eventos, os acidentes de trânsito.



Figura 12 – Pontos de alagamento da bacia



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 13 – Registro de inundação no ponto P1



Fonte: Xerez; Sobral (2016).

O ponto P2, correspondente ao cruzamento da Avenida Heráclito Graça com a Rua Antônio Augusto, está representado na Figura 14, onde pode ser observada outra ocorrência bastante comum diante de eventos desse tipo, referente a problemas de mobilidade dos moradores e pedestres.

Figura 14 – Registro de inundação no ponto P2



Fonte: Narlla (2016).

Figura 15 – Registro de inundação no ponto P3



Fonte: Santos (2015).

O ponto P3, localizados no cruzamento da Avenida Heráclito Graça com a Rua João Cordeiro, está representado nas Figuras 15 (registrada em 2015) e 16 (registrada em 2012). Os pontos de alagamento P4 e P5 encontram-se no cruzamento da Avenida Duque de Caxias com a Rua Assunção e no cruzamento da Avenida Duque de Caxias com a Rua Solon Pinheiro, respectivamente.

Figura 16 – Registro de inundação no ponto P3



Fonte: Aderaldo (2012).

## 4 METODOLOGIA

Nesta seção apresenta-se a metodologia que foi utilizada nessa pesquisa, assim como os procedimentos adotados para simular os dois cenários de estudo. O presente trabalho de pesquisa é de natureza computacional, para o qual foi utilizada a seguinte ferramenta:

- SWMM 5.1.010 – Storm Water Management Model, modelo de simulação chuva-vazão.

### 4.1 Cálculo da chuva de projeto

Segundo Bertoni e Tucci (1997), a precipitação máxima, ou chuva intensa, é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área ou bacia hidrográfica.

A precipitação é inserida no programa a partir de uma estação pluviométrica (Rain Gage), a qual é a mesma para todas as sub-bacias. Nessa estação, foi então selecionada a chuva de projeto. As simulações foram feitas para um período de 24 horas e foi utilizada uma chuva de projeto com 4 horas de duração. Foi utilizada a equação IDF para a cidade de Fortaleza proposta por Silva, Palácio e Campos (2013):

$$i = \frac{2345,29 * T^{0,173}}{(t + 28,31)^{0,904}} \quad (1)$$

Onde:

i = intensidade média de chuva em mm/h;

t = duração da chuva em minutos;

T = período de retorno da precipitação em anos.

Os períodos de retorno recomendados pela literatura estão dispostos na Tabela 5. Observa-se que para obras de microdrenagem, são utilizados períodos de retorno entre 2 e 10 anos. A fim de analisar o padrão de escoamento superficial da região ocupada pela bacia do Pajeú, que compreende áreas comerciais e residenciais, e considerando uma possível mudança no padrão de ocupação da bacia, foram feitas simulações para 5, 10, 20 e 50 anos de tempo de retorno.

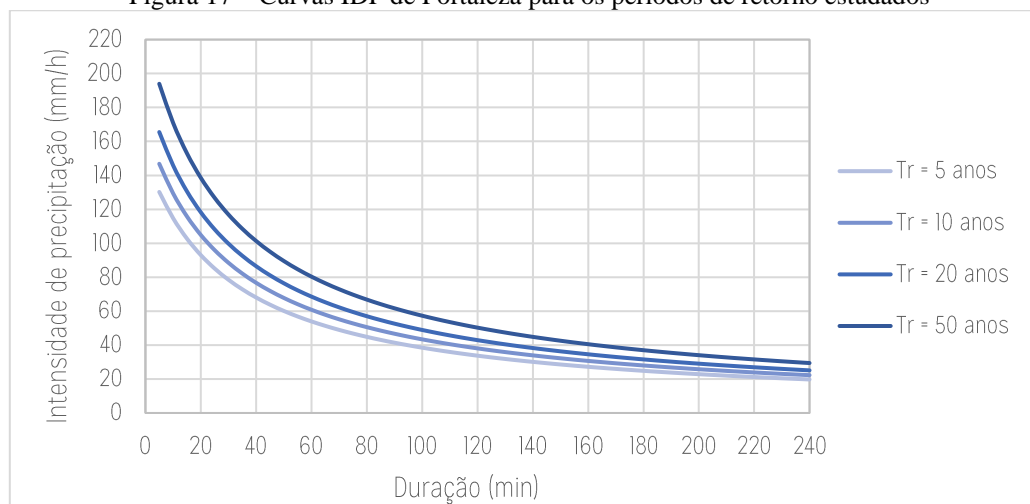
Tabela 5 – Períodos de retorno para diferentes ocupações

Tipo de obra	Tipo de ocupação de área	Período de retorno (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Área 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 com importâncias específicas	500

Fonte: DAEE/CETESB (1980).

A partir da definição desses parâmetros, foi possível construir as curvas IDF correspondentes aos períodos de retorno escolhidos, expostas na Figura 17.

Figura 17 – Curvas IDF de Fortaleza para os períodos de retorno estudados



Fonte: Elaborada pela autora.

O tempo de concentração da bacia foi calculado a partir da equação proposta por Watt e Chow, publicada em 1985 (Dingman, 2002):

$$t_c = 7,68 * \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,79} \quad (3)$$

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do curso d'água principal em km;

S = declividade do curso d'água principal.

Os parâmetros necessários para calcular o tempo de concentração para cada sub-bacia estão dispostos na Tabela 6.

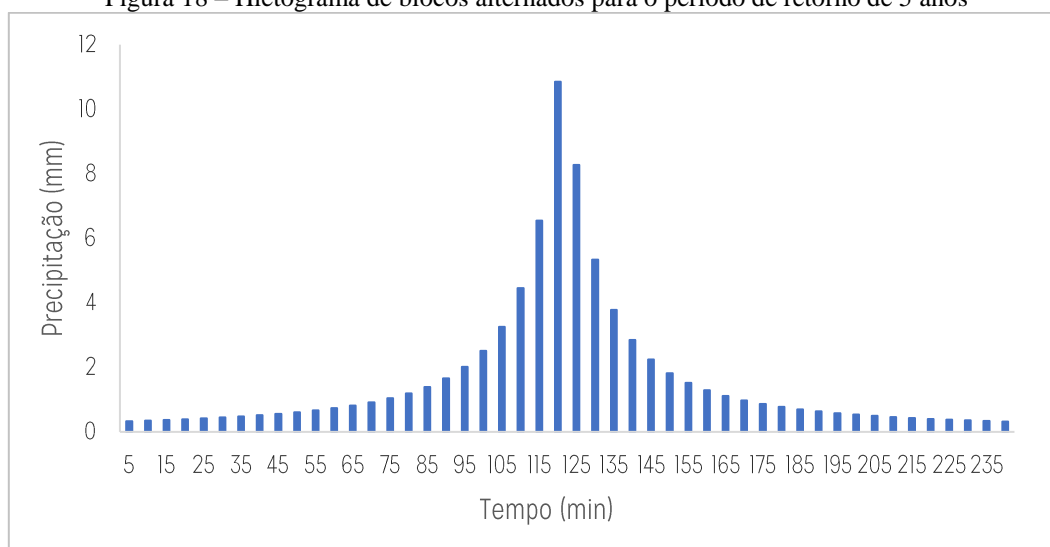
Tabela 6 – Cálculo do tempo de concentração

Nome	%Impermeabilização	Comprimento (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Comprimento (km)	Declividade	Tempo de Concentração (min)
S1	50.02	770.3	136000	0.18	0.007	13.85
S2	54.76	2502.6	1438000	0.57	0.02	23.25
S3	62.81	2174.1	1085000	0.50	0.014	23.94
S4	45.35	2088	1001000	0.48	0.01	26.49
S5	60.15	2509.1	1445000	0.58	0.009	31.92
S6	55.71	4894.1	5498000	1.12	0.015	44.23
S7	61.10	2044	959000	0.47	0.01	26.04
S8	24.16	391.1	35000	0.09	0.02	5.35
<b>TOTAL</b>						195.08

Fonte: Elaborada pela autora.

A distribuição temporal para o evento de projeto foi feita com o Método dos Blocos Alternados com intervalos de tempo iguais a 5 minutos, de forma que a posição do pico da chuva foi colocada a 50% da duração do evento, como pode ser visto no gráfico abaixo, que representa o hietograma correspondente a um período de retorno de 5 anos.

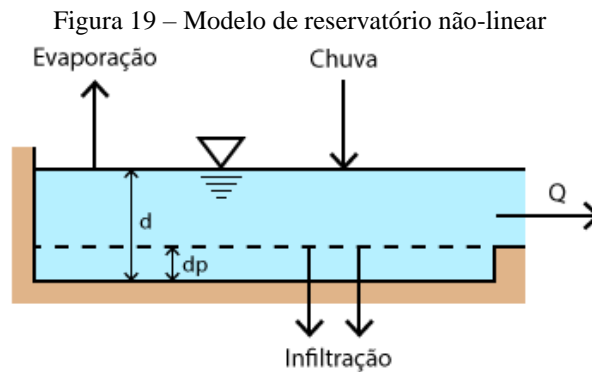
Figura 18 – Hietograma de blocos alternados para o período de retorno de 5 anos



Fonte: Elaborada pela autora.

## 4.2 Modelo chuva-vazão SWMM

O modelo chuva-vazão do SWMM considera o escoamento superficial como se cada sub-bacia fosse um reservatório não linear (Figura 19) de largura  $W$  e capacidade  $d_p$ . As entradas de vazão resultam da precipitação e possíveis afluições de outras subáreas à montante. Existem diversas saídas de vazão: infiltração, evaporação e escoamento superficial. Caso o total precipitado exceda a capacidade  $d_p$ , haverá então o escoamento superficial  $Q$ . A capacidade deste “reservatório” é a capacidade de armazenamento máxima em depressões, resultante de alagamentos, umidificações e intercepções.



Fonte: Adaptado de James et al. (2008)

Quando a capacidade de armazenamento do reservatório é excedida, a vazão de saída pode ser calculada através da equação de Manning (Equação 3).

$$Q = W \frac{1}{n} (d - d_p)^{\frac{5}{3}} S^{1/2} \quad (3)$$

Onde:

$W$  = largura da sub-bacia em metros;

$n$  = coeficiente de rugosidade de Manning em  $m \cdot s^{-1/3}$ ;

$d$  = profundidade da água no reservatório em metros;

$d_p$  = profundidade armazenamento em depressão em metros;

$S$  = declividade da sub-bacia em m/m.

Sabendo-se que a equação da continuidade para o reservatório pode ser calculada através da Equação 4:

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = Ai^* - Q \quad (4)$$

V = volume de água sobre a subárea em metros cúbicos;

t = tempo em segundos;

A = área da sub-bacia em metros quadrados;

i\* = chuva efetiva em metros por segundo;

Q = vazão em metros cúbicos por segundo.

Pode-se obter a profundidade da água no reservatório para cada passo de tempo do algoritmo, combinando a equação de Manning com a equação da continuidade e resolvendo a equação diferencial não linear através de processo iterativo de Newton Raphson (Equação 5).

$$\frac{dd}{dt} = i^* - \frac{W}{A \cdot n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (4)$$

Com relação ao processo de infiltração, que se refere a penetração da chuva na superfície do solo até a zona não saturada das áreas permeáveis, três modelos podem ser adotados para descrever esse fenômeno no SWMM: Horton, Green-Ampt e Curve Number. Os três métodos são descritos a seguir.

#### a) Horton

Este método se baseia em observações empíricas, mostrando que a infiltração decresce exponencialmente desde um valor inicial máximo até um certo valor mínimo ao longo do evento da chuva (ROSSMAN, 2010). A equação abaixo corresponde a expressão desenvolvida por Horton (1945) para a capacidade de infiltração no solo.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kft} \quad (5)$$

Onde:

$f$  = capacidade de infiltração no tempo em metros por segundo;

$f_c$  = capacidade mínima de infiltração em metros por segundo;

$f_0$  = capacidade de infiltração inicial em metros por segundo;

$t_s$  = tempo decorrido desde a saturação superficial do solo em segundos;

$k_f$  = coeficiente experimental de caída exponencial.

Os parâmetros de entrada correspondentes ao método de Horton são as taxas de infiltração máxima e mínima, o coeficiente de decaimento e o tempo necessário para que o solo saturado se torne completamente seco.

## **b) Green-Ampt**

Este método assume a existência de uma frente de umedecimento na coluna de solo, separando uma camada do solo com a umidade inicial de outra camada situada na parte superior onde o solo é saturado (ROSSMAN, 2010). A equação de Green-Ampt pode ser observada abaixo.

$$f = K \left( \frac{h + L_u - \phi_m}{L_u} \right) \quad (6)$$

Onde:

$f$  = capacidade de infiltração em metros por segundo;

$K$  = coeficiente e permeabilidade em metros por segundo;

$\phi_m$  = potencial matricial da frente de molhamento em metros;

$h$  = carga hidráulica em metros;

$L_u$  = distância entre a superfície e a frente de umidade em metros.

Os parâmetros de entrada correspondentes ao método de Green-Ampt são o valor do déficit inicial de umidade do solo, a condutividade hidráulica do solo e o potencial matricial na frente de umedecimento.



### **c) Método do SCS**

Este método é uma aproximação adotada a partir da denominada Curva-Número (CN) do NRCS (National Resources Conservation Service) para estimativa do escoamento superficial (ROSSMAN, 2010). A partir da tabela de CN, é possível estimar a capacidade total de infiltração do solo, que é reduzida durante um evento de chuva em função da precipitação acumulada.

Os parâmetros de entrada correspondentes ao método SCS são o número CN e o tempo necessário para que o solo saturado se torne completamente seco. Esse foi o método utilizado neste trabalho, de forma que o número CN utilizado foi 80, e o tempo de secagem do solo igual a 10 dias.

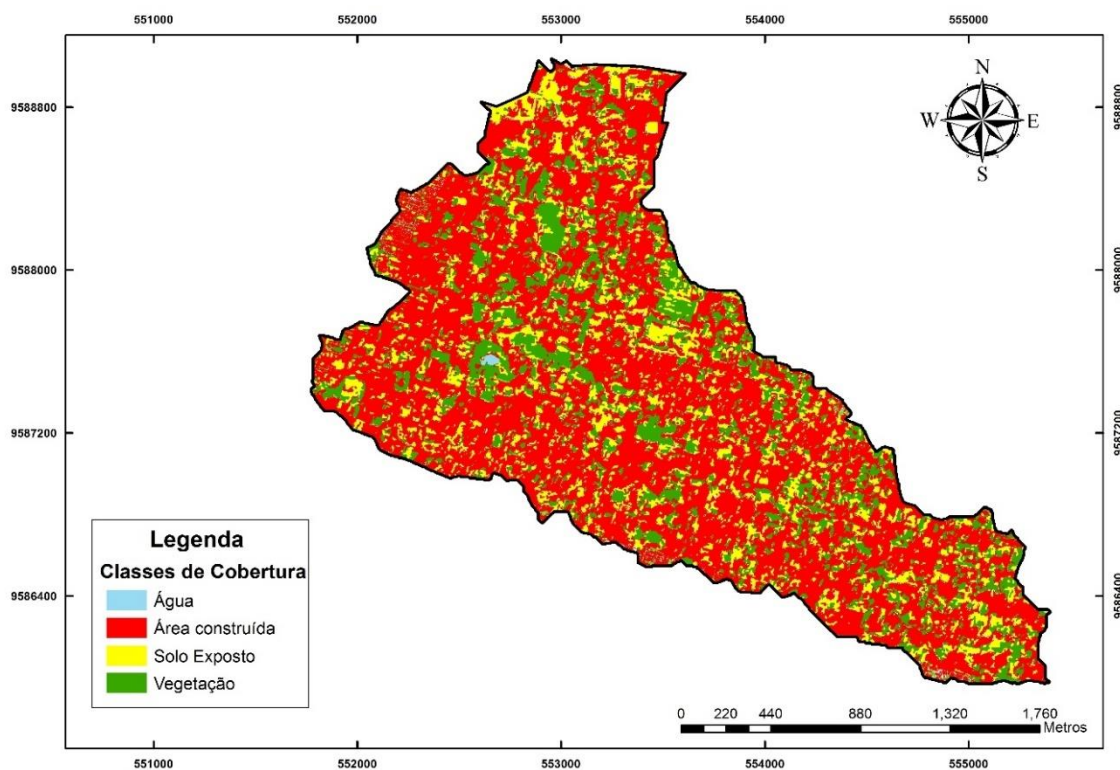
### 4.3 Avaliação de desempenho sem LID

Na primeira simulação realizada, foram analisados os efeitos do evento de chuva sobre a sub-bacia sem a influência de qualquer técnica de LID.

Foi feita uma classificação da cobertura do solo da bacia do Pajeú utilizando a ortofoto do município de Fortaleza do ano de 2010, através da versão 10.3.1 do software ArcMap. Primeiramente, foi utilizada a função *Image classification* e a ferramenta *Training sample manager*. Foram desenhados polígonos em cima das áreas correspondentes a cada classe e em seguida, os polígonos que representavam as mesmas classes foram unidos.

Em seguida, executou-se a ferramenta *Interactive supervised classification*. Na *Arctoolbox*, em *Spatial analyst tools – Generalization*, utilizou-se a função *Majority filter*, a fim de passar um filtro majoritário para limpar artefatos e pixel isolados que prejudicam a visualização da imagem. O mapa obtido está representado na Figura 20.

Figura 20 – Classificação da cobertura do solo na Bacia do Pajeú

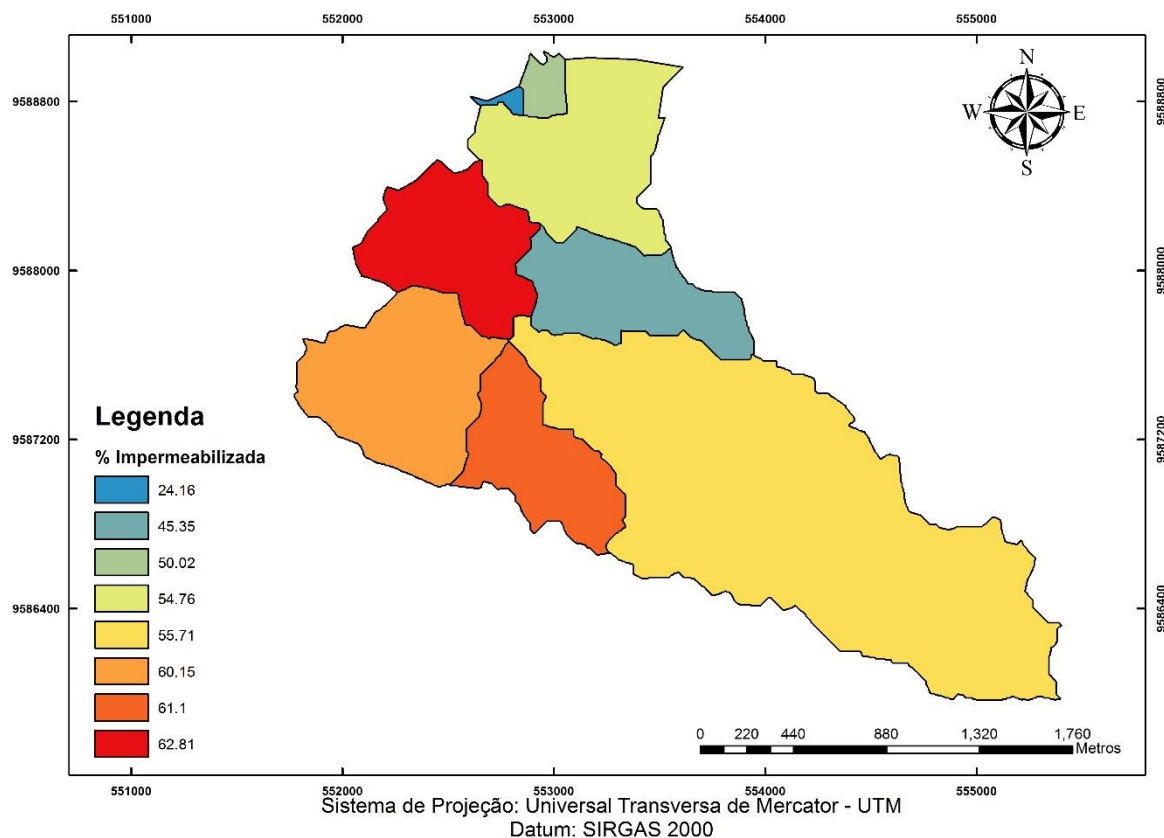


Sistema de Projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
Datum: SIRGAS 2000

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir da classificação da cobertura de solo detalhada acima, foi possível calcular a porcentagem de áreas impermeáveis em cada sub-bacia. Os valores utilizados para cada sub-bacia podem ser verificados no mapa da Figura 21.

Figura 21 – Mapa de impermeabilização das sub-bacias

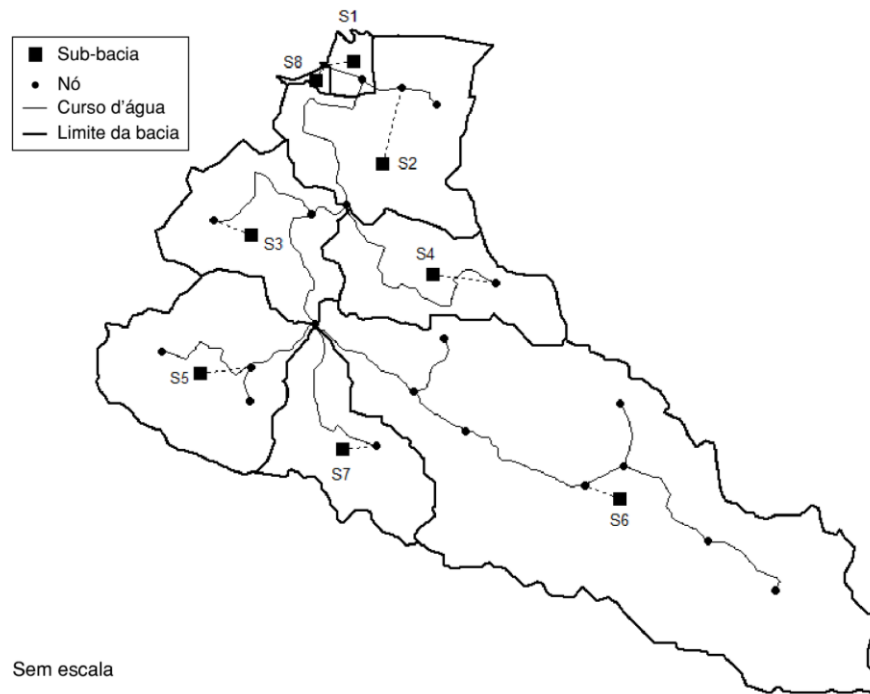


Fonte: Elaborada pela autora.

A bacia foi discretizada buscando a subdivisão da área em sub-bacias homogêneas. Com o auxílio do software Basins, da Environmental Protection Agency (EPA), foi realizada a discretização da bacia em 8 sub-bacias. A Figura 22 mostra a esquematização da bacia com nível de discretização detalhada.

Foram inseridos os dados de chuva de projeto, considerando os períodos de retorno de 5, 10, 20 e 50 anos. Os dados de precipitação, inseridos através de uma estação pluviométrica (Rain Gage), são os mesmos para todas as sub-bacias.

Figura 22 – Esquema das sub-bacias e canais utilizados na simulação



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.4 Avaliação de desempenho com LID: uso de cisternas

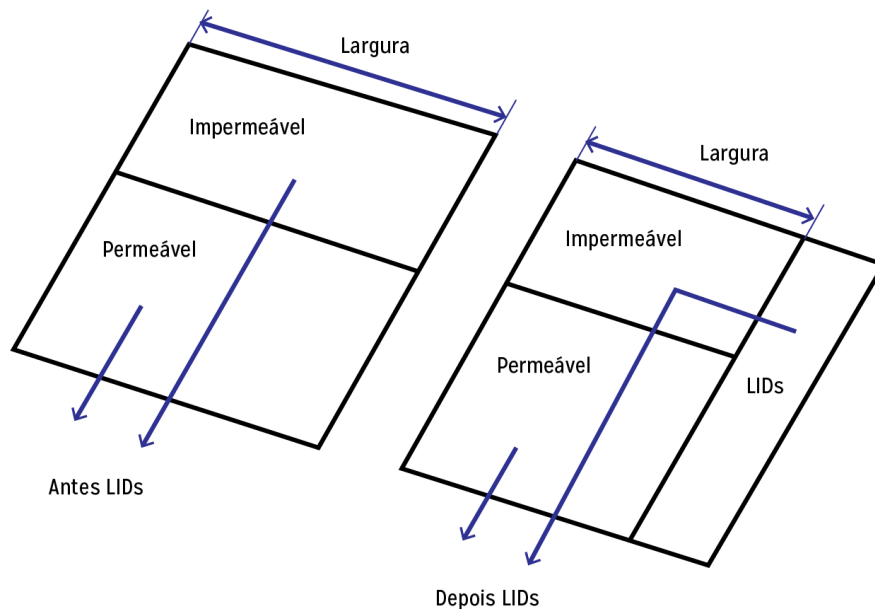
A fim de avaliar os efeitos do uso de cisternas na redução do pico de vazão, foram feitas simulações para diferentes porcentagens de cobertura LID: foram consideradas 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% de cobertura da área da bacia por cisternas.

O módulo de Controle por Dispositivos de Baixo Impacto (LID Controls) do SWMM é projetado para subtrair parte do escoamento superficial por meio de processos artificiais combinados de retenção, infiltração e evapotranspiração (ROSSMAN, 2010). O SWMM pode modelar cinco tipos de dispositivos LID: bacias de infiltração, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, cisternas e valas de infiltração sem drenos. Neste trabalho, a única técnica LID analisada foi o uso de cisternas.

Existem duas maneiras de introduzir controles por LIDs no software utilizado, que consistem em: colocar um ou mais dispositivo LID em uma sub-bacia ou criar uma nova sub-bacia exclusivamente para um dispositivo. Foi optado por simular a disposição das cisternas em cada uma das sub-bacias.

Após o posicionamento das cisternas nas sub-bacias, foi necessário ajustar o percentual de áreas impermeáveis em cada sub-bacia sob influência de dispositivo LID. Esse ajuste faz-se necessário a fim de compensar a área ocupada pelas cisternas, como pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 – Ajuste dos parâmetros da sub-bacia após a introdução de Controles por Dispositivos de Baixo Impacto (LIDs)



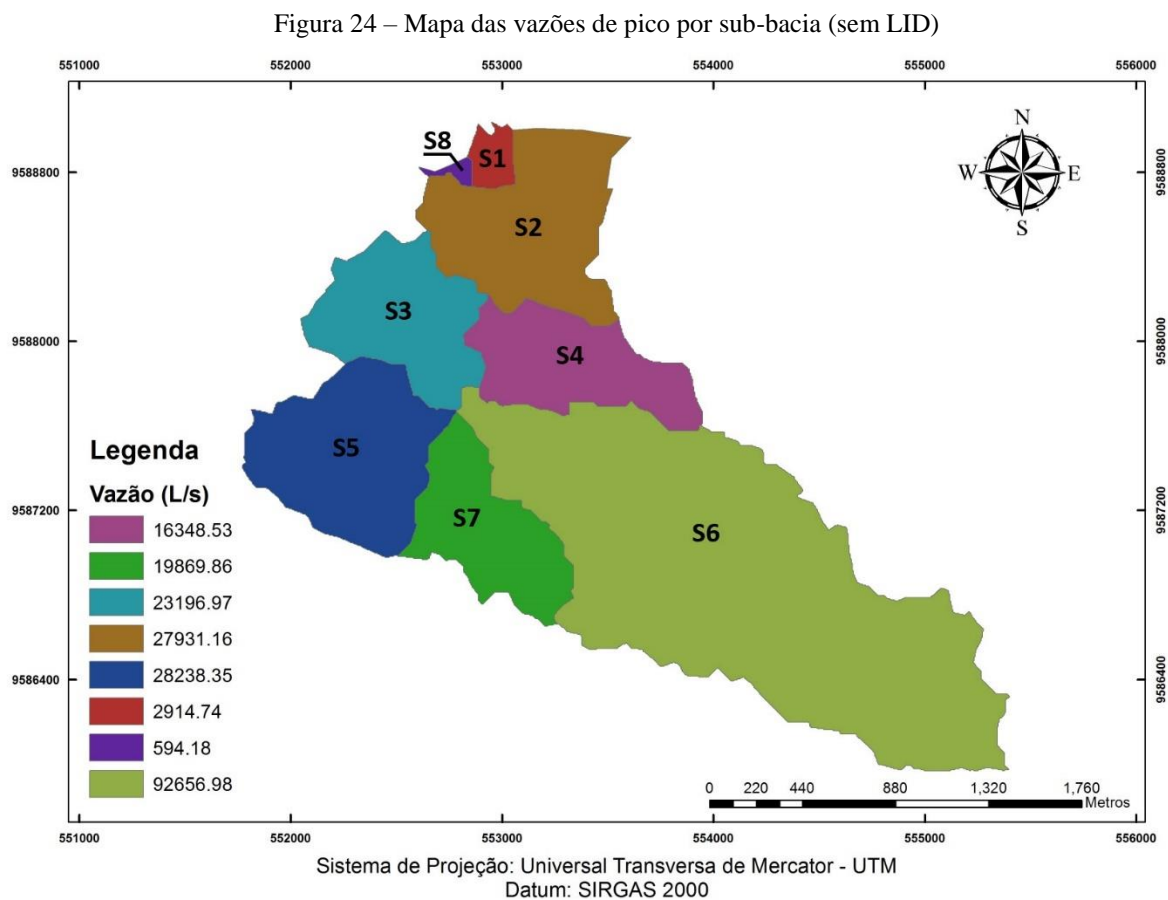
Fonte: Adaptado de Rossman (2010).

O Editor de Controles por Dispositivos de Baixo Impacto (LID) do SWMM representa os controles LID através da combinação de camadas verticais (camada superficial, camada pavimento, camada de solo, camada de armazenamento e dreno profundo). No caso das cisternas, são utilizadas apenas as camadas de armazenamento e dreno profundo, que representa a válvula de saída da cisterna.

Os parâmetros de entrada necessários foram apenas a altura da cisterna, igual a 600mm e a área ocupada por elas, que variou de 10 a 90%. Não foram analisados os efeitos da variação de altura da cisterna, já que o evento de chuva simulado não é longo o suficiente para preencher as cisternas. Pela mesma razão, optou-se pela não simulação da influência do uso de drenos nas cisternas.

## 5 RESULTADOS

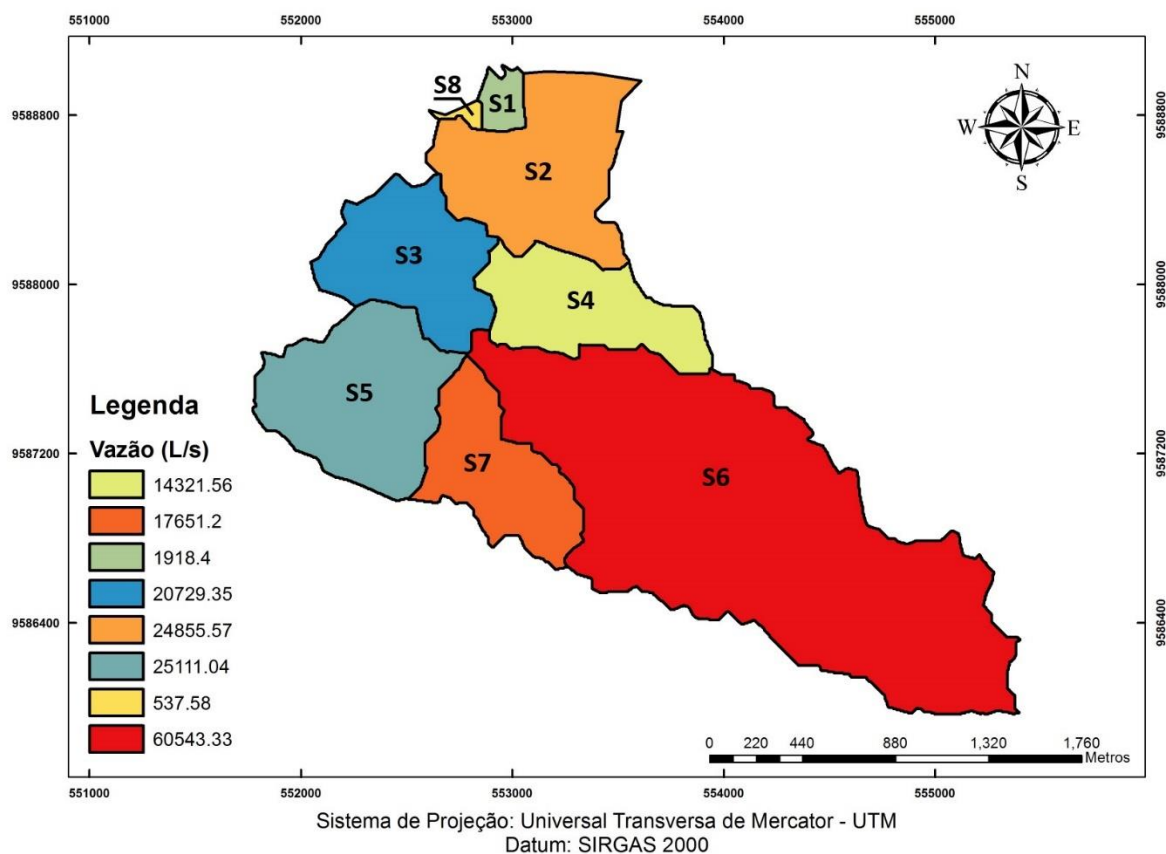
Após a simulação do evento de chuva, foram verificadas as vazões de pico em cada sub-bacia, sem a utilização de técnicas LID. Os valores de vazão obtidos para cada sub-bacia, considerando um período de retorno de 5 anos, podem ser verificados no mapa da Figura 24.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados obtidos foram comparados para uma situação onde 30% da área da bacia é coberta por cisternas, considerando o mesmo evento de chuva e um período de retorno de 5 anos. O mapa da Figura 25 representa os valores de pico de vazão associados a cada sub-bacia. Pode-se observar que houve uma considerável redução desses valores, quando comparados a situação anterior.

Figura 25 – Mapa das vazões de pico por sub-bacia (30% da bacia ocupada por cisternas)



Fonte: Elaborada pela autora.

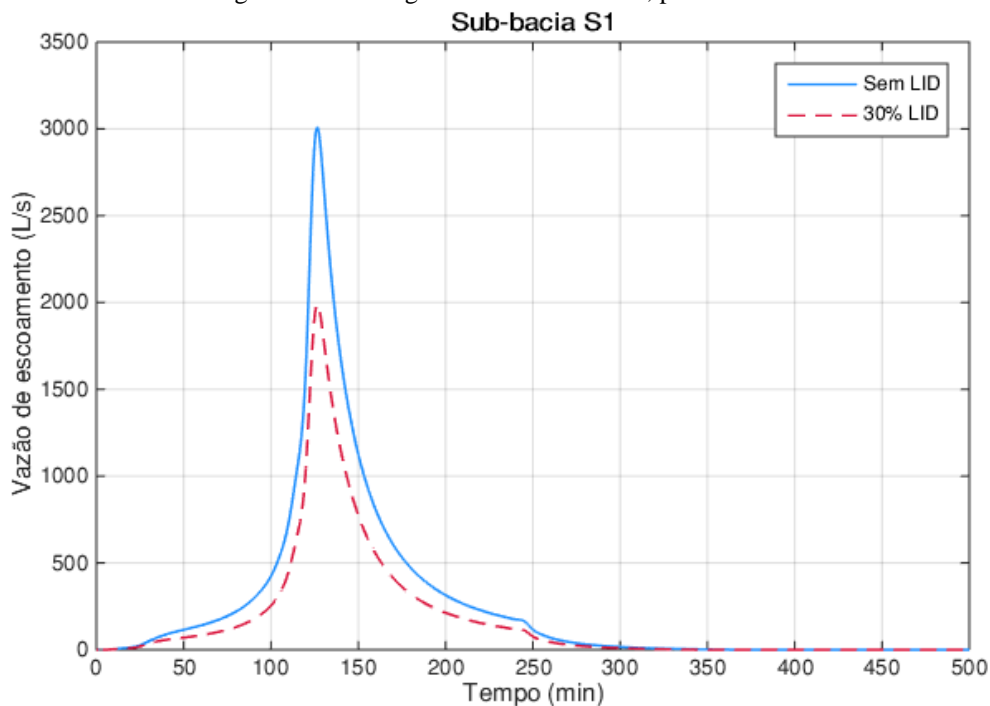
A Tabela 7 expõe os valores de vazão máxima obtidos para cada sub-bacia para as duas situações: com 30% da área ocupada por cisternas e sem nenhum dispositivo LID. Observa-se que as reduções de pico mais expressivas ocorreram nas sub-bacias S1 e S6. Os hidrogramas correspondentes as sub-bacias S1 e S6 estão representados nas Figuras 26 e 27.

Tabela 7 – Vazão de pico nas sub-bacias

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
<b>SEM LID</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	2914.74	27931.16	23196.97	16348.53	28238.35	92656.98	16869.86	594.18
<b>COM LID (30%)</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	1918.4	24855.57	20729.35	14321.56	25111.04	60543.33	17651.2	537.58
	<b>Redução da vazão</b>	34%	11%	11%	12%	11%	35%	11%	11%

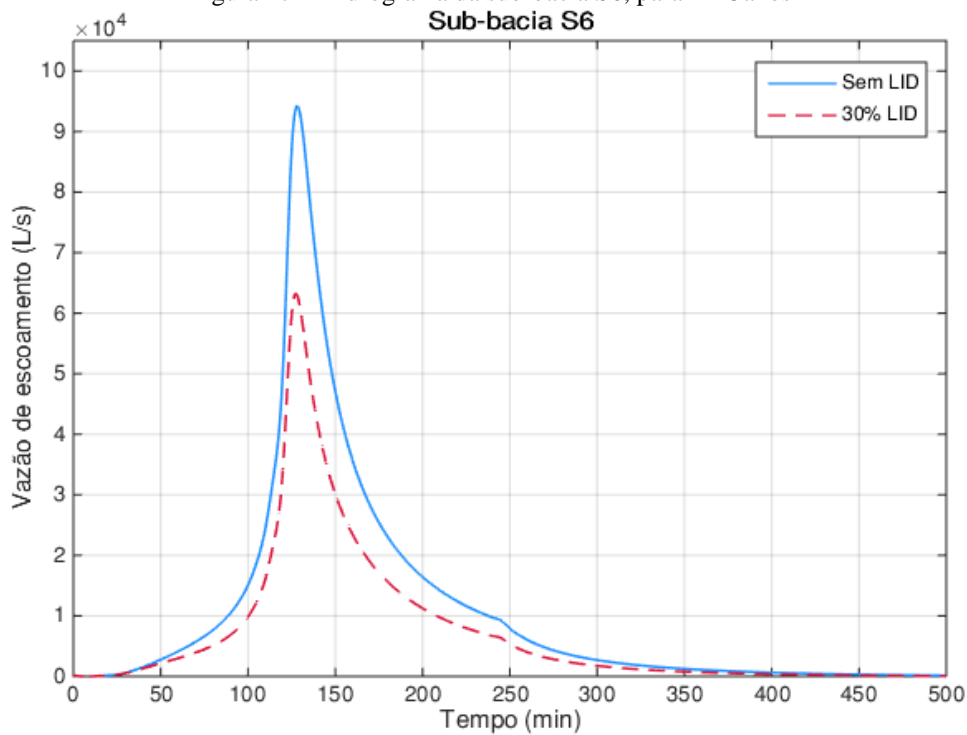
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 26 – Hidrograma da sub-bacia S1, para Tr=5anos



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 27 – Hidrograma da sub-bacia S6, para Tr=5anos



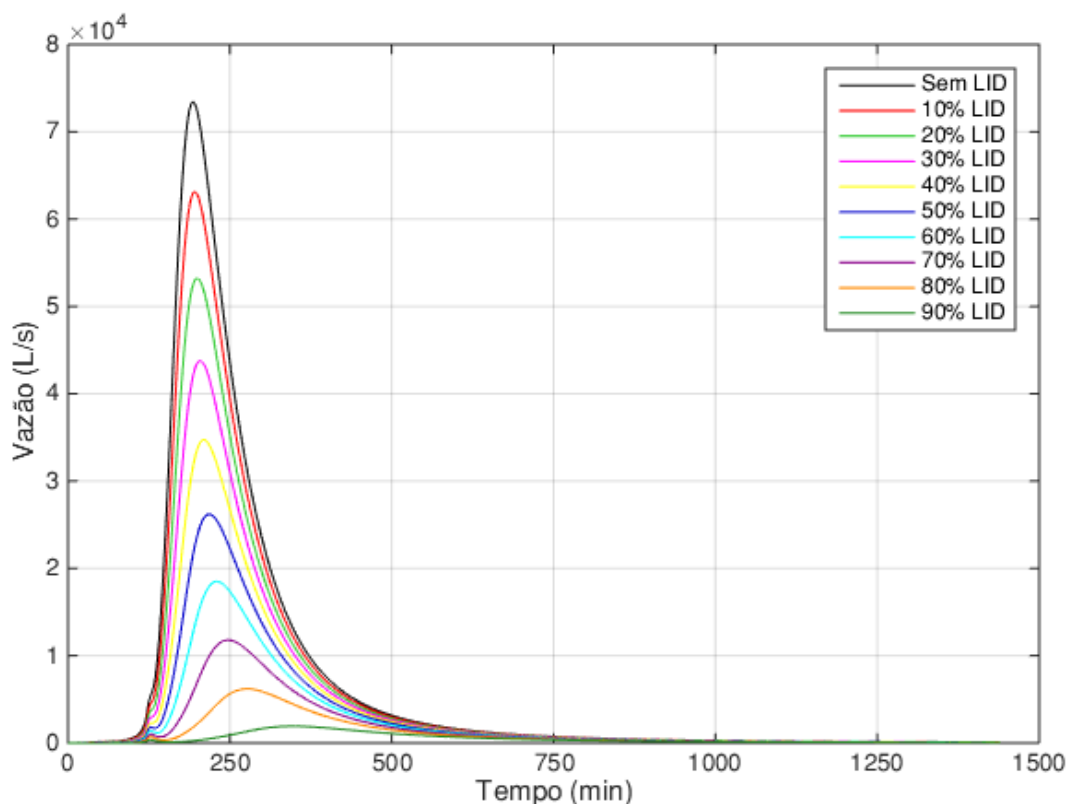
Fonte: Elaborada pela autora.



Também foram avaliados os efeitos do uso de cisternas na redução do pico de vazão do ponto exutório da bacia. O gráfico da Figura 28 representa a variação de pico de vazão nos hidrogramas do ponto exutório correspondentes a diferentes porcentagens de cobertura LID. Os hidrogramas foram gerados utilizando dados de uma chuva de projeto para um período de retorno de 5 anos.

A redução da vazão máxima de escoamento é bastante perceptível a medida que uma maior porcentagem de cisternas é utilizada na bacia. Observa-se que em uma situação na qual 90% da bacia está coberta por cisternas, o pico de vazão é quase anulado, o que é esperado, visto que nessa circunstância a bacia fica permeável praticamente em sua totalidade, reduzindo expressamente o volume de escoamento.

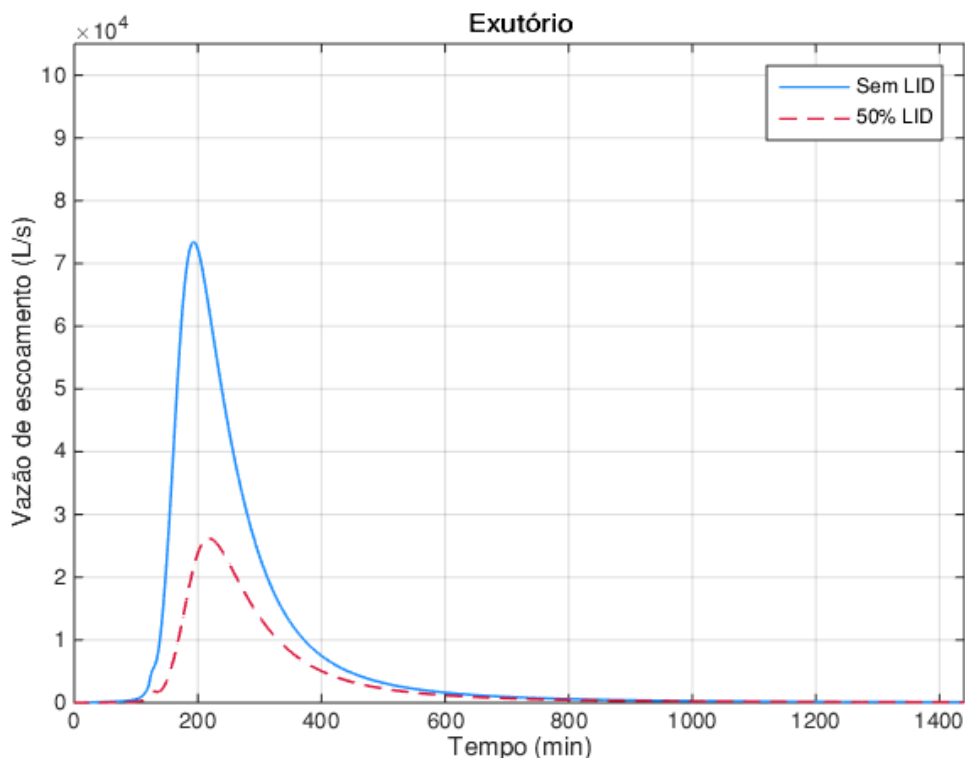
Figura 28 – Variação dos hidrogramas no ponto exutório sob diferentes ocupações LID, para  $T_r=5$ anos



Fonte: Elaborada pela autora.

Ainda considerando os efeitos do uso de cisternas na vazão de escoamento superficial no ponto exutório da bacia, pode-se verificar na Figura 29 o hidrograma correspondente a cobertura de 50% da bacia pelo dispositivo LID, também elaborado para um período de retorno de 5 anos.

Figura 29 – Hidrograma do ponto exutório, para Tr=5anos



Fonte: Elaborada pela autora.

Também foram feitas simulações para diferentes períodos de retorno. A Tabela 8 apresenta os valores de vazão máxima obtidos para os períodos de retorno de 5, 10, 20 e 50 anos, dispostos graficamente em termos percentuais de redução de vazão na Figura 30.

Tabela 8 – Vazões de escoamento máximas para diferentes períodos de retorno no ponto exutório

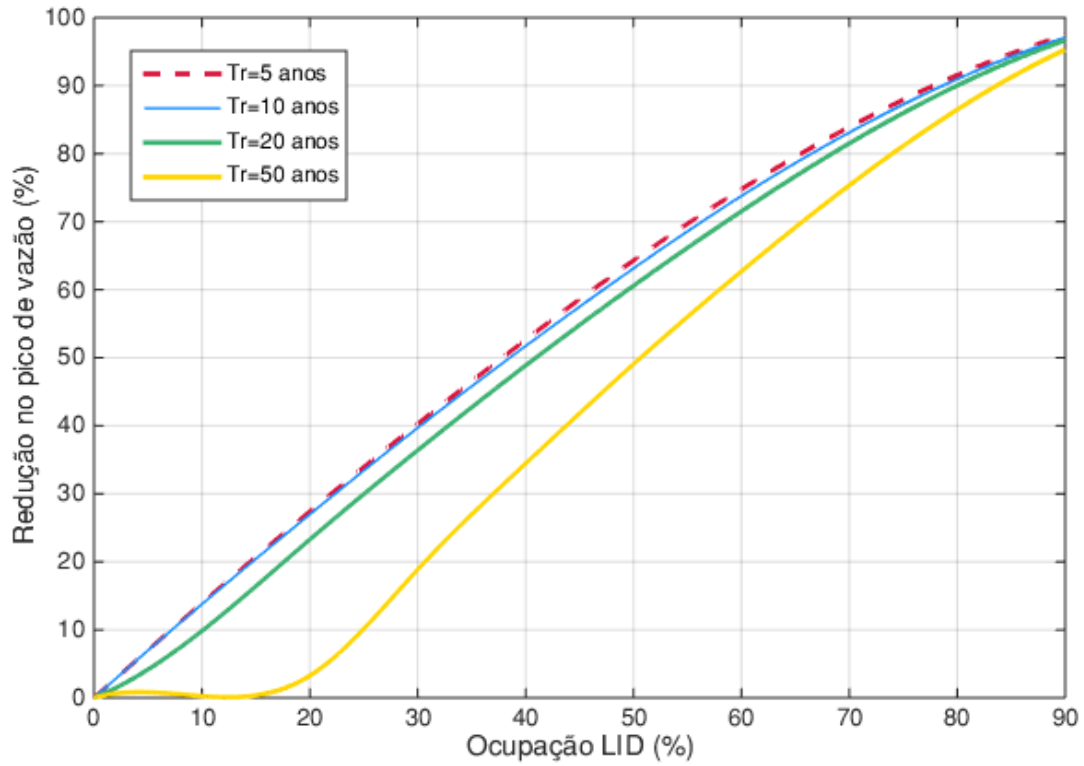
Tr (anos)	Vazão máxima de escoamento (L/s)									
	Sem LID	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
5	73312	63111	53223	43772	34723	26174	18485	11783	6200	1922
10	87928	75825	64216	53022	42451	32408	23048	14843	7943	2556
20	100751	90843	77297	64078	51526	39709	28674	18615	10051	3361
50	101137	100888	97847	82052	66288	51507	37711	24918	13661	4748

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir do gráfico da Figura 30, é possível afirmar que há uma redução na eficiência do uso de cisternas para atenuação do pico de vazão com o aumento do tempo de retorno. É perceptível também, que para os períodos de retorno de 5 e 10 anos, quase não há diferença nos efeitos do uso do dispositivo LID.

Além disso, observa-se que para um período de retorno de 50 anos, o aumento da quantidade de cisternas só passa a influenciar significativamente a partir de 20% de ocupação da bacia.

Figura 30 – Variação das vazões máximas para diferentes períodos de retorno



Fonte: Elaborada pela autora.

## 6 CONCLUSÕES

Através desse trabalho, foi possível analisar os efeitos da utilização de técnicas compensatórias do tipo cisterna na redução do escoamento superficial, utilizando como local de estudo a bacia do riacho Pajeú, localizado em Fortaleza, no estado do Ceará.

Foi feita uma análise da influência de um evento de chuva de 4 horas na vazão de escoamento para dois cenários, sendo o primeiro sem o uso de qualquer dispositivo LID, e o segundo, com a presença de cisternas em diferentes porcentagens de ocupação da bacia. A partir dos resultados obtidos dessa simulação, pode-se afirmar que a utilização de cisternas tem efeitos significativos na redução do pico de vazão. Foi observada a redução de até 35% no pico de vazão em uma das sub-bacias, considerando 30% da sub-bacia ocupada por cisternas.

Foram avaliadas também eventos de chuva considerando diferentes períodos de retorno, de forma que foi constatada uma redução na eficiência do uso de cisternas como medida compensatória à medida que os períodos de retorno se tornaram maiores, especialmente a partir de 20 anos. Para um período de retorno igual a 50 anos, houve pouca atenuação no pico de vazão para o uso de 10 a 20% de cobertura por cisternas na bacia.

Deve-se destacar os benefícios da utilização das técnicas LID, especificamente, o uso de cisternas, que consistem em construções de baixa complexidade e que são capazes de gerar benefícios bastante consideráveis para a região onde são utilizadas, reduzindo o risco de inundações e servindo como fonte alternativa de captação de água.

Futuros estudos podem considerar a influência do uso do dreno nas cisternas, que não foi considerado nesse trabalho. Além disso, é interessante também avaliar a eficiência da utilização das cisternas em conjunto com outras técnicas LID, variando a porcentagem de aplicação de cada um dos dispositivos.

Conclui-se que o modelo apresenta bons resultados quanto a redução da vazão máxima de escoamento, podendo o uso de cisternas ser uma solução adequada para a atenuação da ocorrência de inundações na bacia do Pajeú. Entretanto, é necessária a avaliação dos efeitos dessa técnica compensatória utilizando-se séries temporais mais extensas.

## REFERÊNCIAS

- ADERALDO, Daniel. **Chuva forte causa alagamentos e fecha aeroporto em Fortaleza**. 2012. Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/ce/2012-06-22/chuva-forte-causa-alagamentos-e-fecha-aeroporto-em-fortaleza.html>>. Acesso em: 08 dez. 2016.
- ALAM, M.; RABBANI, M.d. G.. Vulnerabilities and responses to climate change for Dhaka. **Environment And Urbanization**, [s.l.], v. 19, n. 1, p.81-97, 1 abr. 2007. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0956247807076911>.
- ALMEIDA, Maria de Fátima. **Aplicação de técnicas compensatórias na drenagem urbana, sob a ótica dos usuários do espaço: estudo de caso em São Carlos - SP**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.
- ALMEIDA, C. M., MONTEIRO, A. M. V., CÂMARA, G. **Modelos de Simulação e Prognósticos de Mudanças de Uso do Solo Urbano: Instrumento para o Subsídio de Ações e Políticas Urbanas**, 2004.
- ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. Segurança sanitária das águas de cisternas rurais. In: simpósio de captação e manejo de água de chuva, 10., 2016, Belém. **Anais...** . Belém: Abcmac, 2016. p. 1 - 9.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na redução do escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul.-set., 2000.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo. Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.29-49, 2002. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p29-49>.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. (1997). Precipitação. In: Tucci, C. E. M (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4.
- BRITO, D. S. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- CARLON, M. R. (2005). **Percepção dos atores sociais quanto as alternativas de implantação de sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva em Joinville**

- SC. Itajaí. Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado Acadêmico em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Vale do Itajaí.

CASTRO, L. M. A.. **Proposição de Indicadores para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 118p., 2002.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

COSTA JÚNIOR, L. L. **Avaliação do uso e ocupação do solo e do emprego de medidas de controle e inundação no lote**. 2003. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2003.

CHOCAT, B. (Coord.) *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Paris: Lavoisier, 1997. 1124 p.

CRUZI, M. A. S.; SOUZA, C.F. & TUCCI, C. E.M. **Controle da drenagem urbana no brasil: Avanços e mecanismos para sua sustentabilidade**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2007.

CHOW V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill Science Engineering, 1988.572 p.

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

DEMES, Fernanda Oliveira Cavalcante; MOTA, Francisco Suetônio Bastos. Impactos das atividades urbanas no riacho Pajeú, em Fortaleza, Ceará: Uma abordagem histórica e ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** . Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 1 - 10.

DINGMAN, S. L. 2002 **Physical Hydrology**. Prentice Hall, Upper Saddle River, 646p.

DUCHENE, M.; MCBEAN, E. A.; THOMSON, N. R. Modeling of Infiltration From Trenches for Storm Water Control. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 120, n. 3, p. 276-293, 1994.

ECODEBATE. **Cisterna sai do sertão nordestino e vai para a favela**. 2012. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2012/06/28/cisterna-sai-do-sertao-nordestino-e-vai-para-a-favela/>>. Acesso em: 09 dez. 2016.

FEITOSA, F. F. S. **Avaliação do uso de trincheiras de infiltração para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM**. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

GUTIERREZ, L.A.R.; LUCAS, A.H.; ANGELINI SOBRINHA, L.; BARBASSA, A.P.; MORUZZI, R.B.; TEIXEIRA, B.A.N. (2010) Problemas construtivos em um sistema vala-trincheira de infiltração. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 14 **Anais...** Porto.

HELLER, Léo; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. Pesquisa e desenvolvimento na área de saneamento no Brasil: necessidades e tendências. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 24-35, Mar. 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522005000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522005000100004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 12 dez. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522005000100004>.

HUBER, W. C.; DICKINSON, R.E. (1992). **Storm Water Management Model, version 4: user's manual**. U.S. Environmental Protect Agency. Athens, Georgia.

JAMES, W.; HUBER, W. C.; DICKINSON, R. E.; PITT, R. E.; JAMES, W. R. C.; ROSENER, L. A.; ALDRICH, J. A.. (2008). **User's Guide to SWMM 5**, publicado por CHI, Guelph, Ontario, Canadá.

LEAL, Francisco. **Municípios do Piauí ganham novas cisternas**. 2012. Disponível em: <[www.piaui.pi.gov.br/noticias/index/id/5661](http://www.piaui.pi.gov.br/noticias/index/id/5661)>. Acesso em: 09 dez. 2016.

LEE, Joong Gwang et al. A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. **Environmental Modelling & Software**, [s.l.], v. 37, p.6-18, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.04.011>.

LIMA, Valter Cleber Guedes da Rocha. **Análise Experimental e Numérica de Trincheiras de Infiltração em Meio Não Saturado**. 2009. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

LU, Z.; NOONAN, D.; CRITTENDEN, J. ; JEONG, H.; WANG, D. Use of Impact Fees to Incentivize Low-impact development and Promote Compact Growth. In: *Environmental Science & Technology*, 2013, Vol.47 n. 19, pp.10744-52.

MIGUEZ, M.G., MAGALHÃES, L.P.C., 2010, Urban Flood Control, Simulation and Management: an Integrated Approach.

MIKKELSEN, P. S.; JACOBSEN, P.; FUJITA, S. (1996). Infiltration practice for control of urban stormwater. **Journal of Hydraulic Research**, vol. 34, n.º 6, p. 827- 840.

MOURA, P.M. **Contribuição para avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. 1164p.

NARLLA, Hayanne. Ambientalista indica que alagamentos na Av. Heráclito Graça se devem a antigo riacho. **Tribuna do Ceará**, Fortaleza, 22 jan. 2016. Disponível em:

<<http://tribunadoceara.uol.com.br/noticias/mobilidadeurbana/ambientalista-indica-que-alagamentos-na-av-heraclito-graca-se-devem-a-antigo-riacho/>>. Acesso em: 08 dez. 2016.

NASCIMENTO, N.O., BAPTISTA, M.B., VON SPERLING, E. Problemas de Inserção ambiental de Bacias de Detenção em Meio Urbano, In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, – anais eletrônicos. 1999.

NIEMCZYNOWICZ, Janusz. Urban hydrology and water management – present and future challenges. **Urban Water**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.1-14, mar. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1462-0758\(99\)00009-6](http://dx.doi.org/10.1016/s1462-0758(99)00009-6).

OHNUMA JUNIOR, A.A. **Medidas não-convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. 2008. 331 p Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PAOLETTI, A. **Strategie per La Gestione Sostenibile Delle Acque Meteoriche Urbane**. Giornata di Studio. Gestione Sostenibile Delle Acque Meteoriche Urbane Palazzo Lombardia Auditorium. Milano, 2012. Disponível em: <[http://www.territorio.regione.lombardia.it/shared/ccurl/703/500/A.%20Paoletti\\_CSDU.pdf](http://www.territorio.regione.lombardia.it/shared/ccurl/703/500/A.%20Paoletti_CSDU.pdf)>. Acesso em 18 nov. 2016.

PGCo (Prince George's County, Maryland), 1999a. Low-impact Development Hydrologic Analysis. Department of Environmental Resources, Prince George's County, Maryland.

PGCo (Prince George's County, Maryland), 1999b. Low-impact Development Design Manual. Department of Environmental Resources, Prince George's County, Maryland.

PINTO, L. L. C. A. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011. 256 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. (2009). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. In: FINEP, PROSAB. (Org.). Manejo de Águas Pluviais Urbanas/Antonio Marozzi Righetto (coordenador). 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009, v. 04, cap. 1.

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

SANTOS, Helene. Fortaleza registra alagamentos por causa da chuva. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 08 mar. 2015. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/cidade/online/fortaleza-registra-alagamentos-por-causa-da-chuva-1.1238960>>. Acesso em: 08 dez. 2016.

SCHUELER, T. R. **Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs**. Washington: Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987.



SILVA, Francisco Osny Enéas da; PALÁCIO, Francisco Flávio Rocha; CAMPOS, José Nilson Bezerra. Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista Dae**, [s.l.], v. 61, n. 192, p.48-59, 2013. Editora Cubo Multimídia. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.106>.

\_\_\_\_\_. Superintendência Estadual de Meio Ambiente. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Inventário Ambiental de Fortaleza**. Fortaleza, 2003.

SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p.9-18, abr. 2012. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/cfs/abr2012.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2016.

TOMINAGA, Erika Naomi de Souza. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TUCCI, C.E.M., 1995, Controle de Enchentes, in: Drenagem Urbana, Editora da Universidade/ABRH, Porto Alegre, Cap. 1

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos (Org.). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 156 p. Disponível em: <<http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/inbr02803.pdf>>. Acesso em 25 out. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do impacto da urbanização** In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre. Editora da Universidade. 1995.

URBONAS, B. R.; ROESNER, L. A. Hydrologic desing for urban drainage and flood control. In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1992. Cap.28.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater: best management practices and detention**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993

U.S. EPA. (1999). **Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices**. United States Environmental Protection Agency.

XEREZ, Gioras; SOBRAL, Viviane. **Fortaleza volta a registrar chuva e pontos de alagamentos nesta sexta**. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2016/04/fortaleza-volta-registrar-chuva-e-pontos-de-alagamentos-nesta-sexta.html>>. Acesso em: 08 dez. 2016.