

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E PLANEJAMENTO
ESPACIAL – MAPEPROF**

RELATÓRIO DE PESQUISA

**URBANIZAÇÃO DE BAIXO IMPACTO: ALTERNATIVA À DRENAGEM URBANA
DE TERESINA, PI**

RENATO ALVES PEDROSA

ORIENTADOR: DR. MAURO CÉSAR DE BRITO SOUSA

**TERESINA – PI
2021**

RENATO ALVES PEDROSA

**URBANIZAÇÃO DE BAIXO IMPACTO: ALTERNATIVA À DRENAGEM URBANA
DE TERESINA, PI**

Relatório de Pesquisa apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em Análise e
Planejamento Espacial, como requisito para
aprovação na defesa do mestrado.

Orientador: Dr. Mauro César de Brito Sousa

TERESINA – PI
2021

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

Pedrosa, Renato Alves

P372u Urbanização de baixo impacto : alternativa à drenagem urbana de
Teresina-PI / Renato Alves Pedrosa. - 2021.
173 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial) -
Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2021.

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

1. Telhado verde. 2. Drenagem urbana. 3. Simulação hidrológica. 4.
Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID). I. Título.

CDD - 910

Elaborado por Sindya Santos Melo CRB 3/1085

RENATO ALVES PEDROSA

**URBANIZAÇÃO DE BAIXO IMPACTO (LID) COMO ALTERNATIVA À
DRENAGEM URBANA DE TERESINA, PI**

Relatório de Pesquisa apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em Análise e
Planejamento Espacial, como requisito
para aprovação na defesa do mestrado.

Aprovado em: 20/12/2021

BANCA EXAMINADORA

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

Profa. Dra. Bruna de Freitas Iwata
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Profa. Dra. Elaine Aparecida da Silva
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

RESUMO

De maneira mais intensa tem-se observado transtornos em decorrências dos fenômenos hidrometeorológicos sobre os ambientes urbanos, como enchentes e alagamentos. Teresina, inicialmente planejada entre os rios Parnaíba e Poti, logo evidenciaria os efeitos do crescimento acelerado da malha urbana e os desafios oriundos de tal expansão. O presente trabalho faz uma análise da drenagem urbana de três sub-bacias hidrográficas de Teresina, com a utilização do projeto de Urbanização de Baixo Impacto ou Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), como técnica compensatória, a fim de observar o comportamento dos hidrogramas das áreas de estudo com a presença dos dispositivos de controle na fonte, na modalidade de telhado verdes. O estudo teve como base nas simulações hidrológica o uso do software SWMM, partindo de diferentes cenários, com e sem a utilização dos telhados verdes. Como instrumento de coleta de dados foi utilizado análise documental, dentre elas o Plano Diretor de Drenagem de Teresina, dados de sensoriamento remoto, com a utilização das imagens de satélite Sentinel 2 e imagens SRTM, manipuladas com técnicas de geoprocessamento a partir do software Qgis 3.18, como também a produção de mapas. Os resultados encontrados sinalizam para a possibilidade de utilização dos telhados verdes como uma alternativa viável a drenagem urbana de Teresina, contudo devem ser associados a outras modalidades de dispositivos de controle. E por fim, partindo dos dados da pesquisa bibliográfica, da pesquisa documental e das simulações realizadas, foi criado o Manual de Técnicas de Controle na fonte: Telha Verde com o intuito de auxiliar profissionais, agentes públicos e a população em geral, a importância dessa técnica em drenagem na engenharia, na arquitetura e no planejamento urbano para o município de Teresina-PI.

Palavra-chave: Telhado Verde. Drenagem Urbana. Simulação hidrológica. LID.

ABSTRACT

More intensely, disturbances have been observed as a result of hydrometeorological phenomena on urban environments, such as floods and flooding. Teresina, initially planned between the Parnaíba and Poti rivers, would soon show the effects of the accelerated growth of the urban fabric and the challenges arising from such expansion. The present work analyzes the urban drainage of three sub-basins of Teresina, using the Low Impact Urbanization or Low Impact Development (LID) project as a compensatory technique, in order to observe the behavior of the hydrographs of the study areas with the presence of control devices at the source, in the form of green roofs. The study was based on the hydrological simulations using the SWMM software, starting from different scenarios, with and without the use of green roofs. Document analysis was used as a data collection instrument, including the Teresina Drainage Master Plan, remote sensing data, using Sentinel 2 satellite images and SRTM images, manipulated with geoprocessing techniques using Qgis 3.18 software, as well as the production of maps. The results found point to the possibility of using green roofs as a viable alternative to urban drainage in Teresina, however they should be associated with other modalities of control devices. And finally, based on data from bibliographic research, documentary research and simulations carried out, the Control Techniques Manual at source: Telha Verde was created in order to help professionals, public agents and the population in general, the importance of this drainage technician in engineering, architecture and urban planning for the municipality of Teresina-PI.

Keywords: Green Roof. Urban Drainage. Hydrological simulation. LID.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	OBJETIVOS.....	9
2.1	OBJETIVO GERAL.....	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1	PLANEJAMENTO URBANO: ÁGUA NO MEIO URBANO.....	10
3.1.1	PLANO DIRETOR.....	19
3.1.2	PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE TERESINA.....	21
3.2	DRENAGEM URBANA: ANÁLISE INTEGRADA DO ESPAÇO URBANO.....	24
3.2.1	INUNDAÇÕES: REALIDADE NACIONAL E NO MUNICÍPIO DE TERESINA.....	24
3.2.2	MEDIDAS DE CONTROLE.....	28
3.2.3	DRENAGEM TRADICIONAL.....	30
3.2.4	DRENAGEM SUSTENTÁVEL.....	32
3.3	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS.....	37
3.3.1	TÉCNICAS DE CONTROLE NA FONTE.....	38
3.3.2	TÉCNICA DE CONTROLE CENTRALIZADO.....	50
3.4	SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA.....	52
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	54
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	54
4.2	PRODUTOS CARTOGRÁFICOS E PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS.....	59
4.3	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DAS SUB-BACIAS.....	61
4.4	ADEQUABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DOS TELHADOS VERDES...	61
4.5	SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA.....	62
4.5.1	SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO POTI.....	67
4.5.2	SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA.....	69
4.5.3	CENÁRIO FINAL.....	71
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74

5.1	SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA.....	75
5.2	SUB-BACIA PD08.....	75
5.3	SUB-BACIA PE20.....	85
5.4	SUB-BACIA P14.....	91
6	CONCLUSÃO.....	98
	REFERÊNCIAS.....	99
	APÊNDICE A.....	107
	APÊNDICE B.....	142
	APÊNDICE C.....	156

1 INTRODUÇÃO

A relação do clima com as cidades nem sempre é harmoniosa. De maneira mais intensa tem-se observado transtornos em decorrências dos fenômenos hidrometeorológicos sobre os ambientes urbanos, como enchentes e alagamentos. Mesmo sendo eventos anuais e periódicos, pouco se tem feito para minimizar os efeitos danosos provocados nas cidades. Neste contexto, no processo de urbanização das cidades o clima foi pouco considerado na elaboração do planejamento urbano (MENDONÇA, 2010).

Teresina está localizada no meio-norte do nordeste brasileiro. Inicialmente planejada, com traçado ortogonal, entre os rios Parnaíba e Poti, logo evidenciaria os efeitos do crescimento acelerado da malha urbana e os desafios oriundos de tal expansão.

Nesse contexto, alguns desafios podem ser elencados no município, tais como: drenagem ineficiente e insuficiente ao crescimento da cidade, aliado ao processo de impermeabilização do solo urbano; ocupação das margens maiores dos rios Parnaíba e Poti, com habitações e empreendimentos comerciais; e o aumento do desconforto térmico, resultante da perda de sua vegetação inicial, que lhe rendia o título de “cidade verde”.

Soluções pontuais e convencionais para resolver os problemas de drenagem de Teresina, se apresentam como medidas paliativas diante de um quadro crescente de ocupação das sub-bacias presentes no perímetro urbano, acompanhada da impermeabilização do solo e do lançamento de efluentes de esgoto doméstico na rede de micro-drenagem(sarjetas). Com o aumento do escoamento superficial, em decorrência da impermeabilização, as obras de engenharia se tornam obsoletas em poucos anos, não atendendo, as novas demandas de vazão.

Diante do exposto, faz necessário uma visão sistêmica e integrada dos fenômenos hidrometeorológicos, considerando as interações complexas entre o uso do espaço urbano, ecologia, geomorfologia e sua rede de cursos d'água presentes em Teresina. O presente trabalho faz uma análise da drenagem urbana das sub-bacias hidrográficas de Teresina, com a utilização do projeto de Urbanização de Baixo Impacto ou Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development, LID), como técnica

compensatória, a fim de observar o comportamento dos hidrogramas das áreas de estudo com a presença de tais dispositivos.

Paralelamente, foi realizado estudos específicos com abordagem multidisciplinar sobre a ocorrência de inundações no município e seus efeitos, e a quantificação das áreas impermeáveis associada aos telhados, para posterior construção de um instrumento de análise baseado em simulações hidrológicas.

Partindo de uma nova perspectiva de intervenção no espaço urbano, no que diz respeito a drenagem, a implementação de técnica compensatória, como os dispositivos LID na cidade de Teresina, poderia trazer a possibilidade de um controle mais efetivo dos picos de vazões e do volume precipitado, melhorando a qualidade do escoamento pluvial ao ponto de se atingir um comportamento mais próximo ao natural.

O presente estudo tem a pretensão de analisar o comportamento de sub-bacias hidrográficas de Teresina, simulando a instalação de telhados verdes, em áreas sujeitas a sucessivos eventos de inundação. A partir das simulações hidrológicas, a pesquisa analisa vários cenários com os fatores hidrológicos mais relevantes, a fim de minimizar os efeitos das chuvas na paisagem urbana, no que se refere a drenagem.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a mitigação do escoamento superficial em sub-bacias hidrográficas urbanas antropizadas, suscetíveis a inundações, pela implementação de dispositivos de desenvolvimento de baixo impacto, do tipo telhados verdes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar sub-bacias hidrográficas suscetíveis a inundações e seus parâmetros hidrológicos com a utilização de Sensoriamento Remoto, SIG e no Plano Diretor de Drenagem Urbana do município;
- Realizar o levantamento das áreas de telhados pertencentes as sub-bacias de estudo a partir de imagens orbitais e SIG;
- Simular o efeito da implementação de telhados verdes, como técnica compensatória na fonte, em diferentes cenários modelados;

- Avaliar o desempenho de cada cenário simulado e discorrer sobre seus efeitos no escoamento superficial, com ênfase no tempo e pico de vazão do escoamento gerado;
- Confeccionar Manual de Técnica de Controle na Fonte: Telhados Verde, como produto oriundo da pesquisa.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PLANEJAMENTO URBANO: ÁGUA NO MEIO URBANO

A busca pela melhoria da qualidade de vida da população citadina, sempre esteve associada às questões ambientais, sendo um dos aspectos mais relevantes e importantes no planejamento da cidade (LIMA, 2002). Desse modo, se faz necessário retomar as discursões iniciais do planejamento, dando ênfase as questões ambientais, à medida que se analisa os efeitos, da ação das águas pluviais nos centros urbanos, frente a um processo de antropização cada vez mais crescente e acentuado.

O ponto de partida na busca de soluções para os problemas urbanos, remonta ao final do século XIX, com a tomada de consciência da sociedade industrial de si e de suas realizações. Nesse período, parte da população rural se deslocou para as metrópoles industriais em busca de melhores condições de vida, o que provocou o crescimento acelerado e desordenado daquelas localidades (CHOAY, 2000; MIGUEZ *et al*, 2016).

A dinâmica das cidades se modificou rapidamente, em vista dos processos cada vez mais intensos da urbanização. No Brasil, observa-se essa tendência no início do século XX, sob a influência do fluxo migratório rural-urbano e o crescimento da indústria nos grandes centros urbanos (SANTOS, 1993). Na tabela 1 observamos o crescimento da população urbana e a diminuição da população rural, até mesmo em termos absolutos.

Tabela 1 – População urbana e rural do Brasil 1960/2010

População							
Total	1960	1970	1980	1991	1996	2000	2010
Urbana	32.004.817	52.097.260	80.437.327	110.990.990	123.076.831	137.953.959	160.925.792
Rural	38.987.526	41.037.586	38.573.725	35.834.485	33.993.332	31.845.211	29.830.007
Percentual da população							
Urbana	45,08	55,94	67,59	75,59	78,36	81,25	84,36
Rural	54,92	44,06	32,41	24,41	21,64	18,75	15,64

Notas:

1 – Para 1960 até 1980: população recenseada

2 – Para 1991 até 2010: população residente

3 – Para 1950 até 1960: Os dados referentes ao nível Brasil incluem a população da região da Serra dos Aimorés, área de litígio entre Minas Gerais e Espírito Santo.

Fonte: Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Estatística (IBGE). Adaptado de Abiko e Moraes (2009)

O termo “urbanização” é empregado por Choay (2000, p. 2) como a “ciência e teoria da localização humana”, objeto de diversas correntes, dentre elas a ‘progressista’, delineada pela busca do progresso, a partir de aspectos racionais, com um dos seus mais importantes representantes, Le Corbusier. Em outra frente o ‘culturalista’, com enfoque no legado cultural das cidades e no sentido de comunidade, criticando os efeitos da industrialização, dentre eles, o fim da unidade orgânica da cidade, encontrado em Camilo Sitte e mais adiante o urbanismo ‘naturalista’, de Frank Lloyd Wright cujo conceito de espaço orgânico se reflete em toda sua obra (CHOAY, 2000).

Com base nessas primícias, um dos primeiros trabalhos sobre urbanização, do engenheiro urbanista Ildefons Cerdá, na Barcelona de 1854, incorporava elementos naturais às quadras, estruturação viária e sistema de esgotamento sanitário. Posteriormente, mais de uma década depois, lança a obra intitulada, Teoria Geral da Urbanização que influenciou as grandes cidades no início do século XX (MONTE-MÓR, 2006).

Outra experiência exitosa segundo Monte-Mór (2006) foi a do Barão Georges Eugène Haussmann, em Paris, que apoiado nos trabalhos de engenharia urbana da Escola Politécnica, abriu grandes avenidas implantando infraestrutura e parques, e demolindo ou reformando as edificações que se apresentavam em condições sanitárias precárias.

No Brasil, o chamado “urbanismo sanitaria” estendeu-se até a década de 1930, tendo como maior representante Saturnino de Brito, com importantes trabalhos realizados na cidade de Santos, SP (VILLAÇA, 1999). Sendo uma das quatro correntes que compõem o planejamento urbano *lato sensu*.

Saturnino ainda foi influenciado por Camilo Sitte, empregando os princípios hausmannianos nas diversas intervenções realizadas em algumas capitais de estados brasileiros (MONTEIRO DE ANDRADE, 1992).

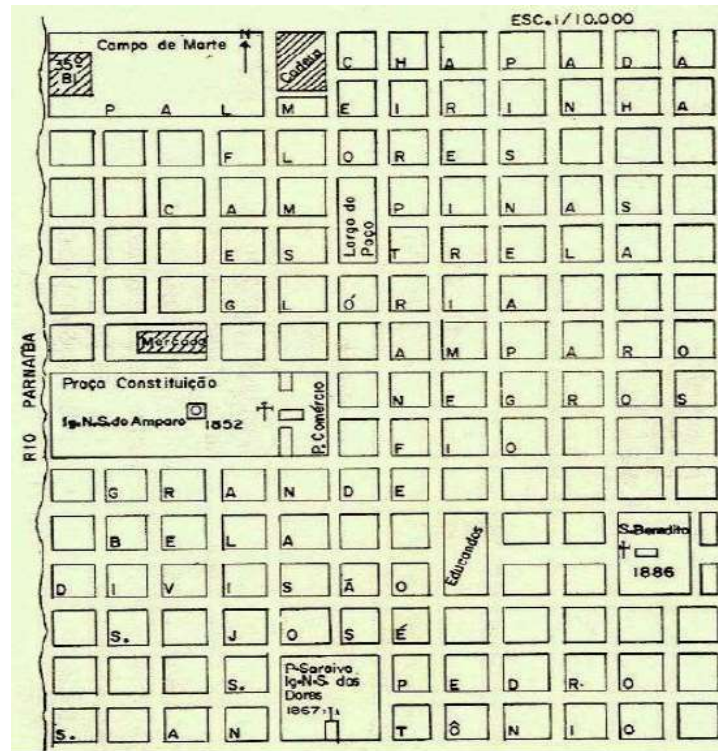
As demais correntes ou tipos particulares constitutivos do planejamento urbano *lato sensu* de acordo com Villaça (1999), baseia-se nas práticas e discursos do Estado sobre o espaço intraurbano, considerando suas especificidades, dispostas em ‘planejamento urbano *stricto sensu*’, que surge no Brasil na década de 1950, com o objetivo de integração entre os diversos objetos dos planos urbanos, centrado na figura do plano diretor.

O ‘zoneamento’, ainda segundo Villaça (1999), é entendido como legislação urbanística, tendo seu início no sudeste do Brasil, nas cidades do Rio de Janeiro e São Paulo nas últimas décadas do século XIX, marcado pela falta de embasamento teórico ou referência estrangeira, aliado a carência de especialistas em cidades, se destinava a atender aos interesses e soluções das elites brasileiras. E por fim, o ‘projeto e construção de cidades novas’, vertente progressista que refletia o urbanismo monumental e majestoso advindos do barroco, ainda disseminado no Brasil, com a construção de Brasília, Palmas, Goiânia, dentre outras (VILLAÇA, 1999).

O planejamento urbano de Teresina, nos remete ao período de 1852, como o início do seu traçado de ruas perpendiculares e retilíneas – plano xadrez (figura 1), padrão construtivo importado de Portugal e utilizado pela primeira vez no Brasil, na então, recém fundada, capital da província do Piauí, sob o governo de José Antônio de Saraiva (BRAZ E SILVA, 2011).

Entre 1852 e 1969, temos o período anterior aos planos urbanos em Teresina, onde Braz e Silva (2011) resgata elementos importantes sobre o crescimento e modernização da nova capital do Piauí desse período, dentre eles, a forte influência de Portugal do século XVIII no traçado urbanístico com sua rigidez geométrica, regularidade de volume e concentração, no entorno da praça principal, onde instalavam-se as sedes do governo e da justiça.

Figura 1 – Planta da Cidade de Teresina em 1853



Fonte: BRAZ E SILVA, 2011, p. 66.

Outro aspecto do planejamento urbano identificado pela autora na fundação de Teresina, é o fato de que boa parte da construção da cidade foi subsidiada pela elite da região que financiou dentre outras coisas, a construção dos prédios públicos, indo na contramão do próprio processo de urbanização do Brasil, que na sua grande maioria, é financiada pelo Estado (BRAZ E SILVA, 2011).

Assim, do ponto de vista do planejamento urbano, Teresina

[...] também foi pensada como um território estratégico. Afinal, o terreno escolhido para implantar a nova cidade tem centralidade adequada à gestão do território e à dinâmica social entre cidades e vilas piauienses. O objetivo de se construir um centro urbano no Piauí que tirasse a hegemonia comercial de Caxias (MA), em relação às cidades piauienses, comprova o desejo de fortalecer uma rede urbana na província e significa que a cidade de Teresina foi concebida para ser o principal ponto na escala de uma rede regional (BRAZ E SILVA, 2011, p. 81).

O lugar da nova capital, chamado Nova Vila do Poti (figura 2), foi escolhida por Saraiva em uma área a seis quilômetros do encontro dos rios Parnaíba e Poti, uma vez que, ele havia constatado que a Vila do Poti, era sujeita a inundação dos rios. Uma escolha coerente, “[...] com preceitos do urbanismo português e com demandas higienistas. Deslocado da antiga Vila do Poti, o sítio escolhido era mais alto e permanecia próximo aos dois rios, mas pouco afastado do ponto de confluência entre eles” (TEIXEIRA, 2019, p. 78).

Figura 2 – Localização da Nova Vila do Poti, terreno escolhido para a implantação da cidade de Teresina



Fonte: BRAZ E SILVA, 2012

Em paralelo ao planejamento urbano no Brasil, abordado por Villaça (1999) anteriormente, não se evidencia a reprodução dos elementos do planejamento urbano *lato sensu* de maneira uniforme e rígida em todo o país, e de maneira particular em Teresina. Embora o traçado histórico feito pelo autor seja uma importante tarefa, o planejamento urbano como uma prática, tem um caráter particular, sobretudo na esfera municipal (RODRIGUES, 2013).

Desse modo, os planos de melhoramento e embelezamentos realizados no Brasil, de acordo com Rodrigues (2013), não se desenvolveram em Teresina, da

mesma forma que em outras cidades. Contudo a capital do Piauí assume um aspecto particular de modernização. Como exemplos dessas variações de tendências, temos o empreendimento cidade jardim SOCOPO, do engenheiro Elói do Egito Coelho, em meados da década de 1940, inspirado no conceito europeu de “cidades-jardins”, vertente do Urbanismo Culturalista e a “Cidade Industrial” de Tony Garnier do Urbanismo Progressista (RODRIGUES, 2013).

Nos anos seguintes, de 1889 a 1930, no que se refere ao planejamento urbano de Teresina, segue investimentos em infraestrutura básica, com ênfase no saneamento, seguido de melhoramentos na estética urbana, com abertura de novas ruas, melhoramento do cais do porto principal e a instalação do serviço de energia elétrica. Nas duas últimas décadas do período citado, teve início outra fase de estruturação, voltada agora, para o sistema viário e para os transportes (BRAZ, 2011).

Segundo Pádua (2010) a década de 1960 é marcada pela ação do poder público com o financiamento de obras de pavimentação urbana, abertura de estradas e vias, expansão das redes de distribuição de água e energia, do sistema de esgotamento sanitário e habitação popular. No entanto, “[...] tais obras só beneficiavam determinados segmentos da cidade e contribuíam para a supervalorização de grandes propriedades, gerando extensos vazios urbanos” (PÁDUA, 2010, p. 61).

Diante do cenário exposto, seria previsível que Teresina, logo enfrenta-se os efeitos do crescimento acelerado da malha urbana e os desafios oriundos de tal expansão. Assim, a cidade passou a conviver com problemas socioambientais recorrentes, como as enchentes dos rios Parnaíba e Poti, potencializadas pela impermeabilização do solo urbano e uma drenagem deficiente.

Os debates sobre novos modelos de desenvolvimento, inicialmente focados no meio natural, aos poucos passam a contemplar questões referentes às cidades. Destarte Abiko e Moraes (2009) elencaram os seguintes fatos:

- as cidades tornaram-se palco principal da sociedade atual, é nelas que passam a morar a maior parte da população, onde se dá o consumo do que é gerado nas demais áreas e consequentemente onde são gerados os resíduos desse processo;

- os problemas no ambiente urbano ocorrem de forma paralela e interligada aos problemas do meio ambiente natural, não podendo assim, ser considerados de forma isolada e independente (ABIKO e MORAES, 2009, p. 4).

O tecido urbano cada vez mais compacto e as deficiências em infraestrutura criaram, as condições favoráveis para o surgimento de epidemias e graves problemas de saúde pública. Como boa parte das doenças na época era por veiculação hídrica, Miguez *et al* (2016) aponta a captação, para condução e descarga rápida dos esgotos e águas pluviais, como forma de minimizar o problema.

No entanto, ainda conforme Miguez *et al* (2016), com a urbanização a impermeabilização do solo se intensifica, fazendo com que os problemas de enchentes aumentassem paralelamente, o que chamou a atenção para a eficiência da concepção higienista de drenagem urbana. Ou seja, a rede de canalizações não absorvia uma demanda crescente imposta ao sistema de drenagem, o que não respondia aos problemas locais, além de transferir a enxurrada para áreas a jusante da bacia hidrográfica.

Na atualidade, o debate gira em torno de um urbanismo sustentável, que vislumbra a melhoria da qualidade de vida da população, na medida que organiza o espaço, tendo como elemento central o “cidadão”, sem negligenciar as questões ambientais envolvidas no processo de urbanização.

Alguns princípios que norteiam esta abordagem na visão de Moreno (2008), são: a pedestrização das cidades; a conectividade urbana entre pontos da cidade; a diversidade no uso e ocupação do solo urbano; a diversidade na habitação no aspecto tipológico; a qualidade em arquitetura e no desenho urbano com viés na funcionalidade; a estruturação tradicional de bairros com a disposição dos equipamentos urbanos o mais próximo possível do cidadão; o aumento da densidade urbana evitando grandes deslocamento em busca de serviços essenciais; o transporte inteligente; a sustentabilidade urbana-arquitetônica e a qualidade de vida.

Os benefícios do chamado “novo urbanismo” atingem diretamente vários atores e setores da sociedade, entre eles, habitantes, desenvolvedores (incorporadores) e prefeituras. No quadro 1 temos os benefícios do urbanismo sustentável no mundo.

Quadro 1 – Benefícios do Urbanismo Sustentável

Benefícios	
População	• Maior qualidade de vida; • Menor tráfego de veículos; • Vida com menos estresse; • Maior conectividade de um lugar com outro; • Redução importante da poluição e impacto ambiental.
Negócios	• Aumento das vendas devido as restrições ao trânsito de veículos; • Menos estresse na oferta comercial por habitante; • Economia no transporte; • Diminuição dos aluguéis nas áreas comerciais e aumento das oportunidades de uma escala de negócios, de baixa para alta; • Oportunidade para o turismo.
Incorporadores (desenvolvedores)	• Maiores oportunidades de incorporação imobiliária em função do aumento da densidade e da organização das cidades; • Mais vendas por metro quadrado de terreno; • Maiores ganhos de capital com a venda dos terrenos; • Redução de custos devido à economia de tempo, em cidades que adotam o crescimento inteligente; • Economia em estacionamentos que funcionam de forma mista com outras atividades comerciais; • Economia em parques de estacionamento devido à pedonalização; • Redução do impacto na infraestrutura urbana, devido ao menor uso de automóveis; • Redução de despesas devido ao impacto ambiental.
Prefeituras	• Maior estabilidade no pagamento de tributos • Menor gasto per capita com infraestrutura em comparação ao planejamento urbano tradicional; • Menor tráfego de veículos; • Menor gasto com segurança pública devido ao aumento de pessoas durante o dia e a noite; • Melhor imagem e identidade da comunidade e da cidade; • Menos risco de crescimento urbano extenso e inseguro; • Melhor relacionamento entre autoridades e cidadãos; • Redução de gastos com impactos ambiental

Fonte: Adaptado de MORENO, 2008

3.1.1 Plano Diretor

Transcorridos mais de dois séculos do marco inicial da cidade industrial, marcada pelo crescimento desordenado da ocupação urbana, ainda é presente atualmente algumas das características dessa *pólis*. Conforme consta-se, ainda existe o enorme déficit habitacional, os vários problemas de mobilidade urbana, os sistemas

de coleta e tratamento de esgoto sanitário insuficientes e ausência de drenagem urbana adequada.

Desde o Brasil colonial, com a presença da família real, identifica-se iniciativas de organização do espaço urbano, com intervenções voltadas para organização espacial e seus padrões estéticos, utilizando para tanto, princípios geométricos (traçado ortogonal – plano xadrez) para disposição espacial dos logradouros, enquanto a administração local ocupava-se na limpeza e conservação de praças e ruas (ANTONELLO, 2013).

O abastecimento de água era uma das demandas da administração pública no final do século XVII e início do XVIII de acordo com Antonello (2013), tendo em vista o crescente número de habitantes nas cidades. Porém, somente nas décadas iniciais do século XX, segundo a mesma autora, o saneamento básico, as vias e a expansão das cidades tornaram-se objeto de estudo e planejamento. Diga-se de passagem, que nesse período os planos diretores para as cidades brasileiras eram voltados para a infraestrutura viária.

O arquiteto Paul Dieter Nygaard (NYGAARD, 2005) em sua obra expõe as doutrinas ideológicas que nortearam os planos diretores tradicionais brasileiros nas últimas décadas do século XX. O autor discorre sobre quatro visões com base na ideologia positivista-científica, dentre elas temos: o ‘positivismo’ que defendia o conhecimento científico como a única forma de conhecimento confiável e concreto, onde a razão se sobressairia sobre os outros aspectos da condição humana, o conhecimento deveria ser expresso em termos quantitativos e mensuráveis mediante experimentação.

O ‘Urbanismo Modernista’ como segunda expressão doutrinária tem como representante o arquiteto francês Le Corbusier, que empunhava à desordem uma nova ordem, científica e racional, uso de padrões construtivos em série como indicava o taylorismo, pois as cidades apresentavam, caos, desordem e falta de segurança (NYGAARD, 2005).

A terceira doutrina remete ao pensamento do ‘padre Lebrete’ a frente do Movimento Economia e Humanismo, na França, década de 1940 e sua posterior representação no Brasil, a Sociedade de Análise Gráficas e Mecanográficas Aplicadas aos Complexos Sociais (SAGMACS), que segundo Nygaard (2005) denunciava as

condições de miséria, exploração e descaso das populações dos países do chamado “terceiro mundo”, criando termos como “economia humana”, que reclamava respeito a toda pessoal e “pesquisa social”, no sentido de conhecer a sociedade para se fazer as intervenções necessárias, entendendo o abismo social como algo a ser erradicado no espaço urbano.

E por fim, ainda segundo o mesmo autor, a última doutrina procurava amenizar os núcleos populacionais que demandavam por moradias, frente ao fluxo migratório campo-cidade no Brasil, entre os anos de 1964 e 1974, mediante a atuação do Serviço Federal de Habitação e Urbanismo (SERFHAU), que juntamente com o Banco Nacional de Habitação (BNH) faziam parte do Sistema Financeiro de Habitação (NYGAARD, 2005).

Nygaard (2005), expõe que o contexto de atuação do SERFHAU e do BNH era baseado numa política autoritária, onde se difundia o procedimento e o conhecimento técnico-científico a partir de cursos, assessoria e assistência técnica para uma geração de planejadores brasileiros, utilizando uma metodologia que privilegiava a pesquisa e o enfoque setorial. Com essa metodologia o SERFHAU distanciava-se da realidade social, uma vez que os planos eram concebidos distante do debate político-democrático, em consequência ao centralismo autoritário do regime militar (NYGAARD, 2005).

De maneira geral, a fundamentação ideológica contida nos planos diretores tradicionais tem como base teórica e metodológica, o positivismo, que dava um aspecto “determinista espacial” aos problemas urbanos de acordo com os estudos de Antonello (2013). Assim, partindo de uma organização físico-territorial, à medida que o planejamento urbano, reorganiza o espaço, resolvendo problemas locais com a implantação de infraestrutura, também estaria sendo resolvidas as desigualdades socioeconômicas, ou seja, “[...] a problemática social era determinada pelos aspectos estruturais de infraestrutura do espaço urbano e não pelas condições socioeconômicas das diferentes classes sociais” (ANTONELLO, 2013, p. 243).

Questões pautadas na democratização da gestão urbana, do direito a cidade e da função social da cidade e da propriedade são ecoadas na Constituição Federal do Brasil de 1988, artigos 182 e 183. Esses princípios constitucionais são incorporados de forma obrigatória, de acordo com a lei magna, em municípios com mais de 20.000

habitantes com a implantação de planos diretores. Como consequência é sancionada a Lei nº 10.257 em julho de 2001 (BRASIL, 2002), que cria o Estatuto da Cidade, criando a possibilidade da participação social na construção desses planos.

Na prática, foram evidenciados problemas socioeconômicos e geográficos pré-existentes quando da difusão e implantação do Plano Diretor nas cidades habilitadas, segundo a legislação. Amorim Filho e Serra (2001) identificam neste período um cenário urbano com uma frágil organização das cidades, com graves problemas sociais que impactavam diretamente na diminuição da qualidade de vida da população citadina, bem como o agravamento dos desequilíbrios urbano-regionais. Além disso, o plano abre um leque de possibilidades de organização do espaço urbano, mas nem tudo que é especificado por ele reflete a realidade do espaço, ou seja, pode ser um equívoco a organização do espaço como exclusivamente resultado de um plano (JÚNIOR, 2004).

Portanto, é exatamente na perspectiva de que essa posição dos profissionais, dedicados ao planejamento urbano, não condiz com a conjuntura atual ao considerar o caminho para a superação da natureza idealística e tecnicista do plano diretor tradicional encontra seu fermento na participação social efetiva no planejamento e na gestão do espaço urbano, uma vez que o modelo de planejamento e de gestão público do tradicional plano diretor redundava na insatisfação cidadã em face do papel desempenhado pelo poder político local (ANTONELLO, 2013, p. 244).

Na prática, fica restrito a um número pequeno de áreas de conhecimento, como consequência o desenvolvimento urbano no Brasil vem se refletindo nos transtornos causados pelas inundações, no acúmulo de sedimentos e na diminuição da qualidade da água, fatores estes que elevam os custos para a sociedade e para o ambiente. Tucci (1999) enriquece o debate, quando afirma que o Plano Diretor, como instrumento de planejamento da ocupação do espaço urbano brasileiro, não tem apreciado aspectos de drenagem urbana e qualidade da água, embora o plano envolva fundamentos interdisciplinares.

Ainda nesta linha, Marques (2006) pontua que as grandes demandas por saneamento básico, aliadas a falta de uma política nacional de saneamento e um corpo técnico qualificado tendem a se preocupar com os aspectos relacionados à quantidade da água pluvial, em dissonância com a qualidade.

Diante desse cenário, torna-se importante as discursões sobre planejamento integrado dos sistemas de drenagem urbana cada vez mais abrangente, de modo que os planejadores possam dar respostas adequadas as demandas expostas.

3.1.2 Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina

Nos centros urbanos, o conjunto de sistemas físicos, intimamente associados à saúde é denominado de saneamento básico. Seus indicadores refletem a qualidade de vida e o estado de desenvolvimento da população urbana. Em geral, os principais sistemas que integram o saneamento básico são: o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a infraestrutura de drenagem das águas pluviais e o sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos.

No que se refere a manutenção desses sistemas, o grau de desenvolvimento do município deve promover as tecnologias atualizadas para o tratamento desses mecanismos, uma vez que os mesmos, apresentam especificidades próprias, e são associados ao estágio de organização e cultura de seus habitantes, quando se trata do zelo e cuidado para o bom funcionamento desses dispositivos (RIGHETTO *et al*, 2009).

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDUr) é uma parcela importante para a gestão das águas pluviais urbanas. A sua meta, na visão de Righetto *et al* (2009, p. 26) busca [...] “o planejamento da distribuição dos deflúvios no espaço urbano em função da ocupação e da evolução da infraestrutura de drenagem, com vistas a minimizar ou mesmo eliminar prejuízos econômicos e ambientais”.

De acordo com Marques (2006), o Plano Diretor de Drenagem Urbana é o instrumento utilizado para gerir funções específicas como a mitigação de inundações, provisão de drenagem e análise custo/benefício, podendo ser estendido para planos de drenagem multi-objetos onde se inclui o uso do solo, o zoneamento, a qualidades da água, a recreação, os habitats e o paisagismo.

Segundo Canholi (2014), deve-se considerar na formulação do PDDUr, a bacia hidrográfica como a unidade de gerenciamento, onde a drenagem é um fenômeno de abordagem regional, podendo transcender a área territorial do município. A drenagem, ainda pelo autor, também agrega alocação de espaços, na medida que se ocupa as

várzeas inundáveis e as áreas de infiltração, implicitamente sua relocação se transfere para jusante.

Para tanto, o planejamento de drenagem deve ser compreendido como uma parcela de um processo de planejamento urbano cada vez mais abrangente e integrado (figura 3), com os demais planos, dentre eles os de saneamento (água e esgoto), transportes e uso do solo (CANHOLI, 2014).

Figura 3 – Visão integrada do planejamento dos aspectos da água no ambiente urbano



Fonte: TUCCI E BERTONI, 2003

O Estatuto da Cidade (BRASIL, 2002) quando dispõe em seu Art. 4º, sobre planos, programas e projetos setoriais contempla o plano de drenagem do município, como um instrumento legal de planejamento urbano, a fim de solucionar problemas oriundos da urbanização, no que se refere a impermeabilização do solo urbano e o manejo das águas pluviais.

Assim, o PDDUr é definido como o instrumento de planejamento ambiental integrado ao Plano Diretor, voltado a infraestrutura urbana de drenagem, com medidas

preventivas de controle, bem como a disposição da água no meio urbano em prol do desenvolvimento sustentável (TUCCI, 1997a; MARQUES, 2006).

O PDDUr de Teresina é parte integrante do Plano Diretor do município, suscitado pelo Estatuto da Cidade e efetivado na elaboração da agenda ambiental local, chamada de Agenda 21. Foi estruturado em 3 etapas, como segue: i) realização dos trabalhos de campo, obtenção de dados e análise de projetos e estudos, já realizados pelo município; ii) levantamento das características hidráulicas e hidrológicas das sub-bacias em estudo, identificando os efeitos da urbanização no sistema de drenagem, a fim de diagnosticar a situação atual da drenagem no sítio urbano para posterior prognóstico; e iii) planejamento e delineamento das medidas estruturais e não estruturais, necessárias para o saneamento das demandas identificadas nas etapas anteriores e estendidas para um horizonte futuro.

Dessa forma, o Plano de Drenagem de Teresina está dividido em 15 tomos, a saber:

Tomo 1 e 2: contempla as informações gerais e a caracterização das macrobacias dos rios Parnaíba e Poti;

Tomo 3 e 4: apresenta a descrição da infraestrutura urbana instalada, os estudos de campo sobre o cadastro topográfico do sistema de drenagem, a caracterização das condições hidrológica para a identificação da relação IDF (intensidade-duração-frequência);

Tomo 5: dispõe sobre as características hidrometeorológicas do sítio urbano e a análise integrada das sub-bacias de drenagem, como também a construção do diagnóstico do sistema de drenagem atual;

Tomo 6: Elenca os problemas relacionados à erosão, estabilidade de encostas e áreas de risco; da qualidade das águas pluviais e da restauração de canais naturais;

Tomo 7: aborda aspectos gerais relativos à Etapa 3, no que se refere a intervenções, com medidas estruturais e não estruturais a partir de prognósticos e seleção de intervenções;

Tomo 8: detalha as medidas estruturais no combate às enchentes ribeirinhas e as inundações urbanas;

Tomo 9 ao 11: contempla os estudos hidrológicos e hidráulicos para o prognóstico da rede de drenagem;

Tomo 12: discorre sobre a gestão integrada das águas urbanas, a caracterização institucional, a gestão da drenagem pluvial urbana e das propostas de medidas não estruturais para a cidade de Teresina;

Tomo 13 ao 15: contém os anexos, dando consistência ao estudo.

Dessa seção gerou-se um artigo, presente no apêndice C, aprovado para publicação na Revista da Academia de Ciências do Piauí (ISSN: 2675-9748);

3.2. DRENAGEM URBANA: ANÁLISE INTEGRADA DO ESPAÇO URBANO

A população urbana e o meio ambiente são os mais afetados pela urbanização, no que se refere a diminuição da qualidade de vida e aos impactos ambientais causados pelas inundações. Estes efeitos, na sua grande maioria, estão relacionados ao modelo caótico de desenvolvimento das cidades, refletindo em projetos de drenagem urbana incompatíveis com as demandas impostas, o que potencializa a frequência e o nível de inundação.

Nesta seção pretende-se enfatizar a importância da mitigação dos problemas relacionados a drenagem nos centros urbanos, assim como apresentar e discutir alguns conceitos, considerando uma abordagem hidráulico-hidrológica e as técnicas modernas utilizadas.

3.2.1 Inundações: realidade nacional e no município de Teresina

Desde a antiguidade, as primeiras civilizações e logo depois as cidades, se estabeleceram próximas aos cursos de água, onde se desenvolveram. Contudo, eram expostas aos regimes de cheias dos mesmos corpos hídricos. Essa relação se modifica à medida que acontece o desenvolvimento urbano e tecnológico, que impulsiona a construção de um sistema de malha viária, que por sua vez, pressiona e viabiliza economicamente investimentos na execução de melhoramentos de canais, pavimentos e pontes. Promove-se, portanto, o saneamento das áreas ribeirinhas, ou

seja, da ocupação de áreas de alagamento natural e da calha secundária dos rios urbanos.

A ocupação territorial urbana, sem o devido planejamento integrado das diversas infraestruturas necessárias ao desenvolvimento harmônico da cidade, desencadeou o surgimento de problemas de drenagem por ocasião dos eventos hidrológicos de alta intensidade. [...]. Com a expansão territorial, sem uma legislação e uma fiscalização que garantissem o disciplinamento adequado do uso e ocupação do solo, os problemas de alagamentos e inundações foram se intensificando e se distribuindo ao longo das linhas naturais de escoamento dos deflúvios superficiais em função da planialtimetria da cidade e do grau de impermeabilização da área de drenagem (RIGHETTO *et al*, 2009, p. 20).

Segundo Righetto *et al* (2009), somente a partir dos graves problemas urbanos oriundos de um desenvolvimento urbano caótico é que se tomou consciência da integração ambiental no espaço urbano, em meio a concretização de sérios problemas à segurança das vidas humanas, das habitações, patrimônios e de maneira geral à saúde pública é que se realizaram obras de infraestrutura direcionadas ao saneamento básico. A figura 4 ilustra dois exemplos de enchentes urbanas de grandes proporções que ocorreram nas cidades brasileiras de São Lourenço do Sul, no Rio Grande do Sul e de Teresina, no Piauí.

Figura 4 – Enchente urbanas nas cidades de São Lourenço do Sul/RS e de Teresina/PI



(A) Enchente ocorrida em um bairro da cidade de São Lourenço do Sul – RS

(B) Enchente ocorrida em um bairro de Teresina – PI

Fonte: VIEIRA, 2011; NETPIAUI, 2012

O processo de urbanização nas principais cidades brasileiras, inclusive em Teresina, incorporou as várzeas ao sistema viário com a construção de “vias de fundo de vales”, mediante a canalização ou retificando de córregos, dando condições para construção de estradas marginais sobre meandros que outrora ali existiam. Assim, áreas ribeirinhas (figura 5) que antes estavam sujeitas ao transbordo dos cursos d’água, foram suprimidas, resultando no aumento dos picos de vazão, da aceleração dos escoamentos e das inundações (CANHOLI, 2014).

Figura 5 – Características dos leitos dos rios



Fonte: Tucci (2005)

Em Teresina, os efeitos do desenvolvimento urbano são identificados por Lima (2002):

“[...] começaram a surgir outros problemas ambientais na cidade, provocados, principalmente, pela ocupação urbana e pela utilização de drenagem, pois com a expansão dos serviços de calçamento, as lagoas e os vales dos riachos [...] foram sendo pavimentados, formando as primeiras “baixas” no relevo do sítio urbano, ainda sem ter um sistema adequado de galerias [...]” (LIMA, 2002, p. 7)

Os rios Parnaíba e Poti são dois rios de domínio da união que banham Teresina, capital do estado do Piauí (ANA, 2012). O primeiro nasce no município de Barreiras do Piauí, na Chapada de Mangabeiras e percorre uma distância de aproximadamente 1485km, na direção Sul – Norte, até sua foz no oceano atlântico (BAPTISTA, 1975; GANDARA, 2015). Ao longo de sua extensão divide os estados do Piauí e Maranhão, com quem compartilha o único delta das américas em mar aberto, o delta do Parnaíba.

O segundo rio é o Poti, afluente do Parnaíba, nasce no estado do Ceará e percorre uma distância de cerca 550km, sendo 64% do seu curso no Piauí, 33% no Ceará e 3% na zona de litígio entre o Piauí e Ceará (BAPTISTA, 1975). Sua desembocadura com o rio Parnaíba acontece no bairro Poti Velho, zona norte de Teresina, no local conhecido como “Encontro das Águas”.

Uma vez que, a cidade de Teresina nasce às margens desses dois rios, ocupa seus leitos maiores - não diferente da grande maioria dos municípios brasileiros que margeiam rios – a administração municipal ao longo dos anos, tem em mãos, um grande desafio na gestão das águas urbanas, principalmente, nos períodos de cheia dos rios, quando ocupam seus leitos naturais, agora ocupado por imóveis e equipamentos urbanos. Na figura 6 temos alguns exemplos de inundações e alagamentos em diferentes pontos da cidade de Teresina.

Figura 6 – Áreas urbanas de Teresina sujeitas a inundações e alagamentos



- (A) Vila Beira Rio, Zona Sudeste.
- (B) Bairro Água Mineral, Zona Norte.
- (C) Av. dos Expedicionários.
- (D) Av. Frei Serafim.

Fonte: www.g1.globo.com; www.viagora.com.br

3.2.2 Medidas de Controle

Os prejuízos causados pelas inundações podem ser amenizados por medidas de mitigação, denominadas medidas estruturais (obras de engenharia) e medidas não estruturais (legislação e educação ambiental).

Entende-se como medidas estruturais as obras de engenharia, destacadas como intensivas e extensivas. As medidas intensivas, de acordo com seu propósito, podem ser de quatro tipos: de aceleração do escoamento; de retardamento do fluxo; de desvio do escoamento e que envolva iniciativas de ações individuais objetivando tornar as edificações mais resistente às enchentes (CANHOLI, 2014).

As medidas extensivas, segundo o mesmo autor, estão relacionadas ao armazenamento de pequenas proporções espalhados na bacia, à restauração da cobertura vegetal e ao controle de erosão do solo, na extensão da área de drenagem.

Tucci (2005), apresenta como elementos estruturais, de caráter intensivo: reservatórios e bacias de amortecimento; e diques ou *polders*. Os primeiros funcionam no controle de enchentes, à medida que retém a amplitude do hidrograma durante as inundações, minimizando o impacto a jusante da barragem e o pico de vazão. Os segundos “são muros laterais de terra ou concreto, inclinados ou retos, construídos a uma certa distância das margens, que protegem as áreas ribeirinhas contra o extravasamento” (TUCCI, 2005, p. 46).

Segundo Andrade Filho *et al* (2000), as medidas estruturais na sua essência, são construções projetadas para o controle de enchentes, como: represas ou adufas, diques, reservatórios de retenção, barragens e melhoramento de cursos d’água.

No quadro 2 temos as principais características das medidas estruturais, extensivas e intensivas, bem como as vantagens e desvantagens na utilização das medidas de controle.

Conforme Canholi (2014), as medidas não estruturais podem ter custos mais baixos e uma boa eficácia se comparado as medidas estruturais, em um tempo de atuação mais longo, à medida que procura organizar a ocupação territorial, os hábitos de consumo dos indivíduos e as atividades econômicas. As mais adotadas são: “[...] ações de regulamentação do uso e ocupação do solo; educação ambiental voltada ao

controle da poluição difusa, erosão e lixo; seguro-enchente; e sistemas de alerta e previsão de inundações” (CANHOLI, 2014, p. 25).

Quadro 2 – Medidas estruturais

Medida	Principal vantagem	Principal desvantagem	Aplicação
Medidas extensivas			
Alteração da Cobertura Vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda de solo	Reduz assoreamento	Idem ao anterior	Pequenas bacias
Medidas intensivas			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios e na planície
Melhoria de canal:			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
Reservatório:			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil devido a desapropriação	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com mínimo de perdas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
Mudança de canal:			
Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Idem ao anterior	Bacias médias e grandes

Fonte: SIMONS *et al*, 1977 citado por TUCCI, 2005

As medidas não estruturais, na visão de Andrade Filho *et al* (2000), são aquelas que melhor representam a coexistência da população com as enchentes, incluindo previsão e prevenção de cheia, relocação ou reassentamento, alerta e evacuação em caso de enchente e controle do uso do solo.

Tucci e Bertoni (2003), também classifica medidas de controles em dois conjuntos: os controles de jusante, que alteram o escoamento a montante; e os controles locais, definido pela capacidade do curso d’água conduzir uma quantidade de água.

Ainda segundo os mesmos autores, as medidas de controle de jusante podem ser obras como: o estreitamento de um rio devido a pontes, mudança de seção, aterros e reservatórios, que diminuem a vazão de um rio, sem depender da capacidade local de escoamento; no caso do controle local, o limite de escoamento depende da área da seção, do perímetro, da largura e do índice de rugosidade das paredes, logo, quanto menor o nível da água, maior será a capacidade de escoamento.

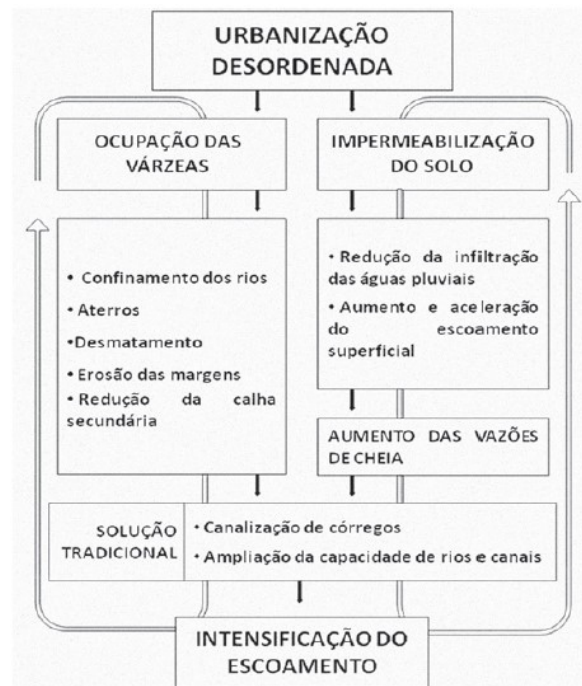
3.2.3 Drenagem Tradicional

Na metade do século XX, as obras de macrodrenagem (retificação da calha principal dos cursos d'água, aterramento de áreas alagadiças) e infraestrutura secundária (sarjetas, bocas-de-lobo, bueiros, etc), tornaram-se ações prioritárias dos gestores municipais, com repercussão política positiva, o que gerou um clima de otimismo quanto ao desenvolvimento do sítio urbano, especialmente em relação a ocupação de áreas até então inaproveitáveis, bem como a ampliação do sistema viário (RIGHETTO *et al*, 2009).

Essas ações provocaram o aumento da velocidade dos escoamentos superficiais e amplitude do pico de vazão à medida que tentavam solucionar a questão da redução da infiltração natural devido a urbanização (Figura 7).

Como isso, áreas mais a jusante, que no passado não sofriam com inundações, agora estavam vulneralmente expostas, ou seja, com a redução dos espaços naturais o escoamento é acelerado, diminui-se o tempo de concentração e aumenta o pico de vazão, transferindo o deflúvio para áreas estabelecidas mais a jusante (CANHOLI, 2014).

Dessa forma, a abordagem tradicional de drenagem, ou higienista, converge para a condução dos escoamentos, afastando a água para longe por meio de uma rede ramificada de superfície livre, mediante a ação da gravidade. Essa técnica permanece em uso na atualidade, embora tenha sido continuamente associada a práticas mais sustentáveis.

Figura 7 – Impacto da Urbanização

Fonte: RIGHETTO *et al*, 2009; SUDERSHA, 2002 citado por TUCCI, 2005

Dois subsistemas compõem o sistema de drenagem tradicional: a microdrenagem e a macrodrenagem (figura 8). A primeira, conduz as águas pluviais precipitadas nos parques, jardins, telhados dos imóveis e áreas de circulação; a segunda, por sua vez, recebe os deflúvios da microdrenagem e conduz, para a rede de galerias e canais livres (MIGUEZ *et al*, 2016).

Os elementos mais comuns de captação e condução das águas pluviais que compõem a rede de microdrenagem são: meio-fio, sarjetas, sarjetões, condutores, bocas-de-lobo, caixas de ligação, galerias e poços de visita (MIGUEZ *et al*, 2016).

A macrodrenagem recebe os efluentes provenientes do sistema de microdrenagem, nos talwegues, cursos d'água e fundos de vales, constituindo-se os próprios escoadouros naturais das águas de chuva pertencentes à bacia, que independem de obras de engenharia e ocupação urbana (FEAM, 2006).

Figura 8 – Subsistemas de microdrenagem e macrodrenagem

Microdrenagem

Lotes urbanos, praças, ruas

Galerias, sarjetas, bocas de lobo

Risco associado entre 2 e 10 anos

Teresina: 10 anos (TERESINA, 2010)



Macro drenagem

Hidrografia natural + canais de drenagem

Recebe água da microdrenagem

Risco associado entre 10 e 100 anos

Brasil: 25 anos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012)

Fonte: Adaptado de MIGUEZ *et al*, 2016; GUTIERRES, 2021; CIDADE EM FOTOS, 2019.

3.2.4 Drenagem Sustentável

Diante dos acentuados problemas causados pelas inundações urbanas, em meio a um sistema de drenagem, com baixos índices de infiltração e a condução rápida das águas pluviais para áreas à jusante, por meio de tubulações. Mostra-se insustentável, exigindo um novo olhar sobre esta problemática (MIGUEZ *et al*, 2016).

A evolução conceitual no que diz respeito a manejo das águas pluviais urbanas, no entendimento de Righetto *et al* (2009), não se limita ao princípio dominante no meio técnico tradicional, como o de conduzir o deflúvio para jusante dos pontos críticos, mas da união de um conjunto de ações e respostas de natureza estrutural e não-estrutural, no que envolve o planejamento e otimização na ocupação do espaço citadino, com a execução de grandes e pequenas obras.

Paralelo ao desenvolvimento socioeconômico municipal os problemas ambientais se intensificaram, fazendo-se incrementar no discurso político uma consciência ambiental na gestão das águas no meio urbano. Essa perspectiva evidencia-se como uma forma integrada da gestão de recursos hídricos urbanos, ocasionando um novo olhar no manejo das águas pluviais e a assimilação de novos paradigmas referentes às águas urbanas (RIGHETTO *et al*, 2009).

Assim, a partir dessas discussões sobre a destinação das águas no meio urbano, surge o conceito de drenagem sustentável, baseado em Kobayashi *et al* (2008) em três premissas: i) evitar o desmatamento, a erosão e o assoreamento dos corpos hídricos; ii) gestão urbana (deve estar inserida no plano diretor do município); e iii) garantir a qualidade dos mananciais superficiais e subterrâneos e a manutenção dos recursos hídricos.

Para Canholi (2014), as obras e os dispositivos de retenção dos escoamentos que favorecem a reservação dos deflúvios estão entre os conceitos mais aceito no campo das medidas inovadoras, quando se trata de drenagem urbana. Segundo o autor, com o amortecimento controlado das ondas de cheia é possível a redução do pico de vazão, à medida que se armazena parte do volume escoado. No quadro 3 são encontradas algumas características conceituais entre a drenagem tradicional e drenagem sustentável, a partir da reservação.

O processo da infiltração é outra medida não convencional adotada frequentemente, utilizada para retardar o fluxo nas calhas dos cursos d'água ou reter o escoamento em reservatórios, impactando no amortecimento dos picos de vazão (CANHOLI, 2014)

Quadro 3 – Conceito de Drenagem Tradicional x Drenagem Sustentável

CARACTERÍSTICAS	DRENAGEM TRADICIONAL	DRENAGEM SUSTENTÁVEL
Função	Remoção rápida dos escoamentos	Contenção temporária para subsequente liberação
Componentes Principais	Canais abertos/galerias	Reservatórios a superfície livre Reservatório subterrâneos Retenção subsuperficial
Aplicabilidade	Instalação em áreas novas Construção por fases Aplicação de capacidade pode se tornar difícil (centros urbanos)	Áreas novas (em implementação) Construção por fases Áreas existentes (à superfície ou subterrânea)

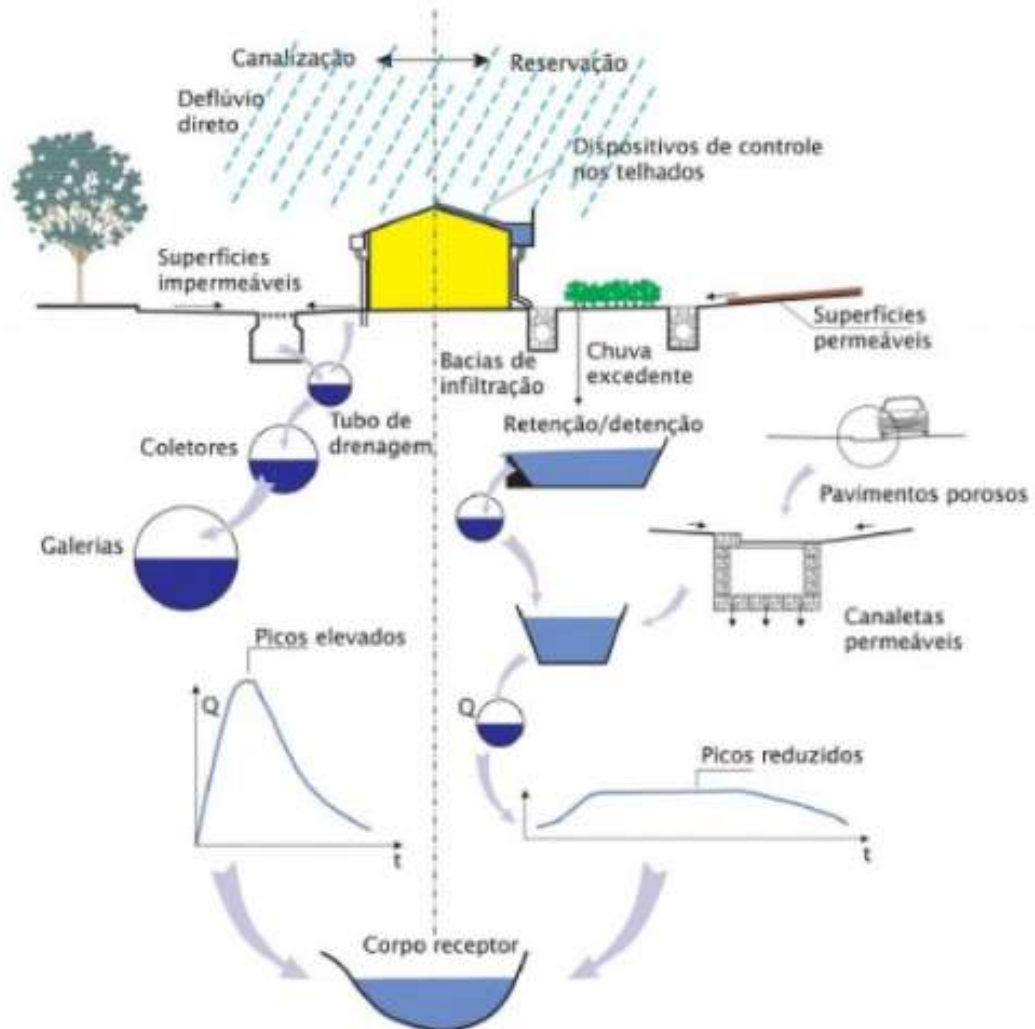
Impacto nos trechos de jusante (quantidade)	Aumenta significativamente os picos das enchentes em relação à condição anterior Maiores obras nos sistemas de jusante	Áreas novas: podem ser dimensionadas para impacto zero (Legislação EUA) Reabilitação de sistemas: podem tornar vazões a jusante compatíveis com capacidade disponível
Impacto nos trechos de jusante (qualidade)	Transporta para o corpo receptor toda a carga poluente afluente	Facilita remoção de material flutuante por concentração em áreas de recirculação dos reservatórios e dos sólidos em suspensão, pelo processo natural de decantação
Manutenção/operação	Manutenção em geral pouco frequente (pode ocorrer excesso de assoreamento e de lixo) Manutenção nas galerias é difícil (condições de acesso)	Necessária limpeza periódica Necessária fiscalização Sistemas de bombeamento requerem operação/manutenção Desinfecção eventual (insetos)
Estudos hidrológicos/Hidráulicos	Requer definição dos picos de enchente	Requer definição dos hidrogramas (volumes das enchentes)

Fonte: Adaptado de CANHOLI, 2014.

Na figura 9 temos os principais dispositivos seguindo o conceito de drenagem sustentável e os seus impactos na redução dos picos de vazão, comparado à visão higienista, que abrange somente as obras de drenagem tradicional.

Novas abordagens emergiram diante do avanço da degradação das águas pluviais urbanas, conceitos e práticas cada vez mais consolidados e integrados, voltados a sustentabilidade, dentre eles, o Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems* – SUDS), no Reino Unido, o Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development* – LID), na América do Norte e Nova Zelândia, o Desenho Urbano Sensível à água (*Water Sensitive Urban Design* - WSUD), na Austrália, as Melhores Práticas de Gerenciamento (*Best Management Practices* - BMPs), nos Estados Unidos e Canadá (FLETCHER *et al*, 2015).

Figura 9 – Ilustração esquemática dos conceitos de Drenagem tradicional x Drenagem sustentável



Fonte: BRAGA, 1994 citado por CANHOLI, 2014

Na Suécia e Noruega tem início os primeiros trabalhos relativos ao SUDS. Em meados de 1998, no distrito de Augustenborg, na cidade de Malmo (Suécia) inicia-se um projeto visando a sustentabilidade da cidade, a partir da utilização de canais para o escoamento pluvial, faixas gramadas, pavimentos permeáveis e telhados verdes, totalizando juntos 9.500m^2 de áreas de drenagem (POLETO, 2011).

De acordo com Souza (2005) as vantagens apresentadas pela abordagem SUDS no tratamento da drenagem urbana além do controle de pico e de volume, da

qualidade, frequência e duração do escoamento, tem os ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos. Também, segundo Poleto (2011), as medidas não-estruturais são incluídas nas abordagens SUDS, a partir de novos arranjos de prédios e estradas a fim de minimizar os efeitos da impermeabilização do solo, redução das fontes poluidoras, preservação da cobertura vegetal nativa e programas de educação que promovam novas posturas e/ou ações.

A técnica LID surge como uma estratégia de manejo de águas (pluviais e servidas) através do emprego de práticas de tratamento e controle em pequena escala integrado a um planejamento multidisciplinar adaptando o meio urbano ao comportamento hidrológico natural (SOUZA, 2012).

O USDoD (2004) elege alguns princípios chaves para a técnica LID, a saber: a) conservação - da vegetação e solo nativo, aumento de áreas permeáveis e manutenção da drenagem natural; b) projetos locais únicos – adequação de projetos as características locais naturais de drenagem em detrimento a padronização; c) direcionar escoamento para áreas com vegetação – incentivo a infiltração e recarga de aquífero, áreas úmidas e corpos hídricos, aproveitando o tratamento natural; d) controles distribuídos de pequena-escala – uso de técnicas de manejo dos recursos hídricos próximo a fonte de geração do escoamento excedente, adequando de forma integrada ao processos hidrológicos; e por fim, e) manutenção, prevenção e educação – envolvimento social através com campanhas educativas a fim de reduzir a carga de poluentes, bem como o uso racional e duradouro dos sistemas de drenagem.

Quando se refere ao WSUD o conceito mais difundido é o que integra o desenho urbano do ciclo hidrológico, onde o abastecimento de água, esgoto, águas pluviais, águas subterrâneas e proteção ambiental estão todos incorporados (JOINT STEERING COMMITTEE FOR WATER SENSITIVE CITIES, 2009). Já, o Intergovernmental Agreement on a National Water initiative (NWC, Austrália), incorpora o conceito de WSUD em suas ações como a integração do planejamento urbano com a gestão, proteção e conservação do ciclo hidrológico urbano, de tal forma que garanta na gestão dos recursos hídricos urbanos uma maior sensibilidade à hidrologia natural e aos processos ecológicos (NWC, 2004 citado por LEONARD, 2014).

3.3 Técnicas compensatórias

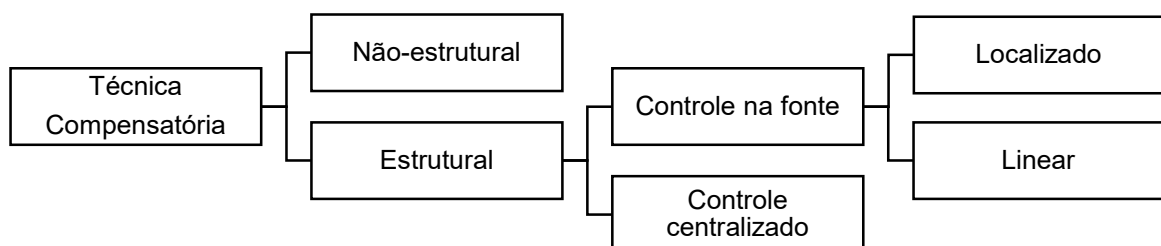
O escoamento rápido das águas pluviais, para longe das áreas de interesse é o princípio que norteia a drenagem convencional. No entanto, essa prática contribui para a diminuição do tempo de concentração, a aceleração dos deflúvios, o aumento da descarga de pico e a potencialização das cheias a jusante (MIGUEZ *et al*, 2016). Neste cenário, os projetos de controle de cheias devem ser fundamentados a partir de uma visão sistêmica e integrada a bacia hidrográfica.

Como alternativa a estas demandas, ganha espaço nos meios técnicos os conceitos de drenagem urbana sustentável e de desenvolvimento de baixo impacto (LID), utilizando técnica compensatórias como ações mitigadoras aos efeitos nocivos da urbanização no ciclo hidrológico.

De acordo com Righetto *et al* (2009), essas técnicas baseiam-se no controle dos deflúvios com a utilização de estruturas de armazenamento de águas pluviais, tendo como resultado o amortecimento de cheias ou a infiltração das águas de chuva, o que levaria a redução dos volumes escoados, ou a combinação de armazenamento e infiltração.

As técnicas compensatórias podem ser classificadas em soluções do tipo estrutural e não estrutural, no que diz respeito a influencia a geração dos escoamentos superficiais. A estrutural, por sua vez, quando enfatiza a localização na bacia é subdividida, em controle na fonte (ou difuso) e controle centralizado (RIGHETTO *et al*, 2009). A Figura 10 apresenta esses critérios.

Figura10 – Tipologia de técnicas compensatórias



Fonte: Adaptado de Righetto *et al* (2009).

Como exemplo de técnicas compensatórias não estruturais, segundo o mesmo autor, temos: regularização do uso solo, reflorestamento de matas ciliares, implantação de áreas verdes, desconexão de áreas impermeáveis, utilização de revestimentos com elevado índice de rugosidade em vias e canais e destinação apropriada para fertilizantes, pesticidas e detergentes (RIGHETTO *et al*, 2009).

3.3.1 Técnicas de controle na fonte

a) localizado

As técnicas de controle na fonte, disposta no local, são aquelas cuja drenagem é proveniente de um lote urbano, condomínio, estacionamentos, praças, parques e passeios públicos. Utiliza dispositivos compensatórios localizados próximos aos locais de início do escoamento, de pequenas dimensões e capacidade limitada de reservação, fazendo com que a alocação dos custos seja simplificada, dispondo de uma menor sobrecarga por área controlada e a fácil relação entre o escoamento e a área urbanizada (CANHOLI, 2014). Os mais utilizados são os microrreservatórios, poços de infiltração, plano de infiltração e telhados verdes.

Os microrreservatórios ou cisternas, instalados nas residências, realizam o armazenamento temporário ou permanente das águas precipitadas nos telhados. Além do retardo do escoamento superficial direto, ocupando pequenas áreas, a água armazenada pode ser reutilizada na irrigação, contra incêndios, na refrigeração e em processos industriais (KOBAYASHI *et al*, 2008). No semiárido brasileiro é bastante utilizado no convívio com a seca, à medida que retém a água da chuva para fins de abastecimento doméstico e a dessedentação de animais (Figura 11). Para tanto, precisa dispor de dispositivos de descarte das primeiras águas e filtros para retenção de sólidos provenientes do telhado, a fim de garantir uma melhor qualidade da água.

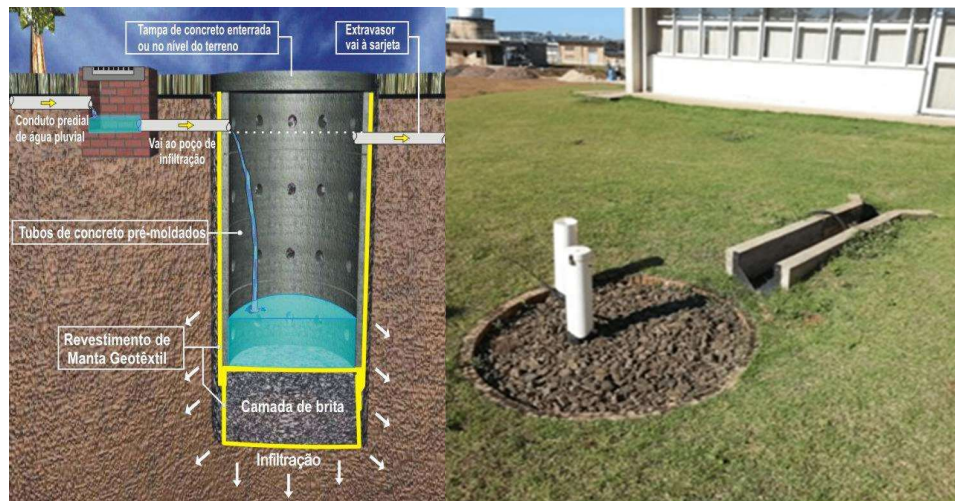
Figura 11 – microrreservatórios de águas pluviais



Fonte: KOBAYASHI *et al*, 2008; <https://www.vivadecora.com.br>

O poço de infiltração (figura 12) é um dispositivo que favorece a infiltração no solo das águas superficiais como medida compensatória aos efeitos da urbanização, que impermeabiliza o solo urbano. Sua estrutura é composta por uma escavação circular onde será introduzido tubos de concreto perfurados lateralmente, envolvidos por uma manta geotêxtil e preenchido com material granular (agregado graúdo), permitindo assim o preenchimento dos vazios com a água proveniente do escoamento superficial e posterior infiltração no solo.

Figura 12 – Poço de infiltração de águas pluviais



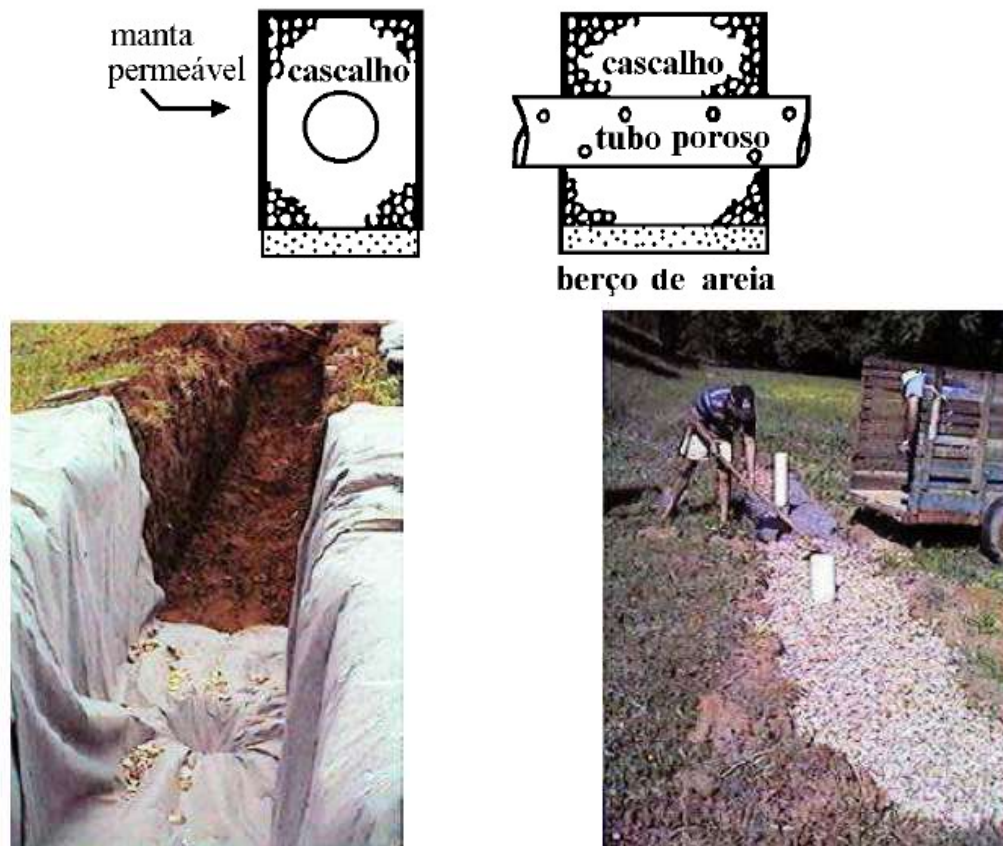
Fonte: OLIVEIRA E REIS, 2008; SANTOS *et al*, 2016

b) linear

As técnicas lineares, geralmente são implantadas ao longo dos logradouros públicos e estacionamentos, dispostas em pequenas ou grandes áreas de drenagem, acompanhando suas declividades superficialmente ou em pequenas profundidades. Dentre as mais encontradas temos as trincheiras de infiltração, valas de retenção ou vegetadas, jardins de chuva, pavimento permeável e áreas úmidas lineares.

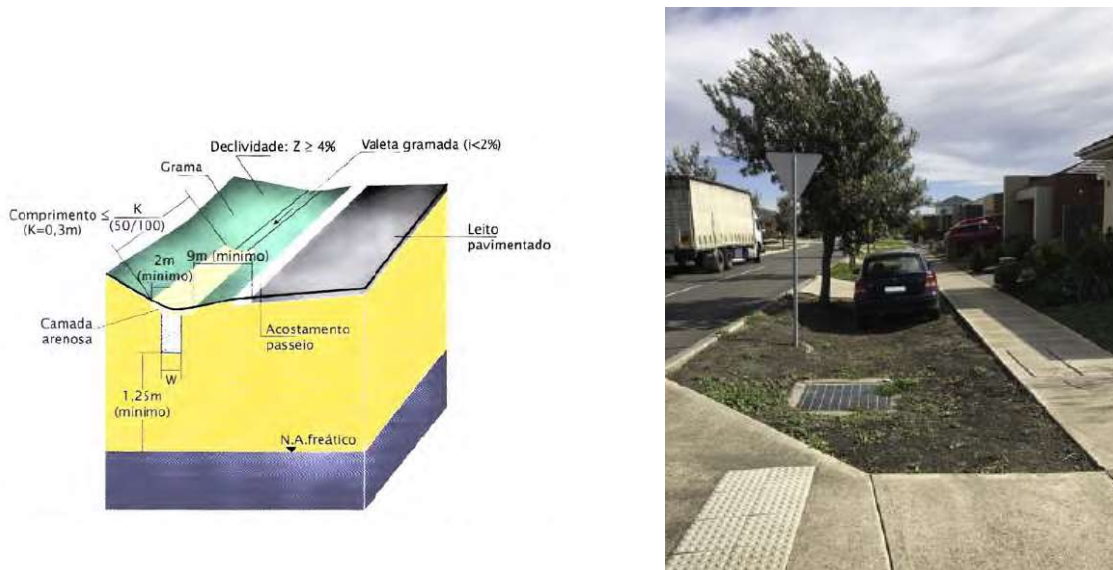
As trincheiras de infiltração (figura 13) são estruturas que favorecem a infiltração das águas pluviais após seu armazenamento temporário, podendo ser associadas a outros tipos de dispositivos. A escavação linear é preenchida com brita ou seixo revestido por uma manta geotêxtil (filtro) por onde passa uma tubulação corrugada ou perfurada (TUCCI, 1997b).

Figura 13 – Trincheira de infiltração



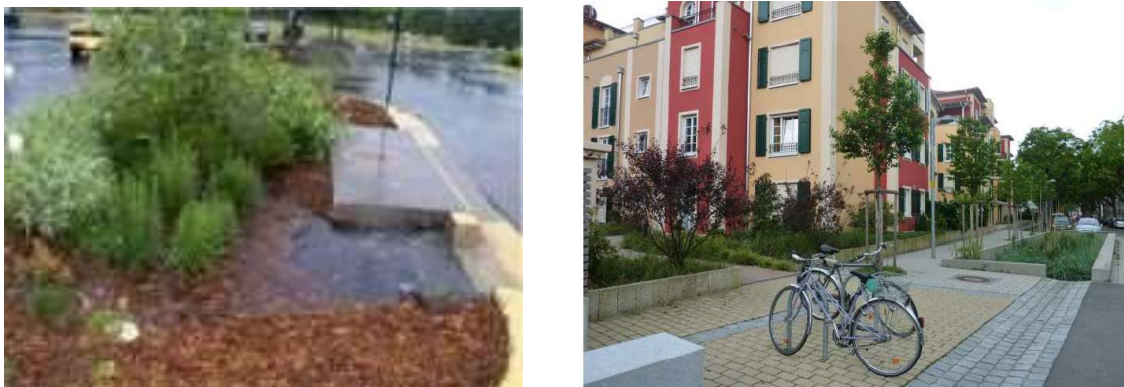
Fonte: TUCCI, 1997; KOBAYASHI *et al*, 2008

Nas valas de retenção ou valas vegetadas, como dispositivo linear, as águas de chuva são recolhidas e conduzidas temporariamente, para posterior percolação no solo. Podem ser instaladas paralelas a rede viária e estacionamentos concentrando o fluxo das áreas adjacentes a fim de minimizar os picos de vazões escoadas mediante a infiltração e/ou retenção ao longo do seu comprimento. De acordo com Canholi (2014), as valas de retenção podem ser interligadas a trincheiras de percolação ou alagados construídos, formando pequenas valetas úmidas protegidas por vegetação (figura 14).

Figura 14 – Vala de retenção

Fonte: CANHOLI, 2014; BEZA *et al*, 2019

Outro dispositivo de técnica linear são os jardins de chuva ou áreas de biorretenção, paisagens dispostas linearmente projetadas para receber águas de chuva, composta por arbusto, plantas perenes ou árvores, inseridas em pequenas depressões no solo, preferencialmente permeável, que permitirá a infiltração natural. Os benefícios dos jardins de chuva vão desde o tratamento de poluentes através da biorretenção, aumento da recarga das águas subterrâneas até a diminuição do escoamento superficial (DIETZ, 2007). Podem ser versáteis, sendo utilizados em residências ou interligado ao sistema de drenagem superficial conforme visualizado na figura 15.

Figura 15 – Jardins de chuva ou Áreas de Biorretenção

Fonte: LID-STORMWATER, 2021, HERZOG; ROSA, 2010

Os pavimentos permeáveis retêm parte da drenagem superficial, devido a quantidade reduzida de finos em sua composição, o que permite a passagem da água pelo pavimento até a base, favorecendo a diminuição do escoamento superficial (TUCCI, 1997; CANHOLLI, 2014). Geralmente são utilizados em ruas com pouco tráfego ou áreas como: estacionamentos, passeios, praças e quadras esportivas, feitos de asfalto ou concreto, ou simplesmente, brita, granularmente uniforme (mais barato), mas também podem ser utilizados blocos intertravados e blocos de concreto vazados preenchidos com grama. A seção típica do pavimento permeável é apresentada na figura 16, bem como exemplos de blocos intertravados e blocos vazados.

Figura 16 – Seção típica do pavimento permeável e exemplo de bloco intertravado e bloco vazado



Fonte: CANHOLLI, 2014; WWW.SA.GOV.AU (2021)

3.3.1.1 Telhados Verdes

Os telhados verdes são dispositivos compensatórios na fonte instalados sobre os telhados planos ou inclinados das edificações, funcionando como um microreservatório de águas pluviais, compostos por uma camada impermeabilizante, sistema de drenagem, vegetação e solo (ou substrato), sendo os últimos, como elementos de preenchimento. Geralmente compõe o projeto de arquitetura da edificação, no entanto, é possível sua adaptação em edificações existentes, mediante condições estruturais favoráveis (MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL, 2018; DALEY, 2006 citado por LOPES, 2007).

Quando instalados sobre a laje, Oliveira (2009) elenca as seguintes camadas constituintes do telhado verde: impermeabilização, isolamento térmico, proteção mecânica, drenagem, filtragem, substrato e vegetação (figura 17). Nas coberturas

com telhas as camadas são dispostas por sistemas modulares, com uma camada de impermeabilização, uma camada de substrato e a camada de vegetação (OLIVEIRA, 2009). Alinhado a estas etapas, deve-se avaliar a carga adicional a ser aplicada a estrutura e a inclinação do telhado.

Figura 17 – Composição da estratificação padrão de um sistema completo de cobertura verde com sistema de drenagem para lajes



Fonte: LID-STORMWATER, 2021

Com relação a espessura da camada de substrato e do tipo de cobertura vegetal, os telhados verdes são classificados em extensivos e intensivos. Os extensivos – conhecidos também como Coberturas Verdes Leves (CVL's) – variam entre 4 a 20cm de solo ou substrato (figura 18), com baixa manutenção, geralmente em função da escolha de cobertura vegetal, que deve apresentar boa resistente ao *stress* hídrico e pouco crescimento vegetativo, também em sua grande maioria inacessíveis a circulação de pessoas, com cargas que variam entre 72,6kg/m² a 169,4kg/m², passivos de adaptação a estruturas de telhados convencionais já instalados (LAAR, 2001; PECK; KUHN, 2006).

Figura 18 – Telhado Verde Extensivo

Fonte: CARPENTER, 2008; ECOTELHADO, 2021

Os telhados verdes intensivos (figura 19) permitem o trânsito de pessoas, na configuração de terraços vegetados ou jardins. Com uma sobrecarga adicional a estrutura precisa passar pelo crivo de profissional habilitado, com ênfase no cálculo estrutural e no processo de impermeabilização. Nos intensivos a camada de substrato tem espessura a partir dos 20cm podendo receber espécies de vegetação de porte arbóreo, para tanto, o processo de manutenção envolve o trabalho contínuo de adubação, irrigação e podas (LAAR, 2001; CONNELLY; LIU, 2005). Em relação as coberturas verdes intensivas e extensivas, estão elencadas no Quadro 4 as vantagens e desvantagens de ambos os processos construtivos.

Figura 19 – Telhado Verde Intensivo

Fonte: CAPELAS JUNIOR, 2014 citado por DA COSTA RANGEL *et al*, 2015.

Quadro 4 – Comparação entre telhados verdes intensivos e telhados verdes extensivos

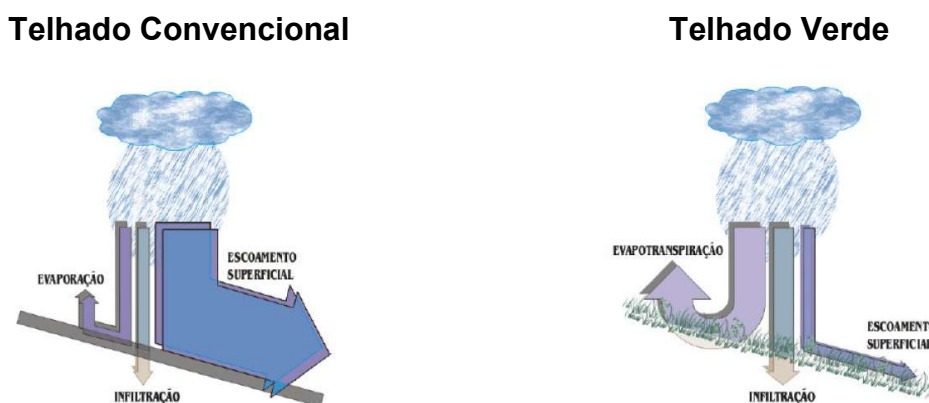
	Vantagens	Desvantagens
Intensivos	• Proporciona grandes espaços para o estabelecimento da diversidade da fauna e da flora; • Possibilita a utilização do jardim como espaço de contemplação e também para o cultivo de alimentos	• Sistema construtivo complexo e de grande manutenção; • Grande peso estrutural; • Alto custo inicial com a construção e posteriormente com elementos de manutenção.
Extensivos	• Baixa manutenção em relação a irrigação, podas e fertilização; • Baixo peso estrutural • Maior flexibilidade em relação à inclinação da cobertura; • Não exige perícia na execução; • Adequado para implementar em edificações existentes; • Possui um custo relativamente baixo.	• Geralmente não possui acesso para espaços de contemplação e recreação; • Escolha limitada das espécies vegetais.

Fonte: JOHNSTON; NEWTON, 2004

Com características de detenção e retenção das águas de chuva, os telhados verdes proporcionam um maior equilíbrio hídrico, que auxiliam na redução do escoamento superficial no ponto de geração do deflúvio, na diminuição dos picos de vazão e no conforto térmico (MARTINS, 2017). Assim, teríamos um incremento não somente no aumento das áreas verdes, mas também na melhoria da qualidade do meio ambiente urbano.

No telhado tradicional, o volume das águas pluviais, na sua grande maioria, é direcionado para a rede de micro e macrodrenagem da bacia hidrográfica, gerando deflúvios e sobrecargas crescentes ao sistema de drenagem, paralelamente evidencia-se o processo de impermeabilização do solo urbano. No telhado verde (figura 20) uma parte das águas pluviais precipitadas fica retida no substrato, outra parte é evapotranspirada e o excedente é direcionado para a rede de drenagem do município (CUNHA; MENDIONDO, 2004). Nesse aspecto, os telhados verdes contribuem para a diminuição e o retardo do volume de água de chuva que sai do lote, mitigando eventos de inundação cada vez mais frequentes nos centros urbanos.

Figura 20 – Efeitos das precipitações em um telhado convencional e um telhado verde



Fonte: CUNHA; MENDIONDO, 2004

Segundo Lopes (2007) os telhados verdes trazem benefícios como o aumento das áreas verdes nas cidades, regulação da temperatura, maior vida útil em comparação a telhados convencionais, proteção contra incêndio, retenção das águas pluviais, efeitos estéticos e sociais, melhoria na eficiência energética, contribuição à biodiversidade e atenuação das ilhas de calor.

Outro valor agregado aos telhados verdes é a possibilidade de geração de renda com a produção de hortaliças e cultivo de plantas ornamentais ou medicinais (DA COSTA RANGEL *et al.*, 2015). Acompanhando esta tendência, temos no Brasil o exemplo do Projeto Hidrocidades realizado na região de Jacarepaguá, zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, que dentre outros objetivos, utilizou os telhados verdes em edificações populares para plantio de hortaliças ou plantas ornamentais como alternativa de geração de trabalho e renda (OLIVEIRA, 2009).

Devido aos vários motivos elencados sobre os benefícios da utilização dos telhados verdes e o interesse de combater a degradação ambiental, vários países como Alemanha, Noruega, Áustria e outros, não somente difundem o conceito de telhado verde, mas também estimulam o uso, mediante subsídios governamentais (ARAÚJO, 2007). Dessas iniciativas surgiram vários manuais e recomendações técnicas quanto a utilização de dispositivos compensatórios e sua implantação, dentre eles os telhados verdes.

No que diz respeito a estes manuais e as recomendações técnicas que discorrem sobre dispositivos compensatórios e sua implantação, Martins (2017) afirma que “são poucos aqueles que apresentam recomendações técnicas como declividades adequadas para a implantação, [...] e aspectos construtivos importantes para sua construção”. No que se refere aos telhados verdes, não foi diferente, poucos foram os materiais encontrados sobre o tema. No entanto, optamos por referências cujos procedimentos são mais detalhados, mesmo não abordando todos os aspectos. Dentre estes materiais, temos três manuais e uma norma, dois nacionais e dois internacionais, como segue: o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo (SÃO PAULO, 2012), o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal (MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL, 2018), o The SUDs Manual (Reino Unido; WOODS-BALLARD *et al.*, 2007) e a legislação municipal de Toronto nº 492, para Telhados Verdes (Canadá; TORONTO, 2017). Na tabela 2 apresenta as informações técnicas de cada um dos manuais escolhidos.

Tabela 2 – Diretrizes técnicas de diferentes manuais para implantação de telhados verdes

Telhados verdes					
	Unidade	Manual de Drenagem – São Paulo	Manual de Drenagem – Distrito Federal	The SUDs Manual	Toronto Municipal code chapter 492, Green Roofs
Taxa de infiltração mínima	mm.h ⁻¹	-	-	-	-
Áreas máximas de contribuição	Hectare	2,00	2,00	2,00	Por intervalos de áreas
Declividade	%	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de MARTINS, 2017

Um dos documentos que chama a atenção, é a norma para telhados verdes da cidade de Toronto, uma das maiores cidades do no Canadá, situada na província de Ontário, que exige e rege a construção de telhados verdes. A Norma discorre sobre a obrigatoriedade de instalação de telhados verdes em novos empreendimentos, graduado conforme o tamanho do telhado ou adições em imóveis que sejam maiores que 2.000 m² de área bruta de piso. No espaço disponível no telhado do imóvel o requisito varia de 20 a 60%, com percentual menor entre 2000 e 4.999m² e o maior a partir dos 20.000m² de área construída, ou seja, telhados verdes são necessários em novos empreendimentos, edifícios industriais ou novas adições ao desenvolvimento residencial, comercial e institucional com área bruta mínima ou adicionada a partir dos 2.000m² (TORONTO, 2017).

De acordo com os materiais utilizados, observa-se que os telhados verdes em relação a outros dispositivos compensatórios é o que menos apresenta restrições ao seu uso. O aspecto mais crítico a utilização deste dispositivo seria a estrutura do telhado, que deve estar apta a receber a carga adicional aferida pelo telhado verde, uma vez que, o mesmo, funciona como um microreservatório, sendo denominado pelo manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal de “telhado reservatório”. Geralmente é planejado em construções novas, mas “é possível sua adaptação em edifícios existentes, desde que haja condições estruturais para isso e que a laje sob o reservatório seja devidamente impermeabilizada”.

(MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL, 2018).

3.3.2 Técnicas de controle centralizado

Como técnicas de controle centralizado temos as bacias de infiltração e as bacias de detenção e retenção, caracterizadas por ocuparem extensas áreas de drenagem. As bacias de infiltração ou percolação (figura 21) armazenam o escoamento superficial e favorece a lenta infiltração da água no fundo da bacia ou por dreno instalado na mesma.

Figura 21 – Bacias de infiltração ou percolação



Fonte: WOODS-BALLARD, 2007; FILHO *et al*, 2012

As bacias de detenção são reservatórios utilizados para reter o escoamento superficial, durante e logo após as chuvas, minimizando os efeitos da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica, no entanto, são mantidos esvaziados na maior parte do tempo (TUCCI, 1997b, CANHOLLI, 2014). Podem agregar valor ambiental e urbanístico à medida que são incorporados a outras atividades como parques, estacionamentos e praças como apresentados na figura 22.

Figura 22 – Exemplos de bacias de detenção



Fonte: FEAM, 2006; WOODS-BALLARD, 2007

Nas bacias de retenção um dos principais objetivos é o controle de inundações e da qualidade da água, com a sedimentação dos sólidos em suspensão e o tratamento biológico do efluente. Geralmente são implantados a jusante em uma grande bacia ou pequenas bacias interligadas, mantidas com lâmina d'água. Como exemplo de bacias de retenção temos o “Lagoas do Norte” (figura 23), projeto urbanístico de Teresina.

Figura 23 – Bacias de retenção do projeto “Lagoas do Norte”, Teresina-PI



Fonte: OITOMEIA.COM.BR, 2021

3.4 Simulação Hidrológica

Diversificados são os modelos que permitem alcançar estratégias de mudança e eficiência nos sistemas de drenagem, que vislumbram cenários diferentes, dentre eles, temos a modelagem hidrológica. Esse tipo de modelagem tem como finalidade, de maneira geral, submeter os cursos d'água simulações de vazões, ressaltando que os mesmos cursos sofrem alterações provenientes da ocupação da bacia, carecendo de análise, uma vez que, a maioria resultando em enchentes (SILVA *et al*, 2017).

No modelo chuva-vazão, estima-se o escoamento em sistemas de drenagem pré-determinados, submetidos a chuvas significativas a fim de reproduzir as interações da água no meio, a partir da precipitação até o escoamento nos pontos de interesse, buscando uma proximidade das condições reais. Para Rennó *et al* (2010) citado por Alves (2017), estes modelos procuram simular o percurso da água, mediante um conjunto de procedimentos e sistema de equação, desde a precipitação até o exultório da bacia é denominado, modelo hidráulico-hidrológico.

Métodos como o Racional, o de Sacramento e o SCS (*Soil Conservation Service*) - posteriormente denominado NRCS (*Natural Resources Conservation Service*) - são bastantes populares desde seu surgimento, como modelos hidrológicos voltados ao escoamento superficial, devido sobretudo, a simplicidade de aplicação associada a utilização de poucos parâmetros hidrológicos na análise (MARTINS, 2017).

O Modelo de Gestão de Drenagem Urbana (*Storm Water management Model* - SWMM) é um código computacional livre de modelo de chuva-vazão, desenvolvido pela Agência Ambiental Americana (*Environment Protection Agency* – EPA). Este modelo pode simular a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, particularmente em áreas urbanas, mas também pode simular um evento chuvoso único ou um evento de longo prazo (ROSSMAN, 2010).

No SWMM, o módulo de transporte hidráulico simula o escoamento das águas pluviais através de uma interface onde pode ser inserido tubulações, dispositivos de armazenamento e tratamento, canais, bombas e elementos de regulação. Segundo Rossman (2010) a quantidade e qualidade do escoamento de cada sub-bacia é acompanhada pelo software, como também a altura de escoamento e a dinâmica da água em cada tubulação e canal, durante múltiplos intervalos de tempo que compõe um período de simulação.

Vários processos são utilizados pelo modelo SWMM para modelar o escoamento derivado das águas pluviais, dentre eles a infiltração, o escoamento superficial, as águas superficiais, inundações, propagação de chuva, evolução e comportamento da qualidade da água.

4 MATERIAL E MÉTODOS

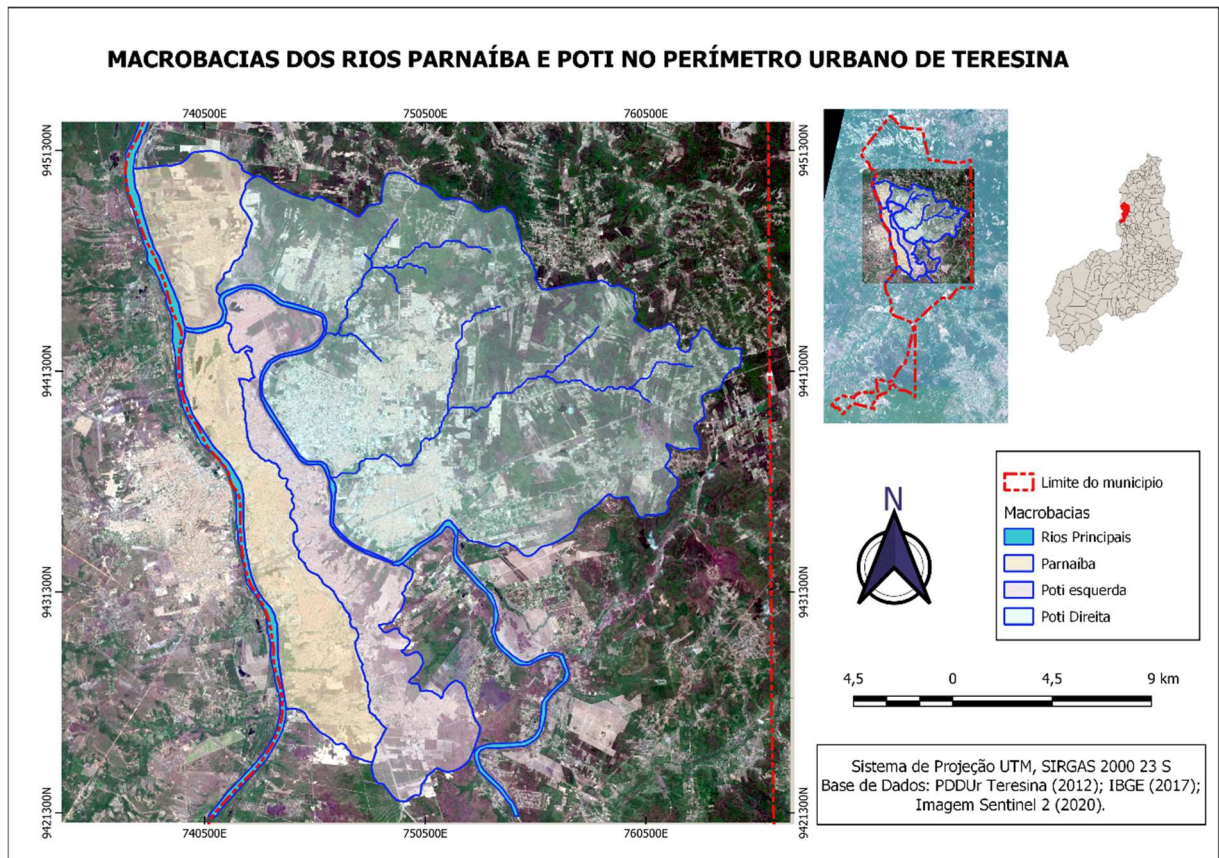
Nesta seção é realizada a exposição do material e métodos utilizados na construção deste trabalho. Como ponto de partida, foi utilizado o PDDUr de Teresina, onde encontram-se alguns dos parâmetros utilizados na modelagem SWMM, assim como as sub-bacias de estudo, na qual serão implantados os telhados verdes como técnicas compensatórias. E por fim, na simulação hidrológica avaliou-se o comportamento dos telhados verdes em diversos cenários de ocupação das áreas de estudo.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

São tomadas como áreas de estudo, três sub-bacias hidrográficas, sendo duas sub-bacias do Rio Poti e uma sub-bacia do rio Parnaíba, ambas dentro do perímetro urbano do município de Teresina-PI. Elas fazem parte de três macrobacias hidrográficas distintas, uma à direita do rio Parnaíba e duas, às margens esquerda e direita do rio Poti. Sendo resultantes de um relevo marcado por “morrotes alongados e espigões, onde predominam interflúvios e topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos e de drenagem de alta e média densidade” (TERESINA, 2010, p. 13). Os trechos das macrobacias hidrográficas dos rios Parnaíba e Poti dentro do perímetro urbano de Teresina são apresentados na Figura 24.

Dentro do perímetro urbano o rio Poti percorre uma distância de 47km até o encontro com o Parnaíba. As macrobacias das margens direita e esquerda, juntas abrangem uma área de aproximadamente de 306,42km², divididas em 49 sub-bacias, sendo 16 sub-bacias, na margem direita e 33 sub-bacias, na margem esquerda do rio. As sub-bacias recebem a nomenclatura com inicial “P” para as pertencentes a macrobacia do Parnaíba e as iniciais “PD” e “PE” para as pertencentes as macrobacias da margem direita e esquerda do Poti, respectivamente. Podemos observar estas divisões em sub-bacias e suas identificações na figura 25.

Figura 24: Macrobacias hidrográficas dos rios Parnaíba e Poti no perímetro urbano de Teresina.



Fonte: autor (2021)

No Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Teresina identifica-se as sub-bacias mais suscetíveis a estas inundações, áreas ocupadas pelas águas do Parnaíba e Poti, em anos de elevadas precipitações pluviométricas (TERESINA, 2013). Diga-se de passagem, áreas de elevada urbanização e significativos investimentos públicos em infraestrutura, feitos ao longo dos anos. Na figura 26, temos a identificação destas áreas segundo o PMSB de Teresina.

Figura 25 – Sub-bacias dos rios Parnaíba e Poti no perímetro urbano de Teresina

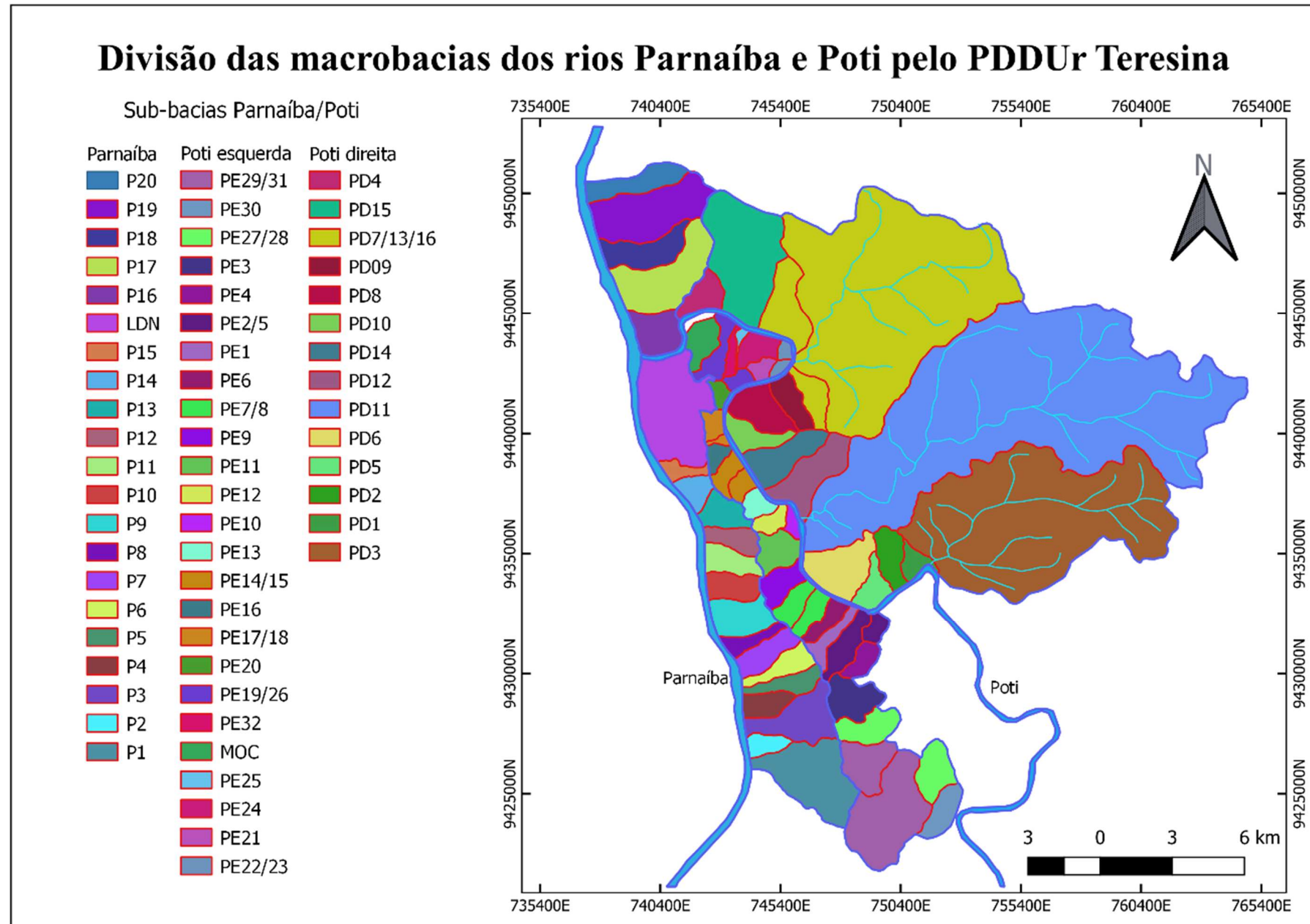
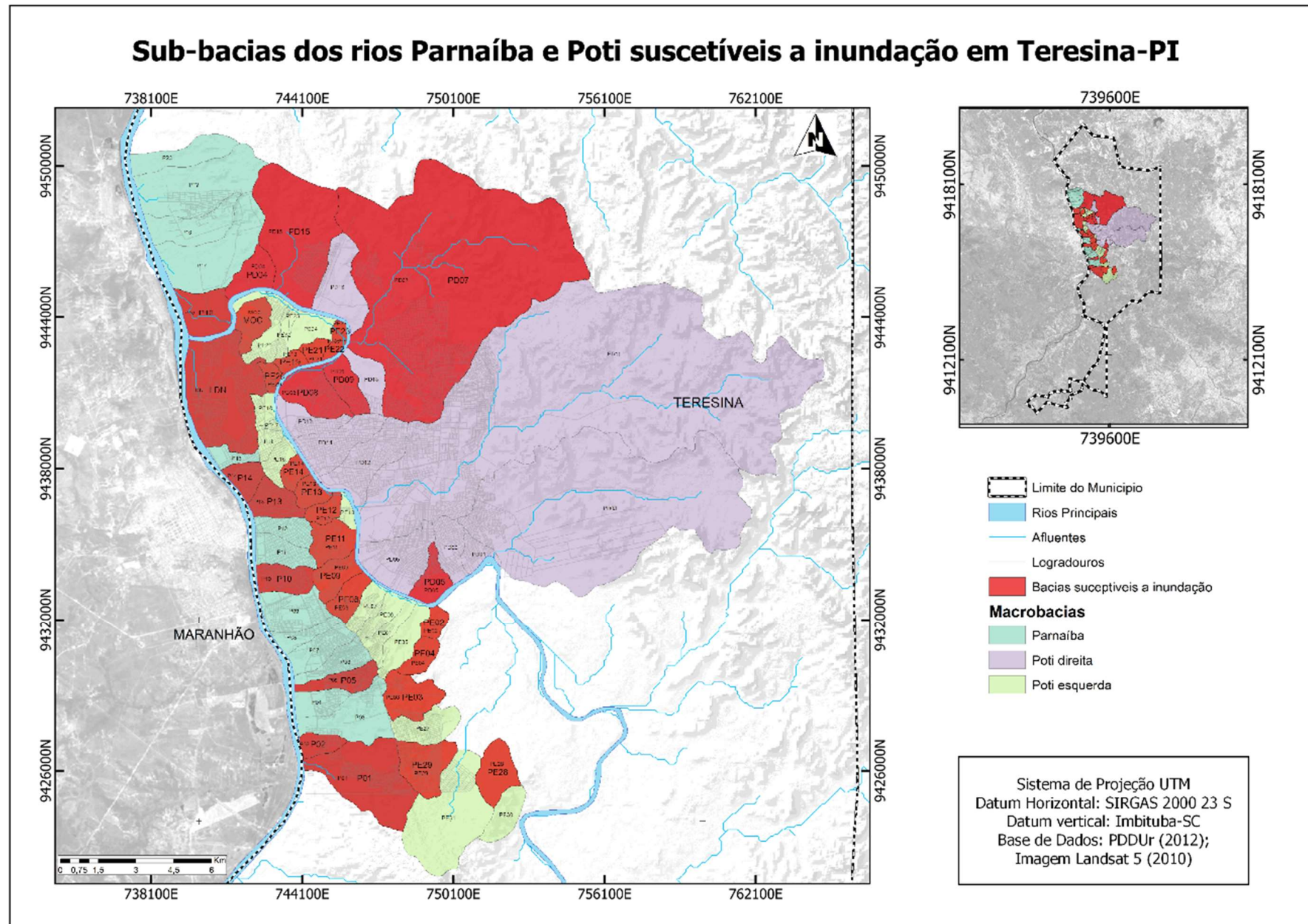


Figura 26 – Sub-bacias suscetíveis a inundação em Teresina-PI

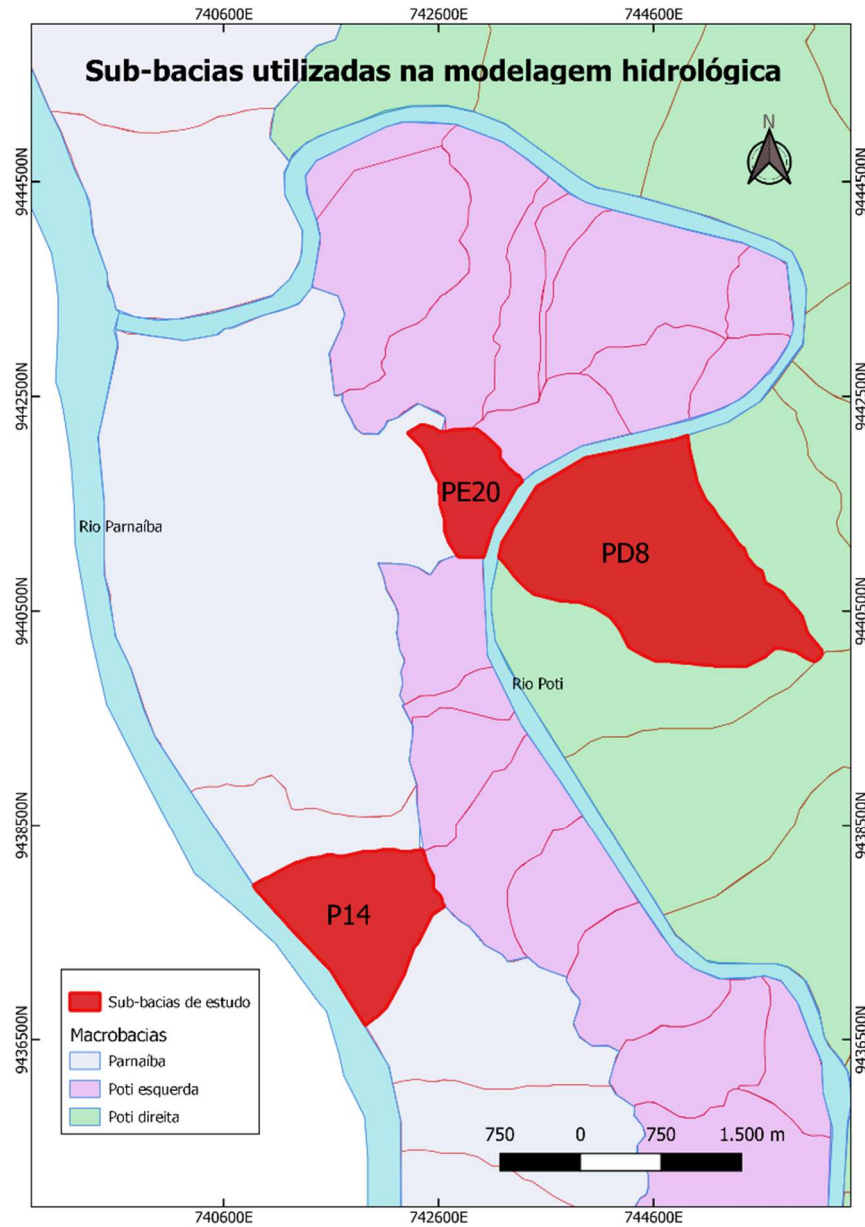


As sub-bacias dos rios Parnaíba e Poti escolhidas para o estudo de caso foram as PD08, PE20 e P14 consideradas áreas sujeitas a inundações, segundo identificação e mapeamento pelo PMSB de Teresina (TERESINA, 2013). Nas três sub-bacias encontramos áreas consolidadas pela ocupação urbana, abrangendo áreas residenciais, comerciais e institucionais. Todas marcadas por transtornos causados pelas águas pluviais nos períodos das chuvas sazonais, - não necessariamente em períodos excepcionais de elevados índices pluviométricos – tais como: inundações, alagamentos, empossamentos e a obstrução de vias em função do volume de águas no escoamento superficial durante as chuvas. Na sua grande maioria, causados pelo elevado percentual de impermeabilização provenientes da urbanização.

A PD08, fica na zona leste de Teresina, onde podemos encontrar uma malha urbana com altos índices de ocupação residencial de classe média alta, logradouros públicos com capeamento asfáltico em sua grande maioria, presença do comércio em toda a extensão das avenidas principais e a presença Universidade Federal do Piauí (UFPI) e a Estação de Tratamento de Esgoto de Teresina – Leste (ETE-Leste), próximo ao exutório da bacia.

A PE20, margem esquerda do Poti, localiza-se na zona norte da cidade em um dos meandros do Poti, marcada por ocupações irregulares e densamente povoada com predominância residencial popular e alto índices de impermeabilização do solo, com ruas pavimentadas e ausência de áreas verdes. E por fim, a P14, localizada próximo ao marco zero da cidade, o assentamento mais antigo, onde fica o centro comercial da capital, tem seu exutório na avenida Maranhão (que canaliza o Parnaíba), com quase nenhuma cobertura vegetal e áreas permeáveis. A localização das sub-bacias P14, PD08 e P20 utilizadas como áreas de estudo são apresentadas na Figura 27.

Figura 27 – Localização das Sub-bacias P14, PD8 e PE20



Fonte: autor

4.2 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS E PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

Diversos materiais cartográficos foram utilizados para realização deste trabalho, juntamente com dados de outras fontes como manuais técnicos, livros, artigos científicos, dissertações, dentre outros.

Para identificação das áreas de estudo, foi utilizada imagens advindas do sensoriamento remoto, mais precisamente, imagens do Satélite da União Europeia, Sentinel 2. Com resolução espacial de 10 metros em 4 bandas (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) a composição utilizada em cor verdadeira foi RGB 04/03/02. Sendo necessárias duas imagens para a cobertura do município de Teresina, capturadas em 13 de outubro de 2020, que unidas em mosaico no *software* Qgis 3.18, forneceram valiosas informações sobre a disposição da malha urbana na dinâmica com as macrobacias dos rios Parnaíba e Poti.

Sobre as características topográficas utilizou-se as imagens SRTM, obtidas via internet no site EarthExplorer-USGS, para o modelo digital de elevação (MDE) que resultou nos mapas hipsométrico e de declividade de cada uma das sub-bacias de estudo. Os dados hidrográficos referentes a bacia do Parnaíba e seus afluentes, dentre eles, o Poti, foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA), o que permitiu a identificação das macrobacias e seus divisores de águas.

As sub-bacias da área urbana de Teresina, suscetíveis a inundações, foram obtidas do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Teresina. Os limites dos estados e municípios do Brasil a partir da base de dados do IBGE. Com os dados obtidos, elaboraram-se mapas em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas), onde foi realizado os cruzamentos destas informações para identificação com precisão das áreas de estudo, bem como dados a serem inseridos no SWMM na simulação hidrológica.

No que se refere aos programas computacionais, o *software* Qgis 3.18 foi utilizado para o levantamento, manuseio de dados e informações cartográficas, bem como o geoprocessamento de dados vetoriais e matriciais, gerenciamento de informações espaciais e produção de novos materiais cartográficos e de mapas. Na modelagem hidrológica, o *software* utilizado foi o SWMM 5.1 que simulou inicialmente a chuva característica de Teresina, pelo modelo dinâmico chuva-vazão, onde se mensurou a quantidade e qualidade do escoamento superficial do sítio urbano, e posteriormente, com a utilização dos módulos de dispositivos de baixo impacto, a modelagem de dados de captação, retenção das precipitações e escoamentos resultantes.

4.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DAS SUB-BACIAS

As informações e dados das sub-bacias de estudo, para a simulação hidrológica, foram obtidos no PDDUr de Teresina, nos materiais cartográficos supracitados e nos levantamentos e manipulação de dados SIG. Dentre estes parâmetros temos o percentual de área impermeável da sub-bacia, sua declividade e o parâmetro de rugosidade. As séries temporais também fazem parte dos parâmetros de entrada, sendo um dos mais importantes dados para a modelagem hidrológica no *software* SWMM, obtidas a partir das séries históricas de precipitações registradas nas estações meteorológicas presentes na capital.

4.4 ADEQUABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DOS TELHADOS VERDES

Para utilização dos telhados verdes como dispositivos compensatórios nas sub-bacias de estudo, foi empregado o uso de cenários hipotéticos considerando a necessidade de se instalar e mensurar estas técnicas em estruturas já existentes, o que se demanda identificar os locais (telhados) que possuem capacidade natural de suporte.

O levantamento das áreas dos telhados foi realizado manualmente em ambiente SIG, sobrepondo as imagens de satélite nos limites da área de estudo com o intuito de identificar e quantificar todos os telhados individualmente, que posteriormente, somada as partes teríamos a totalidade destas áreas impermeáveis, aptas a receberem os telhados verdes.

No estudo do processo, para uma melhor adequação da técnica utilizada, foi realizada minuciosa revisão de literatura em manuais, livros e recomendações técnicas na busca dos parâmetros físicos que mais influenciavam na escolha dos telhados verdes, bem como os fatores limitantes ao uso dessa técnica compensatória.

Para tanto, a observância de critérios técnicos eficazes, do ponto de vista técnico e legal, é essencial, a fim de uma representação fidedigna e representativa nestes cenários, das técnicas compensatórias nas sub-bacias de estudo. Tal procedimento, permite uma visão diagnostica dos impactos do uso destes dispositivos, em uma região consolidada pela urbanização, a partir do comportamento dos hidrogramas das sub-bacias.

4.5 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Nesta etapa, foi analisado o comportamento da vazão em função do tempo de concentração quanto à implantação dos telhados verdes como técnicas compensatórias. Na simulação hidrológica aplicou-se cenários onde os telhados verdes eram dispostos em parcelas de ocupação nas sub-bacias estudadas, visando uma aproximação de situações reais de uso.

Os dados utilizados na simulação hidrológica são dados reais de precipitação oriundos das estações meteorológicas instaladas em Teresina. Com o auxílio do SWMM 5.1 criou-se, separadamente, os modelos das 3 sub-bacias de estudo. O cenário básico foi a simulação hidrológica com cada uma das sub-bacias sem os telhados verdes. Concluída a etapa sem os dispositivos compensatórios, iniciou-se a criação dos cenários hipotéticos de ocupação da sub-bacia, composta por telhados verdes em diferentes proporções, permitindo efeitos distintos no hidrograma da sub-bacia.

Nessa fase do procedimento, o uso de diferentes percentuais de ocupação dos telhados verdes na extensão da sub-bacia, permitiu avaliar o uso do dispositivo em cenários onde sua utilização pode ser limitada, em situações em que as condições técnicas são desfavoráveis ao uso de tais dispositivos.

No estudo das Sub-bacias emergenciais, utilizamos a equação intensidade-duração-frequência (IDF) de Teresina com duração de 60 minutos e tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos. A equação utilizada para a simulação hidrológica foi a do PDDUr de Teresina (TERESINA, 2010):

$$i = \frac{1194,273 * TR^{0,1738}}{(t+10)^{0,7457}} \quad (01)$$

Onde: i = intensidade média da precipitação (mm/h)
 TR = tempo de retorno (anos)
 t = duração da chuva (minutos)

Outro parâmetro utilizado é o tempo de concentração (t_c), tempo necessário para o escoamento fluir do ponto mais a montante da bacia até seu exultório. O PDDUr de Teresina (TERESINA, 2012) ao analisar as características das bacias urbanas do

município adota o t_c , com base nos trabalhos Schaake et al. (1967) e Silveira (2005), uma vez que a equação de Schaake apresenta os melhores resultados para determinação do t_c em Teresina. Assim, segundo o PDDUr de Teresina (TERESINA, 2012) temos o t_c como:

$$t_c = \frac{4,96 * L^{0,24}}{S^{0,16} * A_{imp}^{0,26}} \quad (02)$$

Onde: t_c = tempo de concentração (minutos)
 L = comprimento do talvegue (Km)
 S = declividade (m/m)
 A_{imp} = fração de área impermeável

Considerando as sub-bacias de estudo, temos a PD8 com área igual a 3,775km² e t_c de 14,98 minutos, a PE20 com área igual a 0,773km² e t_c de 11,82 minutos e a P14 com área igual a 1,685km² e t_c de 12,70 minutos (TERESINA, 2012). Desta forma, adotou-se um tempo de duração para a chuva de projeto igual a 60 minutos, baseado no critério utilizado pelo PDDUr de Teresina (TERESINA, 2012) em adotar valores, “no mínimo, uma vez e meia maior que o tempo de concentração da bacia analisada”.

No horizonte de projeto de drenagem urbana, a utilização de dispositivos compensatórios também deve contemplar as recomendações utilizadas nos sistemas de microdrenagem e de macrodrenagem, cuja ocorrência tem períodos de retorno de até 10 anos, para o primeiro e de até 100 anos, para o segundo. No presente estudo, foi adotado para o dimensionamento dos telhados verdes os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos nas chuvas de projeto, com duração de 60 minutos.

Os dados hidrológicos e hidráulicos foram obtidos por meio de imagens de satélite, SIG e no PDDUr de Teresina (TERESINA, 2012). Na tabela 3 temos o resumo dos dados do cenário real.

Tabela 3 – Caracterização das sub-bacias do estudo

Sub-bacia	Área (ha)	CN	Largura (m)	Declividade	% de área impermeável
PD08	382,31	81,7	2730,78	9	61,80
PE20	77,32	83,2	603,20	11	96,92
P14	168,50	89,8	886,84	9	96,92

O procedimento de simulação das sub-bacias acontece de forma separada, das parcelas permeáveis e impermeáveis em superfícies de escoamento, e na sequência soma-se o escoamento das duas parcelas para a obtenção do escoamento da bacia. Quando da instalação dos dispositivos compensatórios, faz necessário o ajuste de alguns parâmetros tais como o percentual impermeável e a largura de escoamento.

De acordo com o manual SWMM (ROSSMAN, 2012), a largura de escoamento é determinada pela razão entre a área da bacia e o comprimento médio de escoamento. Com os telhados verdes, deve-se recalcular a largura característica da bacia, subtraindo da área total da bacia as áreas ocupadas pelos dispositivos LID. O índice de áreas permeáveis aumenta, uma vez que os telhados verdes ocupam as áreas dos telhados, o que reduz nos parâmetros do simulador o percentual de áreas impermeável, do CN e do percentual de áreas impermeáveis sem armazenamento em depressões.

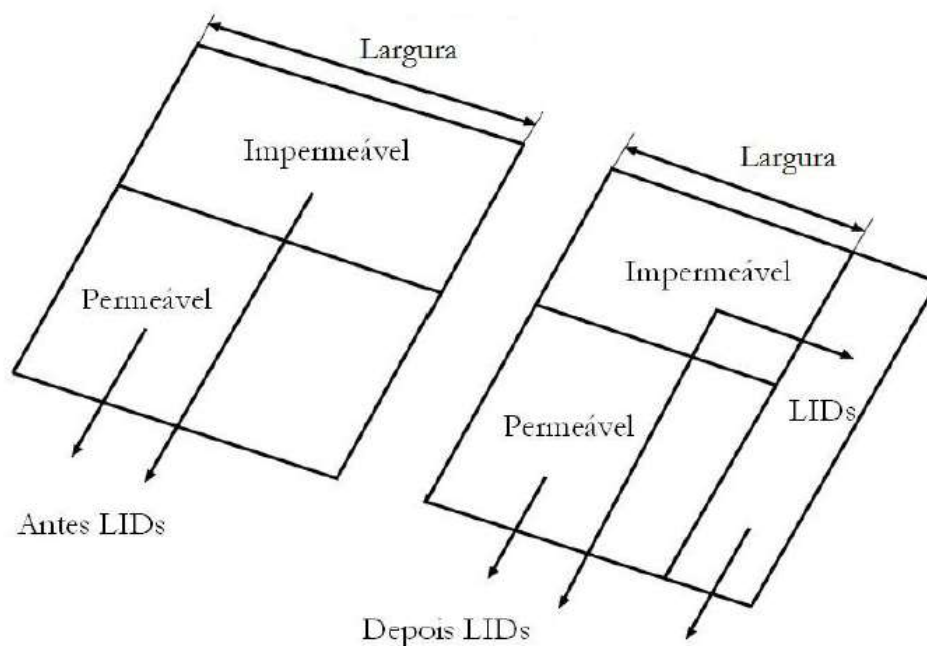
A simulação com os dispositivos compensatórios para o cálculo do escoamento superficial leva em conta que uma parcela impermeável do escoamento é conduzida para os telhados verdes e o restante do deflúvio, inclusive o extravasado do dispositivo compensatório, são direcionados ao exutório. Na figura 28 temos a configuração das superfícies de escoamento com e sem os dispositivos LID.

E por fim, foram gerados os hidrogramas no *software* SWMM 5.1 das precipitações, cujos parâmetros foram elencados acima. No modelo SWMM utilizou-se o método do SCS para estimativa do escoamento superficial, a partir da Curva-Número (CN).

Como resultados temos diversos hidrogramas, de forma a representar cada cenário de ocupação dos telhados verdes em distintos tempos de retorno, o que

possibilitou realizar um paralelo entre o hidrograma atual das sub-bacias de estudo e os de cada cenário projetado.

Figura 28 – Fluxo de escoamento em bacias com e sem os telhados verdes representadas no simulador SWMM 5.1



Fonte: ROSSMAN, 2012

4.5.1 Telhados Verdes

Nos cenários utilizados na simulação hidrológica foi considerado cinco percentuais de controle LID nos telhados, sendo os telhados verdes na proporção de 10%, 25%, 50%, 75% e 100%. Como critério, todos os telhados identificados nas áreas de estudo foram habilitados a receber os dispositivos compensatórios, no entanto, em situações reais, dificilmente teríamos a totalidade dos telhados sendo ocupados por telhados verdes. Devido a fatores limitantes como a estrutura dos telhados existentes e a declividades elevadas. Daí a utilização de faixa de utilização variando de 10% a 100% de ocupação. Assim, poderíamos nos aproximar de situações reais de ocupação e utilização dos dispositivos, bem como a resultados mais próximos a realidade do impacto da vazão e do volume de deflúvio na bacia. Na tabela 4 são apresentados os parâmetros inseridos no programa, bem como os

devidos ajustes nos valores da largura característica e no percentual de área impermeável.

Tabela 4 - Dados para cenários diversos na utilizados de telhados como telhados verdes – Tempo de Retorno (TR) de 5, 10 e 25 anos

Sub-bacia	Cenários: % de Telhados Verdes	Área de telhados verdes (ha)	% de área de telhados nas sub-bacias	% de área impermeável	% impermeável atualizado	Largura atualizada (m)
PD08	10	6,87	1,80	61,8	61,40	2468,67
	25	17,17	4,49		60,70	2316,41
	50	34,35	8,98		59,60	2144,69
	75	51,52	13,48		58,40	2013,01
	100	68,69	17,97		57,00	1901,99
PE20	10	3,03	3,92	96,92	96,80	579,53
	25	7,58	9,81		96,58	544,03
	50	15,17	19,62		96,18	489,85
	75	22,76	29,49		95,72	425,68
	100	30,34	39,24		95,05	366,51
P14	10	10,86	6,45	96,92	96,73	829,67
	25	27,16	16,12		96,35	743,91
	50	54,32	32,23		95,53	600,97
	75	81,47	48,35		94,24	458,04
	100	108,63	64,47		91,89	315,10

A camada do controle LID telhado verde no modelo SWMM permite a configuração de alguns parâmetros como a superfície, o solo e a manta de drenagem. Os dados de solo podem ser ajustados de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos, uma vez que pode ser utilizado solo nativo no substrato do telhado verde. Na tabela 5 temos os dados inseridos no programa acompanhando a classificação de Martins (2017).

Tabela 5 – Parâmetros das camadas do controle LID telhado verde

Camada	Parâmetro	Unidade	Valor
Superfície	Armazenamento	mm	0,00
	Volume de vegetação	%	0,90
	Rugosidade (n)	-	0,10
	Declividade	%	20,00
Solo	Espessura	mm	150,00
	Porosidade	%	0,437
	Capacidade de campo	Mm	0,105
	Ponto de murcha	%	0,047
	Condutividade	mm/hr	3,00
	Condutividade	%	10,00
	Sucção capilar	Mm	2,40
Dreno (Manta de drenagem)	Coefficiente de drenagem	-	3,00
	Fração de vazios	-	0,50
	Rugosidade n	Mm	0,10

Fonte: MARTINS, 2017

E por fim, como resultado do trabalho de pesquisa sobre a utilização dos telhados verdes como instrumento de mitigação de alagamento em Teresina, foi gerado o **Manual de Técnica de Controle na fonte: Telhados Verdes**, apresentado neste relatório no Apêndice A.

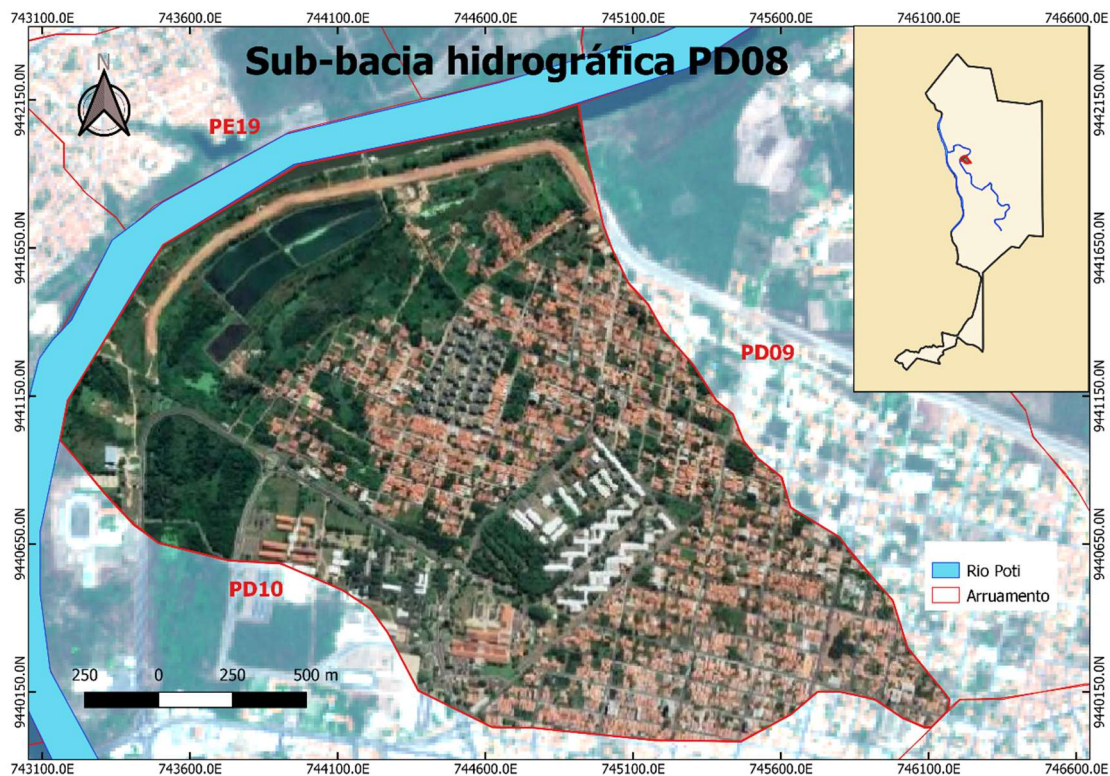
O presente Manual, com foco na técnica telhado verde, tem a finalidade de auxiliar profissionais, agentes públicos e a população em geral, a importância dessa técnica em drenagem na engenharia, na arquitetura e no planejamento urbano para os municípios brasileiros.

4.5.2 Sub-bacias hidrográficas do rio Poti

Para simulação hidrológica foram tomadas duas sub-bacias do rio Poti, a PD8 e a PE20 definidas pelo PDDUr de Teresina e classificadas como áreas emergenciais suscetíveis a inundações (vide figura 26), localizadas na área urbana da capital do estado do Piauí, sendo uma na margem direita e outra na margem esquerda do Poti,

com a simulação direcionada desde o cenário real (condição atual), a variados cenários hipotéticos, de instalação dos telhados verdes. Nesse modelo, via SWMM, caracteriza-se a sub-bacia com a inserção da área da bacia, a largura característica, a declividade e os índices das áreas permeáveis e impermeáveis, pelo coeficiente n de Manning. Além dos parâmetros CN, já definidos pelo PDDUr de Teresina (2012), também foi lançado os dados, referente aos percentuais de zonas impermeáveis sem armazenamento em depressões e o percentual das áreas impermeabilizadas, parâmetros de infiltração das sub-bacias, fazendo uso do modelo do processo físico, chuva-vazão. A sub-bacia PD08, localizada na margem direita do Poti é apresentada na figura 29.

Figura 29 – Sub-bacia do rio Poti, na margem direita, Teresina-PI



Fonte: autor

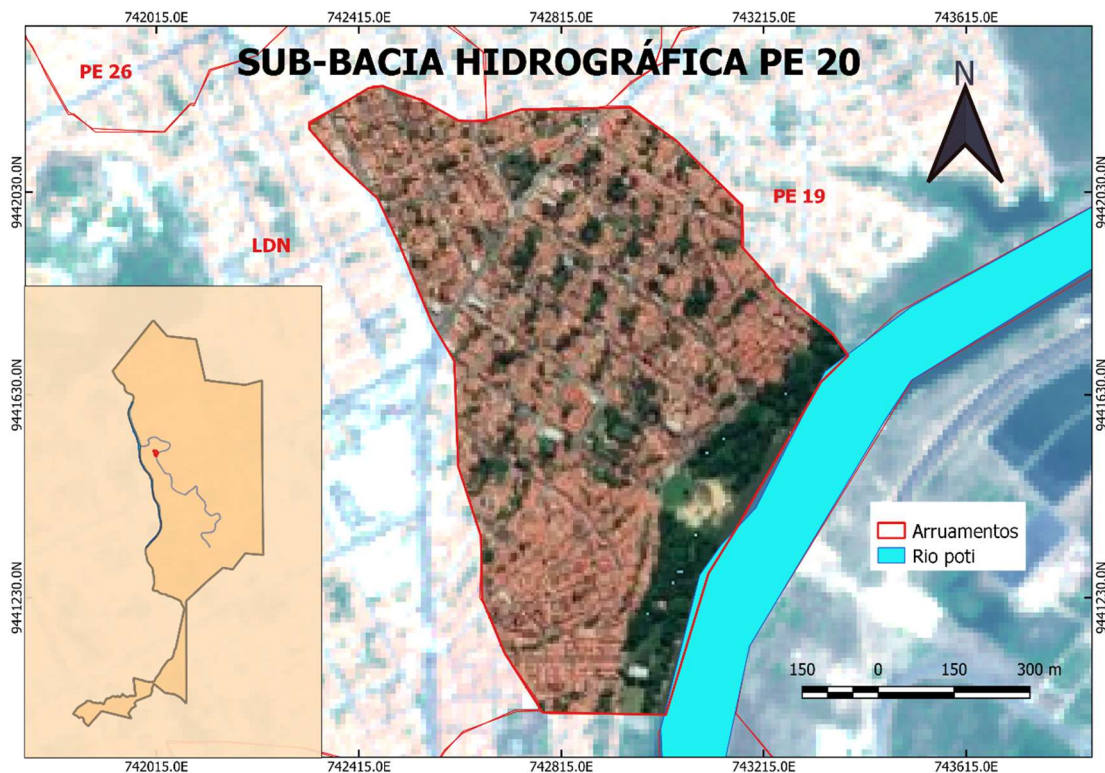
Localizada na zona leste de Teresina, com toda sua extensão na área urbana, a sub-bacia PD08 é caracterizada pela presença de trechos de inundações decorrentes das cheias do rio Poti. Com cotas em torno dos 40m, na foz, encontra-se nas proximidades lagoas artificiais destinadas ao tratamento de esgotos e áreas úmidas naturais alimentadas pela infiltração da água do Poti e pelo escoamento das

regiões mais altas, que apresentam junto a cabeceira, cotas próximas dos 85m (TERESINA, 2010).

No que se refere a drenagem na sub-bacia PD08 o PDDUr de Teresina (TERESINA, 2010) identifica trechos com logradouros sem pavimentação interceptados por arruamentos com revestimento asfáltico, dificultando a passagem da tormenta e promovendo o seu acúmulo em toda a extensão do trecho. O plano identifica ainda, diversos pontos de alagamentos em função da deficiência no sistema de drenagem, onde a capacidade de fluência é rapidamente superada, somado a elevação da cota dos pavimentos asfálticos, em função do capeamento corretivo.

A sub-bacia PE20, situada na margem esquerda do Poti, zona norte de Teresina (figura 30) com forma triangular alongada apresenta na cabeceira cotas em torno dos 75m e junto ao exutório, valores próximos aos 30m, com a presença de poucos dispositivos de drenagem que funcionam em sobrecarga diante de uma consolidada ocupação do solo (TERESINA, 2010).

Figura 30 – Sub-bacia do rio Poti, na margem esquerda, Teresina – PI



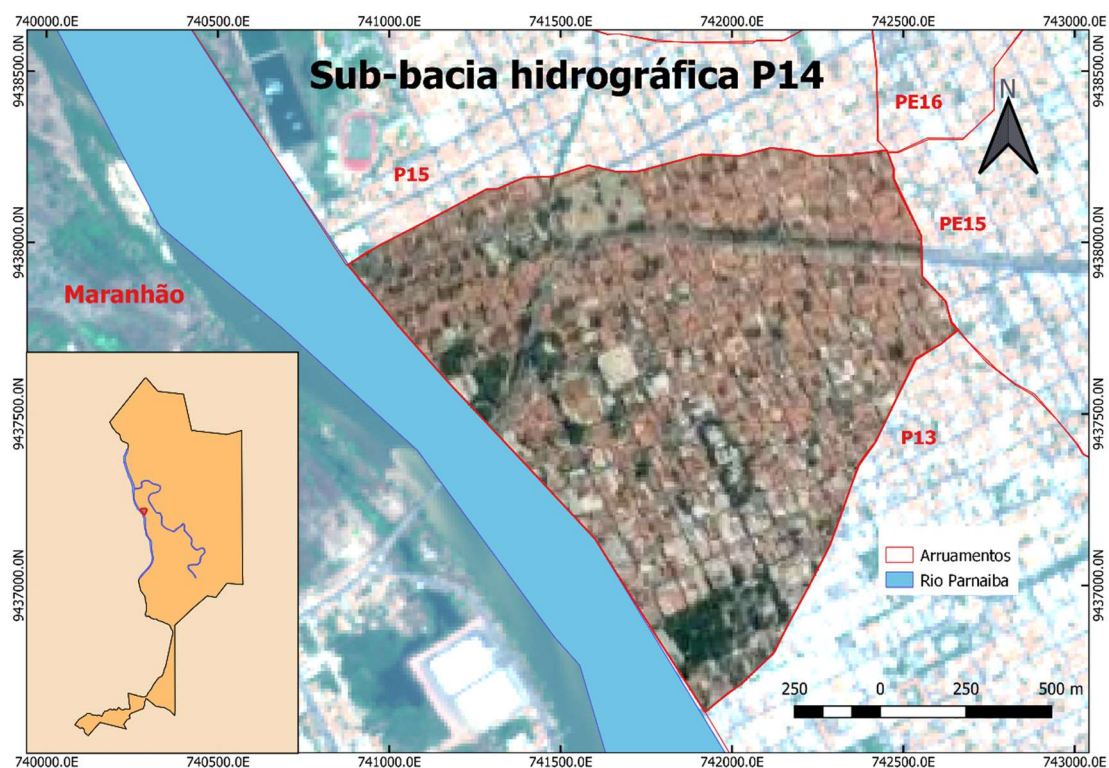
Fonte: autor

Segundo as considerações de Lima (2016) a sub-bacia PE20 apresenta um nível médio de susceptibilidade, favorável ao escoamento, com ressalvas a drenagem em função da amplitude altimétrica mediana, o que exige monitoramento, uma vez que a área apresenta elevado grau de ocupação, especialmente do tipo residencial.

4.5.3 Sub-bacia hidrográfica do rio Parnaíba

Foi contemplado também no estudo de caso a sub-bacia P14, situada na margem direita do rio Parnaíba, na qual apresenta elevado grau de antropização, uma vez que se concentra inteiramente no perímetro urbano, na zona central de Teresina, com as maiores cotas em torno dos 60m e as menores, por volta dos 30m junto a margem do Parnaíba (TERESINA, 2010). A sub-bacia hidrográfica P14 do rio Parnaíba é apresentada na figura 31.

Figura 31 – Sub-bacia hidrográfica do rio Parnaíba, na margem direita, Teresina – PI



Fonte: Autor

O PDDUr de Teresina (TERESINA, 2010) indica a Av. Maranhão como o trecho mais suscetível as enchentes do rio Parnaíba, que com o transbordo da margem menor do rio inunda-se a respectiva avenida (figura 32), que por sua vez, provoca o remanso no interior das tubulações resultando no impedimento do escoamento na rede de drenagem pluvial. Com alto índice de ocupação do solo, distribuído no uso comercial e residencial, é favorável ao escoamento, mas com potencial reduzido devido à baixa amplitude altimétrica (LIMA, 2016).

Figura 32 – Inundação do rio Parnaíba no ano de 1985, com trecho da Av. Maranhão submerso



Fonte: TERESINA (2010)

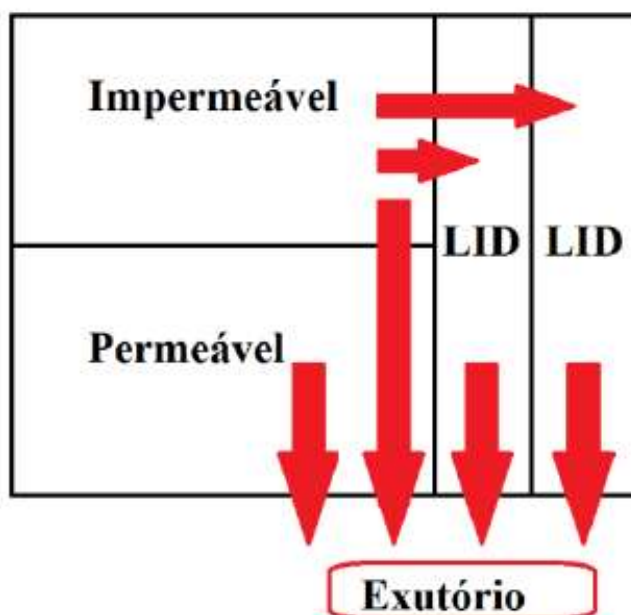
4.5.4 Cenário final

A etapa final da modelagem hidrológica, junto ao SWMM, consistiu na construção de cenários onde a utilização dos telhados verdes foi distribuída em parcelas de 10%, 25%, 50%, 75% e 100% da área impermeável ocupada pelos telhados presentes nas sub-bacias. Tal variação permitiria a utilização dos telhados verdes em combinação com outras técnicas compensatórias à medida que se identificassem limitações técnicas a sua utilização, bem como o conhecimento de seu desempenho a partir dos seus respectivos resultados nos cenários individuais.

O modelo SWMM, permite a utilização de vários tipos de técnicas compensatórias (controle LID), em paralelo e linear. No entanto, as ligações em

paralelo, serão realizadas entre as áreas impermeáveis e os dispositivos LID (figura 33), não sendo permitido, na simulação, a ligação de uma LID com outra LID ou destas com áreas permeáveis, ou seja, os dispositivos LID no modelo SWMM, só poderão receber as águas precipitadas nos mesmos e o escoamento oriundo das áreas impermeáveis, onde paralelamente com as áreas permeáveis serão direcionadas ao exutório (MARTINS, 2017).

Figura 33 – Representação de uma bacia hidrográfica com mais de um tipo de LID no SWMM



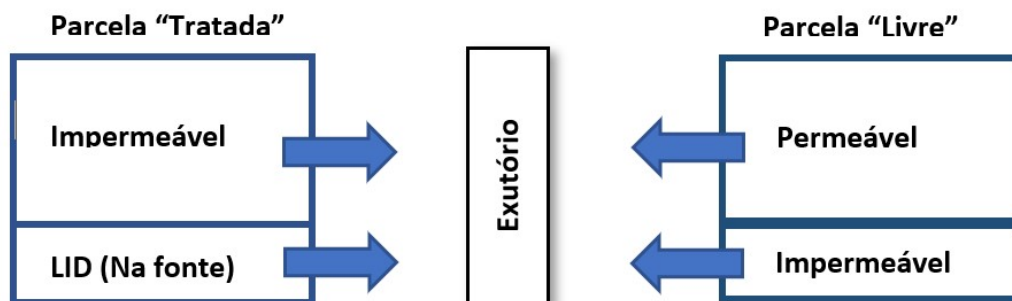
Fonte: MARTINS, 2017

A configuração final (figura 34) é estruturada na utilização de uma técnica compensatória pontual, da parcela impermeável representada pelo telhados, associado a uma parcela livre, criando-se um cenário final para a simulação hidrológica, ou seja, o modelo foi construído considerando duas parcelas, a primeira parcela “tratada”, sendo composta pelas áreas impermeáveis dos telhados que receberam os dispositivos LID - pontualmente; a segunda parcela “Livre”, são as demais áreas da bacia hidrográfica (permeáveis e impermeáveis) que não receberam nenhum tipo de técnica compensatória.

Nesta configuração a simulação ficou concentrada na área impermeável da parcela tratada com variações no tamanho da ocupação da LID. Tais variações do

controle LID, nas áreas impermeáveis dos telhados, obtidas no cenário final, tem o objetivo de se aproximar das condições reais de uso desses dispositivos, uma vez que seria pouco provável a ocupação de todos os telhados existentes em uma bacia, por telhados verdes.

Figura 34 – Representação de uma bacia hidrográfica com técnica compensatória na fonte estruturada no modelo SWMM



Fonte: Adaptada de MARTINS, 2017.

Nesta configuração a simulação ficou concentrada na área impermeável da parcela tratada com variações no tamanho da ocupação da LID. Tais variações do controle LID, nas áreas impermeáveis dos telhados, obtidas no cenário final, tem o objetivo de se aproximar das condições reais de uso desses dispositivos, uma vez que seria pouco provável a ocupação de todos os telhados existentes em uma bacia, por telhados verdes.

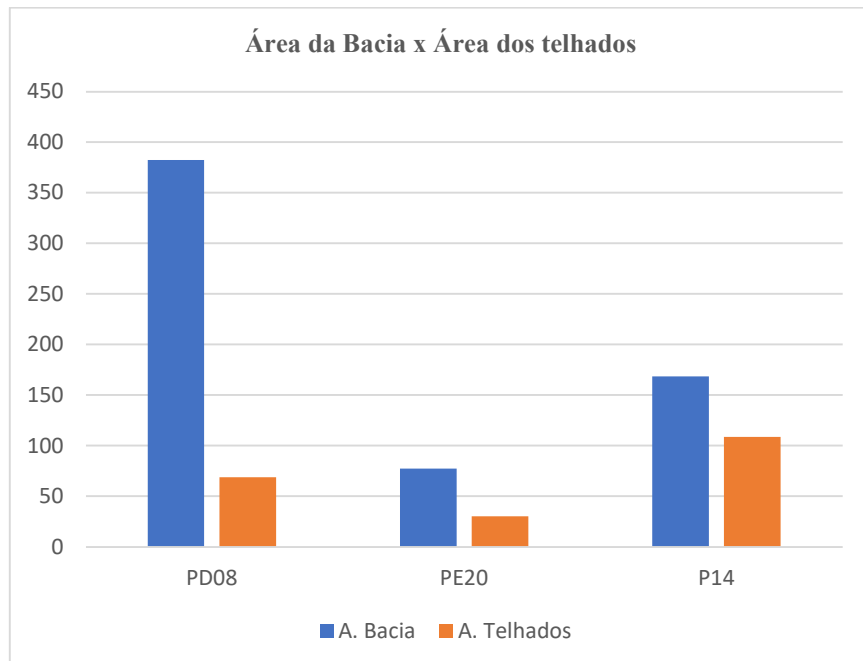
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A instalação dos telhados verdes é possível nas sub-bacias estudadas. No entanto, deve-se considerar limitações de ordem técnica quanto a sua instalação, como declividade e tipo de estrutura que são fatores restritivos, não dispensando a análise de profissional de engenharia.

5.1 ADEQUAÇÕES À IMPLANTAÇÃO DOS TELHADOS VERDES

A instalação dos telhados verdes é possível em todas as sub-bacias estudadas. No entanto, deve-se considerar limitações de ordem técnica quanto a sua instalação, como declividade e tipo de estrutura que são fatores restritivos, não dispensando a análise de profissional de engenharia (MARTINS, 2017). Na figura 35 temos a relação das áreas ocupadas pelos telhados verdes, considerando todos telhados nas suas sub-bacias PD08, PE20 e P14, com áreas, respectivamente, de 68,69 hectares, 77,32 ha e 168,50 ha o que representa 17,97%, 39,24% e 64,47% da área total de cada sub-bacia.

Figura 35 – Relação da Área da Bacia e as Áreas dos Telhados



Fonte: AUTOR

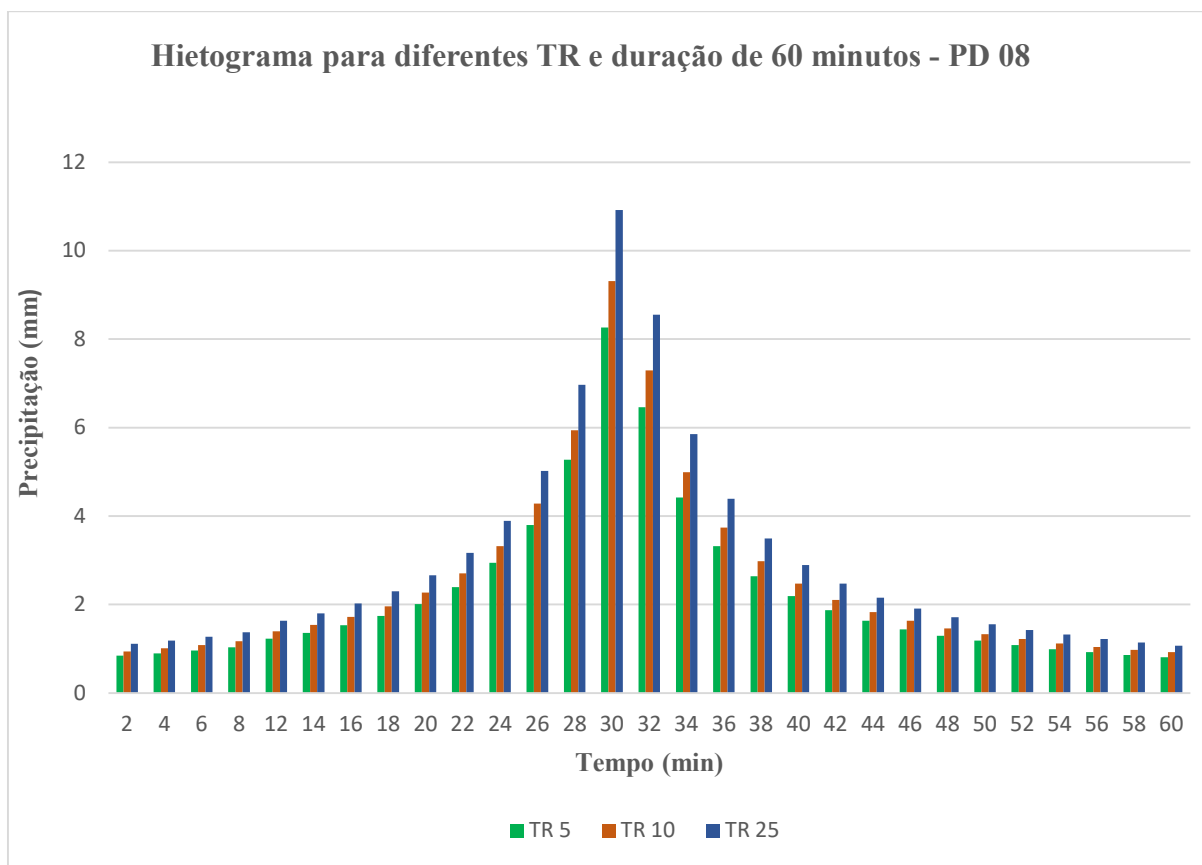
5.2 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Nos cenários seguintes teremos a distribuição dos telhados verdes nas sub-bacias em diferentes percentuais. Foram simuladas chuvas de projeto com precipitação de 60 minutos, representada por blocos alternados em intervalos de tempo de 2 minutos e tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos. Pela configuração de muitos cenários simulados, serão analisados os resultados mais relevantes para análise e discussão.

5.2.1 Sub-bacia PD 08

O hietograma utilizado na construção da série temporal das Sub-bacias estudadas pode ser visto na figura 36.

Figura 36 – Hietogramas da Sub-bacia PD 08 pelo método dos blocos alternados com duração de 60 minutos e diferentes tempos de retorno

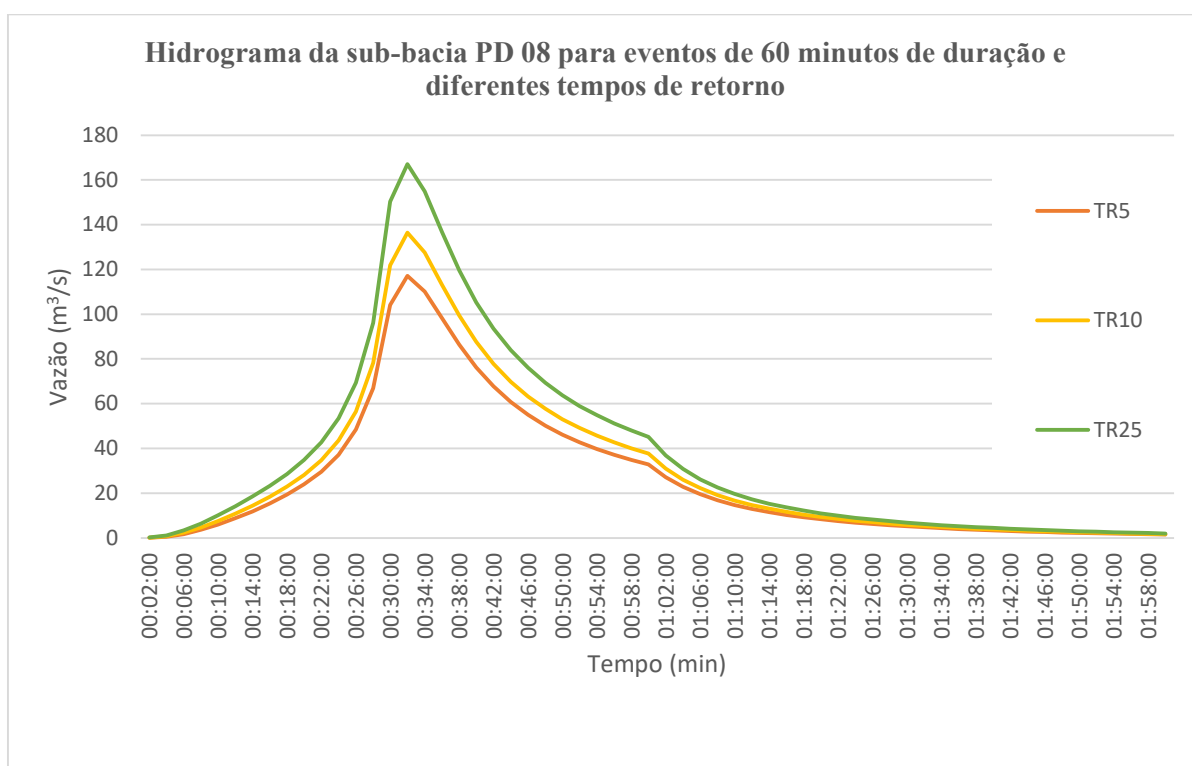


É importante mencionar que, nas simulações hidrológicas o método dos blocos alternados conduz a uma potencialização do pico dos hidrograma da bacia, onde os blocos centrais ocupam a extremidade do gráfico, à medida que se diminui os

intervalos de tempo. No SWMM o menor valor admitido na simulação hidrológica é de 1 minuto, valor adotado neste trabalho, uma vez que as áreas de estudo são relativamente pequenas, vem a refletir nos hietogramas apresentados, com intervalos entre os blocos curtos.

Os hidrogramas da Sub-bacia PD 08 para diferentes Tempos de Retorno de precipitação estão presentes na Figura 37.

Figura 37 – Hidrogramas para a sub-bacia PD 08 pertencente a bacia hidrográfica do rio Poti

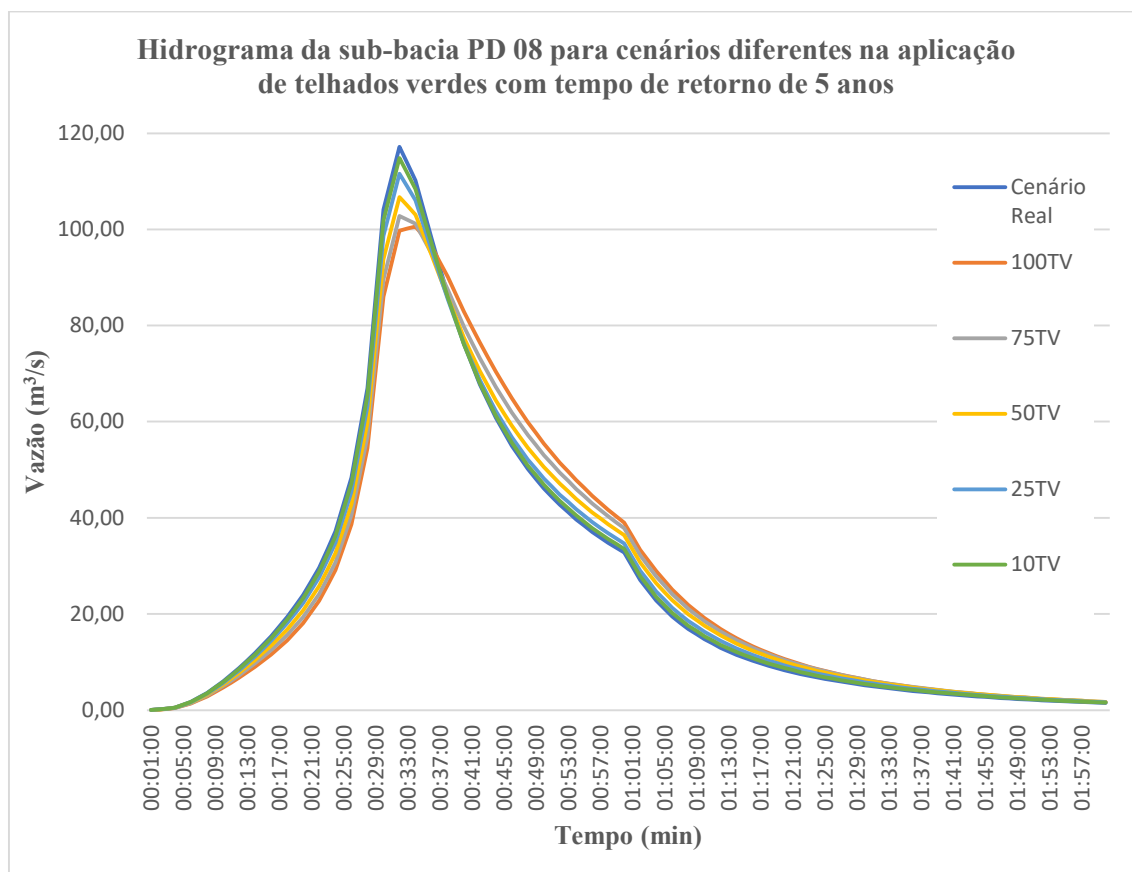


Analisando os resultados na figura 37, onde se considera na simulação diferentes tempos de retorno com precipitação de 60 minutos, observa-se que à medida que aumenta a precipitação na bacia, temos também um incremento ascendentes do valor da vazão de pico, partindo aproximadamente $117\text{m}^3/\text{s}$ para tempo de retorno de 5 anos para cerca de $167\text{m}^3/\text{s}$ com tempo de retorno de 25 anos, um aumento de 42,7%. O tempo de pico para todos os hidrogramas ficou em torno dos 32 minutos.

5.2.1.1 Telhados Verdes na Sub-bacia PD 08

Na figura 38 é apresentado o gráfico dos diferentes cenários com telhados verdes em relação ao cenário real para tempo de retorno de 5 anos.

Figura 38 – Hidrogramas da sub-bacia PD 08 com aplicação de telhados verdes



Nos hidrogramas da figura 38, o tempo de retorno de 5 anos com precipitação de 60 minutos, chega a picos de vazão por volta dos 32 minutos no cenário real. Este cenário, sem dispositivos LID, é utilizado em comparação com demais cenários simulados, onde a disposições de telhados verdes é de 10%, 25%, 50%, 75% e 100% de ocupação sobre os telhados.

Em relação ao tempo transcorrido do início da precipitação até se alcançar o volume máximo de escoamento, obteve-se nos cenários simulados com ocupação de 100% de telhados verdes, o valor de 34 minutos. Enquanto dos demais cenários este tempo acompanha o valor do cenário sem LID, que fica em torno dos 32 minutos.

No pico de vazão sem os telhados verdes (cenário real), a tormenta chega ao volume de aproximadamente $117\text{m}^3/\text{s}$, atingido aos 32 minutos do início do evento. Se considerado uma ocupação de 100% dos telhados por telhados verdes, a vazão máxima, cai para $100,6\text{m}^3/\text{s}$, uma redução de 14,02% no pico de vazão e um retardo de 2 minutos para se chegar ao pico. Nesse caso, com a instalação de 100% dos telhados por telhados verdes na sub-bacia PD08, temos uma redução em torno de $16\text{m}^3/\text{s}$ e o retardo do pico de vazão para os 34 minutos.

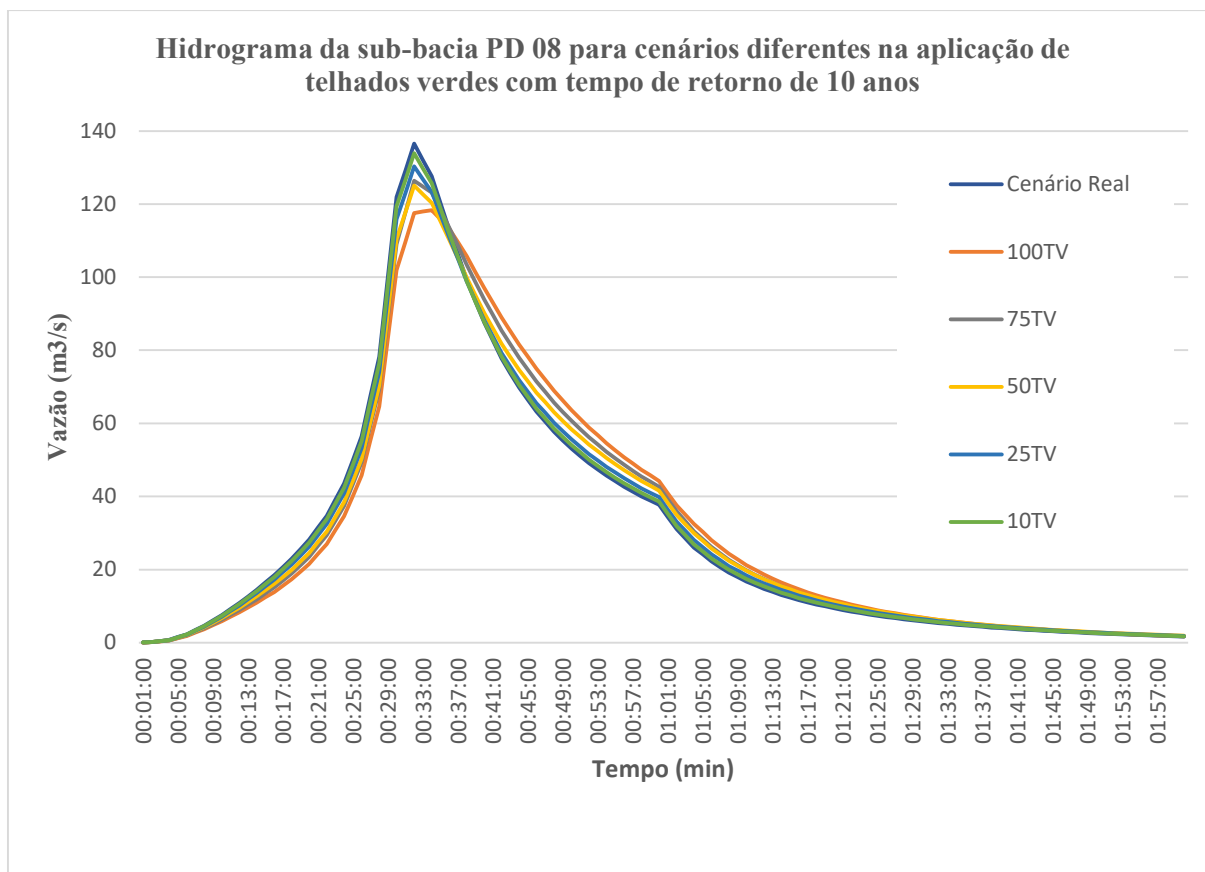
Os resultados do incremento de telhados verdes na sub-bacia PD08 em diferentes percentuais de ocupação, considerando TR 5 anos, são expostos na tabela 6.

Tabela 6 – Comparação entre hidrogramas em diversos cenários com a utilização de telhados verdes em relação ao cenário real para TR 5 anos.

Cenário Telhados Verdes (%)	Redução vazão de pico (%)	Redução tempo de pico (%)	Redução volume (%)	Redução de volume (m3)
100	14,18	5,88	14,92	33.580,80
75	12,30	0,00	12,30	27.688,32
50	8,91	0,00	8,91	20.064,00
25	4,80	0,00	4,80	10.809,60
10	2,00	0,00	2,00	4.512,00

Considerando os cenários: 75%, 50%, 25% e 10% de ocupação dos telhados por telhados verdes, as reduções no escoamento, se materializam em, aproximadamente, 12%, 9%, 5% e 2%, respectivamente. No entanto, diferente do cenário de 100% de ocupação dos telhados, que conseguiu adiar a chegada ao pico, estes cenários apresentaram o mesmo tempo de chuva para se chegar ao pico de vazão. Considerando o tempo de retorno de 10 anos para a simulação, os hidrogramas nos diversos cenários são apresentados na figura 39.

Figura 39 – Hidrogramas da sub-bacia PD 08 com aplicação de telhados verdes
(TR 10 anos)



Nos hidrogramas, para as precipitações com tempo de retorno de 10 anos (cenário real), o aumento da vazão de pico na comparação com o TR de 5 anos foi de $19,35\text{m}^3/\text{s}$. O pico no cenário real, sem LID, ocorre em torno dos 32 minutos, com uma vazão de aproximadamente $136\text{m}^3/\text{s}$. No cenário com 100% de telhados verdes o pico se desloca chegando ao pico aos 34 minutos, seguido de queda na vazão, para $118,4\text{m}^3/\text{s}$. Na tabela 7, são apresentados os resultados da comparação entre diversos cenários com a utilização dos telhados verdes e o cenário real, considerando o tempo de retorno de 10 anos.

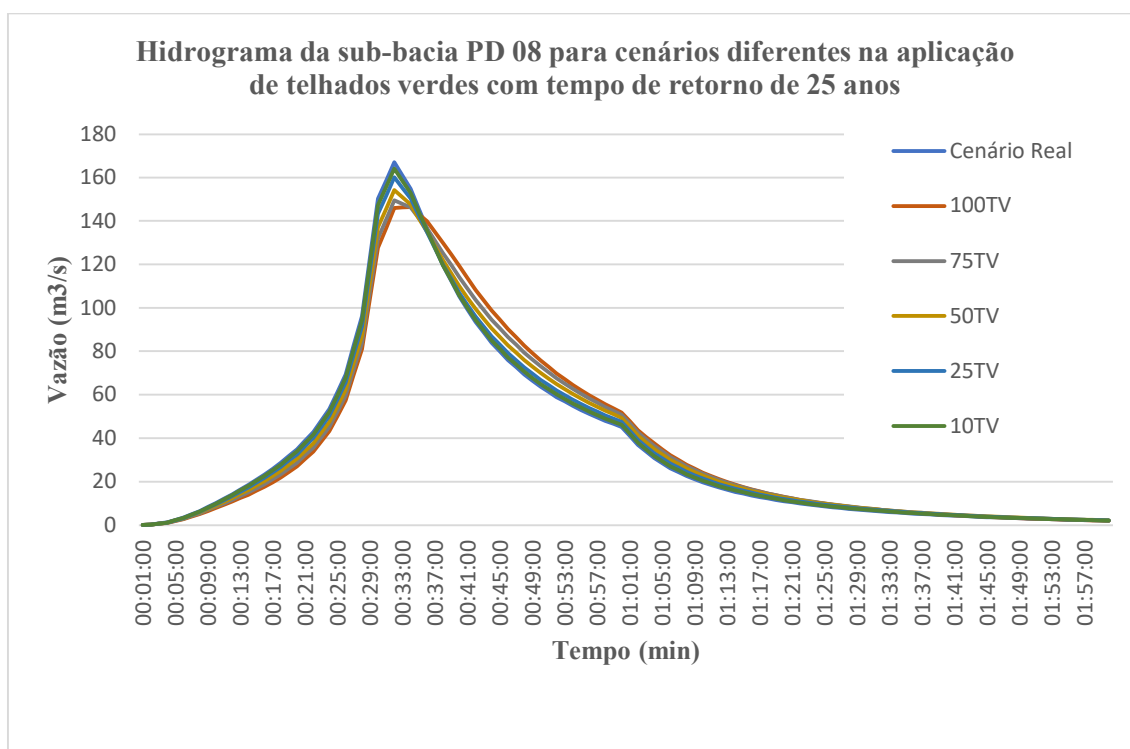
Tabela 7 – Comparação entre hidrogramas em diversos cenários com a utilização de telhados verdes em relação ao cenário real para TR 10 anos.

Cenário Telhados Verdes (%)	Redução vazão de pico (%)	Redução tempo de pico (%)	Redução volume (%)	Redução de volume (m3)
100	13,30	5,88	13,89	36.422,40
75	7,39	0,00	7,39	19.372,80
50	8,32	0,00	8,32	21.984,00
25	4,53	0,00	4,53	11.884,80
10	1,91	0,00	1,91	5.011,20

Nos demais cenários de 75%, 50%, 25% e 10% acompanham o tempo de pico do cenário real, apresentando reduções nas vazões e volumes escoados.

Para as chuvas de projeto com TR 25 anos, os hidrogramas nos diferentes cenários de simulação estão presentes na figura 40.

Figura 40 - Hidrogramas da sub-bacia PD 08 com aplicação de telhados verdes (TR 25 anos)



Nos hidrogramas apresentados, não se apresenta diferenças no tempo de pico entre os cenários, novamente em torno dos 32 minutos, com exceção do cenário de 100% dos telhados ocupados por telhados verdes, que ocorre 2 minutos após o tempo de pico do cenário real.

As diferenças ocorrem exclusivamente na magnitude dos volumes em comparação aos TR5 anos e TR10 anos, expressos em 29,9% e 18,6% de aumento, respectivamente, se considerado os valores do cenário real.

Na tabela 8 é possível identificar os resultados das simulações para o tempo de retorno de 25 anos, em diferentes cenários de representação por telhados verdes.

Tabela 8 – Comparação entre hidrogramas em diversos cenários com a utilização de telhados verdes em relação ao cenário real para TR 25 anos.

Cenário Telhados Verdes (%)	Redução vazão de pico (%)	Redução tempo de pico (%)	Redução volume (%)	Redução de volume (m3)
100	12,31	5,88	12,62	40.504,32
75	10,52	0,00	10,52	33.742,08
50	7,69	0,00	7,69	24.691,20
25	4,18	0,00	4,18	13.416,96
10	1,75	0,00	1,75	5.623,68

O controle de escoamento na sub-bacia hidrográfica PD08, conforme os resultados demonstrados. Mostra-se satisfatório com o uso dos dispositivos de controle, uma vez que, observa-se reduções consideráveis no volume de escoamento e no pico dos hidrogramas.

No que se refere à vazão de pico, observa-se redução significativa em todos os cenários simulados, sendo proporcional ao percentual de distribuição dos dispositivos com a redução da vazão de pico, ou seja, quanto maior a ocupação por telhados verdes na bacia, maior as reduções na vazão de pico.

Assim, a diferença detectada entre o cenário de menor redução e o de maior redução, é bastante significativa, aproximadamente 11%, o que sinaliza um desempenho satisfatórios dos dispositivos no controle do escoamento superficial. Na

figura 41 temos a comparação dos hidrogramas do cenário real e cada cenário com telhados verdes na sub-bacia PD 08.

Está tendência não é acompanhada pelo retardo de tempo para se chegar ao pico, com a utilização dos telhados verdes, onde na maioria dos cenários o tempo de pico se mantém igual ao cenário real (sem os dispositivos compensatórios).

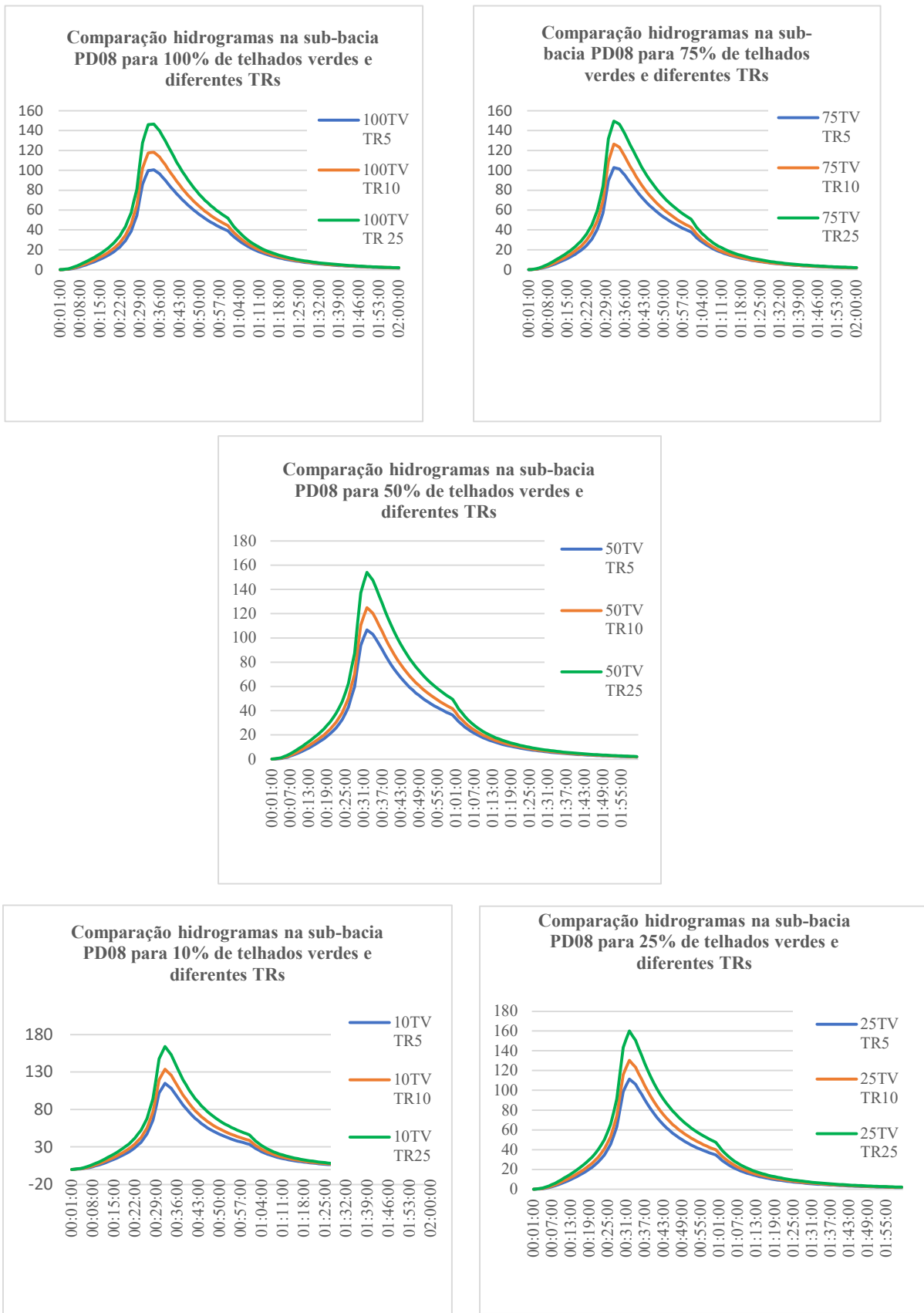
Com exceção do cenário de 100% de ocupação, mostrou um retardo de 2 minutos em relação ao cenário real, em todos os tempos de retorno adotados, ou seja, esse comportamento é reproduzido, na sub-bacia de estudo, tanto nas pequenas precipitações, quanto nas maiores.

Martins (2017) não identificou atraso no instante de pico com a utilização de telhados verdes - embora fosse esperado - ao realizar simulação hidrológica de telhados verdes em escala de bacia, auxiliado pelo modelo SWMM.

A análise dos resultados mostra-nos, um desempenho melhor nas precipitações menores em relação as maiores. Filho *et al* (2016) com base em 1200 simulações, em diferentes cenários, também afirma que telhados verdes tendem a responder melhor, em termos de eficiência, para chuvas de pequena altura pluviométrica e em intervalos menores de duração.

Para tempos de retorno de 5 anos e duração de precipitação de 60 minutos, sem dispositivos LID's, o pico de vazão é aproximadamente de $117,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Quando simulado a implantação de telhados verdes na metade da área dos telhados da bacia hidrográfica essa vazão cai para $106,7 \text{ m}^3/\text{s}$, uma redução de 9,65%. Considerando chuvas de projeto de 10 anos, a vazão máxima próxima dos $136,0 \text{ m}^3/\text{s}$ e a mesma ocupação de 50% dos telhados resultaria numa vazão de $125,1 \text{ m}^3/\text{s}$, ou seja, uma redução de 8,71%. Tais resultados demonstram uma maior retenção das precipitações nas chuvas de projeto com tempo de retorno menor.

Figura 41 – Comparação dos hidrogramas dos cenários com telhados verdes em diferentes tempos de retorno.



Outro fator que influencia na retenção nos telhados verdes, de acordo com Dietz (2007) é a combinação do armazenamento no substrato e a evapotranspiração pelas plantas. Segundo o autor a média de retenção em telhados verdes é de 63%, baseado em diversas pesquisas (tabela 9), a retenção de precipitação mostrou-se consistentemente entre 60% e 70%. No entanto, apesar do uso de diferentes espessuras de substrato, com profundidades maiores e inclinações mais baixas tiveram resultados ligeiramente melhores, o ganho na retenção não foi expressivo (DIETZ, 2007).

Tabela 9 – Retenção de precipitação em telhados verdes

Localização	Retenção de precipitação (%)	Espessura da média (cm)	Inclinação do telhado (%)	Referência
Augustenborg, Suécia	63,0	3,0	2,6	Bengtsson <i>et al.</i> 2005
Oregon, EUA	69,0	12,7	-	Hutchinson <i>et al.</i> 2003
Michigan, EUA	38,8	2,0	2,0	Monterusso <i>et al.</i> 2004
Michigan, EUA	58,1	1,0	2,0	Monterusso <i>et al.</i> 2004
Carolina do Norte, EUA	62,0	7,6	-	Moran <i>et al.</i> 2004
Carolina do Norte, EUA	63,0	10,2	3,0	Moran <i>et al.</i> 2004
Michigan, EUA	69,8	2,5	2,0	VanWoert <i>et al.</i> 2005
Michigan, EUA	70,7	4,0	2,0	VanWoert <i>et al.</i> 2005
Michigan, EUA	65,9	4,0	6,5	VanWoert <i>et al.</i> 2005
Michigan, EUA	68,1	6,0	6,5	VanWoert <i>et al.</i> 2005
Média	62,8			

Fonte: DIETZ (2007)

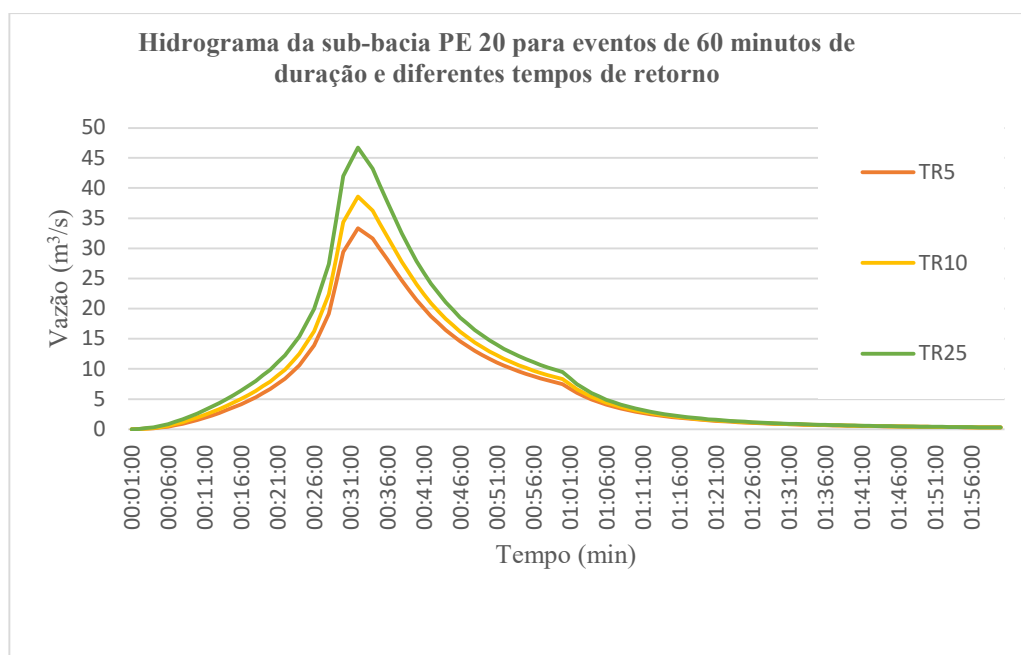
Silva (2010) e Tassi *et al* (2014) apontam as características do substrato como um dos principais fatores, no que se refere a capacidade de retenção do escoamento superficial em telhados verdes, também chegando a reduções no escoamento pluvial expressivas.

No apêndice B apresenta-se os resultados encontrados nas simulações hidrológicas realizadas na Sub-bacia PD08, aprovado e publicado nos Anais do 31º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) realizado no período de 17 a 20 de outubro de 2021, em Curitiba-PR

5.2.2 SUB-BACIA PE 20

Os hidrogramas da sub-bacia PE 20 para diferentes tempos de retorno de precipitação encontram-se na Figura 42.

Figura 42 – Hidrogramas da sub-bacia PE 20 pertencente a bacia hidrográfica do rio Poti



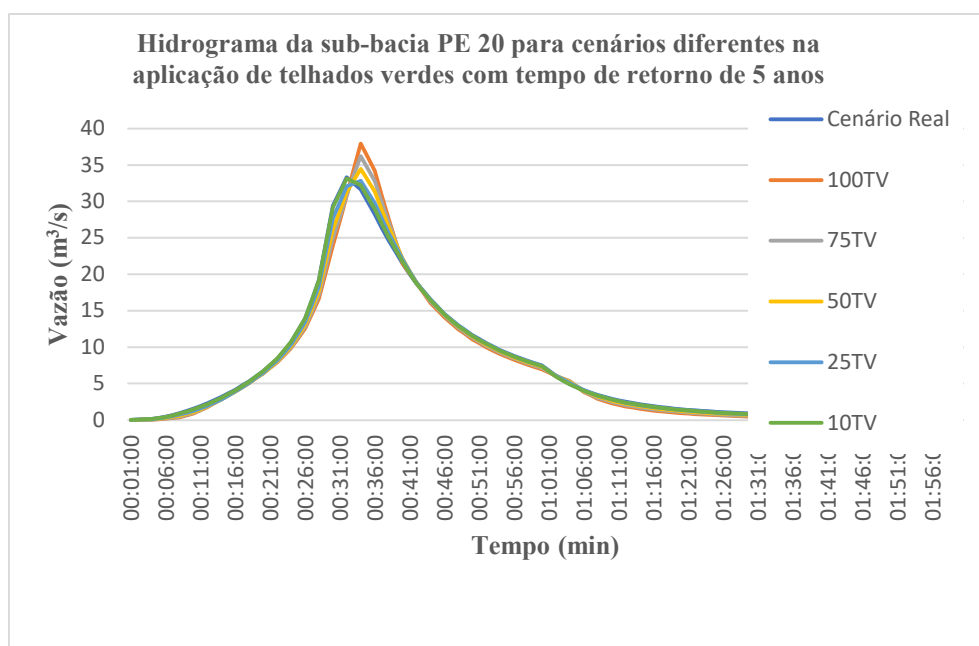
Analisando os resultados na figura 42, onde considera-se diferentes tempos de retorno com precipitação de 60 minutos, observou-se que à medida que aumenta a precipitação na bacia, temos também um incremento ascendente do valor da vazão de pico, partindo aproximadamente $33\text{m}^3/\text{s}$ para tempo de retorno de 5 anos para $39\text{m}^3/\text{s}$, em 10 anos e $47\text{m}^3/\text{s}$ para um tempo de retorno de 25 anos, um acréscimo entre o primeiro e último de 42,4%.

O tempo transcorrido até atingir o valor máximo de vazão, é de 32 minutos, a partir do início da precipitação sintética, sendo similar nos três tempos de projeto.

5.2.2.1 Telhados Verdes na Sub-bacia PE 20

Nas simulações com os telhados verdes foram utilizados 5 cenários, onde os dispositivos compensatórios eram dispostos sobre os telhados tradicionais. A saber, tais cenários foram de 10%, 25%, 50%, 75% e 100% de ocupação sobre os telhados convencionais, para uma chuva de projeto de 5, 10 e 25 anos com precipitações de 60 minutos. Na figura 43 estão dispostos os hidrogramas dos cenários simulados no tempo de retorno de 5 anos e com a utilização de telhados verdes.

Figura 43 - Hidrogramas da sub-bacia PE 20 com aplicação de telhados verdes para TR 5 anos



Nos hidrogramas com tempo de retorno de 5 anos (cenário sem os dispositivos LID) o pico de vazão atinge os $33,35\text{m}^3/\text{s}$, aos 32 minutos após o início da precipitação.

No cenário com 25% de telhados verdes o pico se desloca os 34 minutos, seguido de queda na vazão, para $32,83\text{m}^3/\text{s}$. No entanto, nos cenários de 50%, 75% e 100% de ocupação dos dispositivos LID, as vazões de pico foram mais elevadas em comparação ao cenário real chegando a valores, em torno dos $34\text{m}^3/\text{s}$, $36\text{m}^3/\text{s}$ e $38\text{m}^3/\text{s}$, respectivamente.

No cenário de 10% de controle LID o retardo de 2 minutos na chegada do pico de vazão como nos demais cenários não foi efetivado, permaneceu aos 32 minutos do início da precipitação, assemelhando-se ao mesmo instante do cenário real.

No que se refere a superação do instante de pico do escoamento no cenário real, sem a presença dos telhados verdes, pelos cenários simulados de 50%, 75% e 100% de controle LID. Apesar do aumento da intensidade do pico de vazão houve retenção do volume final na bacia na ordem de 2% no cenário de 50% de telhados verdes, 3% no cenário de 75%TV e 4% no cenário de 100%TV.

Tal comportamento evidência a relação entre características que influenciam nesses resultados como a escala da bacia em relação ao grau de antropização da bacia, ou seja, em bacias pequenas e urbanizadas o instante onde o escoamento atinge seu ponto máximo de vazão está sensivelmente ligado ao grau de impermeabilização da bacia.

Com a capacidade limitada de retenção dos telhados verdes, o incremento de permeabilidade fornecida pelo telhado verde, em pouco tempo após o início da precipitação, chega ao estado de saturação e começa a extravasar contribuindo para o escoamento superficial. No entanto, na simulação o SWMM subtrai os telhados verdes das áreas impermeáveis, calculando o escoamento dessas superfícies em particular, como uma parcela permeável da bacia. Dispostas em paralelo (figura 34) cada superfície de contribuição tem suas descargas calculadas e agrupadas para a resposta total da bacia.

Diante do exposto, o aumento do pico de vazão nos cenários 50%TV, 75%TV e 100%TV na sub-bacia PE20, evidência inconsistência no modelo, uma vez que os

telhados verdes passam a contribuir com o escoamento superficial, após saturação do substrato. Versine *et al* (2015) conclui com base em simulações de telhados verdes no SWMM, que alguns cenários de telhados verdes podem produzir um pico de descarga mais alto do que aquele gerado por toda a superfície impermeável, devido a resposta rápida do substrato saturado pela segunda chuva e a resposta lenta do telhado verde produzido pela primeira chuva.

De acordo com Burszta-Adamiak; Mrowiec (2013) o desempenho dos telhados verdes no Modelo SWMM é insatisfatório à medida que aumenta a quantidade de escoamento na bacia se comparado aos valores reais, resultado de um balanço hídrico simplificado nos telhados verdes. Os autores analisaram os resultados de forma isolada de telhados verdes experimentais e no módulo LID, telhados verdes no SWMM.

Na tabela 10, são apresentados os resultados da comparação dos cenários simulados com a utilização dos telhados verdes e o cenário real, considerando o tempo de retorno de 5 anos.

Tabela 10 – Comparação entre hidrogramas da PE 20 em diversos cenários com a utilização de telhados verdes em relação ao cenário real para TR 5 anos.

Cenário Telhados Verdes (%)	Redução/Aumento vazão de pico (%)	Aumento tempo de pico (%)	Redução/Aumento de volume (%)	Redução/Aumento de volume (m3)
100	(+)13,85	6,25	(+) 20,97	13426,80
75	(+) 8,66	6,25	(+) 15,46	9897,60
50	(+) 3,36	6,25	(+) 9,82	6286,80
25	(-) 1,55	6,25	(+) 4,59	2941,20
10	(-) 0,54	0,00	(-) 0,51	326,40

Considerando os cenários: 75%, 50%, 25% e 10% de ocupação das coberturas por telhados verdes, observa-se aumento do escoamento dos cenários 75%TV e 50%TV e redução do deflúvio nos cenários de 25%TV e 10%TV.

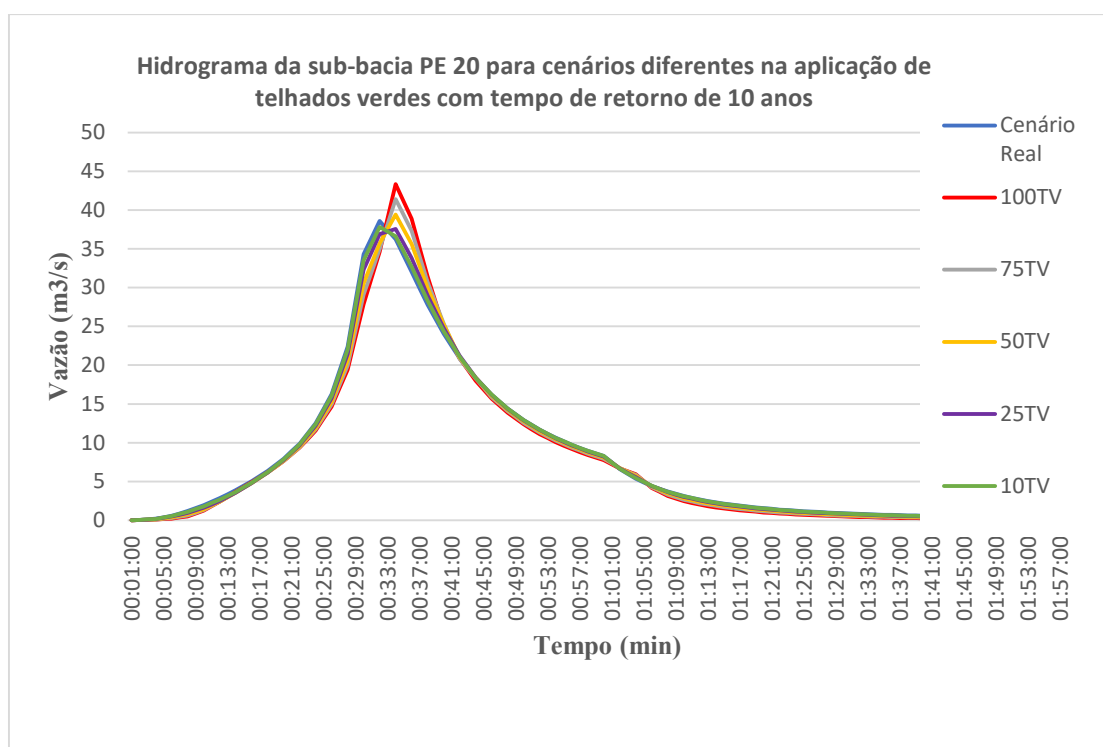
No entanto, nos cenários de 100%, 75%, 50% e 25% de ocupação por telhados verdes, o tempo transcorrido do início da precipitação até o pico do escoamento foi

adiado em 2 minutos, chegando aos 34 minutos. Já o cenário de 10%, acompanha o mesmo tempo de pico observado no cenário real.

Na sub-bacia PE 20 com TR 10 anos o tempo necessário para se atingir o pico de vazão é de 32 minutos, num cenário sem a presença dos telhados verdes, a intensidade do deflúvio é de aproximadamente 38,00 m³/s. Se considerarmos uma ocupação de 25% das coberturas por telhados verdes, o valor máximo de vazão se estabelece em torno dos 37,50 m³/s aos 34 minutos do início da precipitação, ou seja, 2 minutos de retardo implica em 3540 metros cúbicos de deflúvio a cada segundo, a menos que deixou de entrar no sistema de drenagem.

Considerando o tempo de retorno de 10 anos para as simulações, os hidrogramas nos diversos cenários são apresentados na figura 44.

Figura 44 - Hidrogramas da sub-bacia PE 20 com aplicação de telhados verdes com TR 10 anos



Assim, os resultados do incremento de telhados verdes na sub-bacia PE 20 em diferentes percentuais de ocupação de coberturas verdes, considerando um TR 10 anos, são expostos na tabela 11.

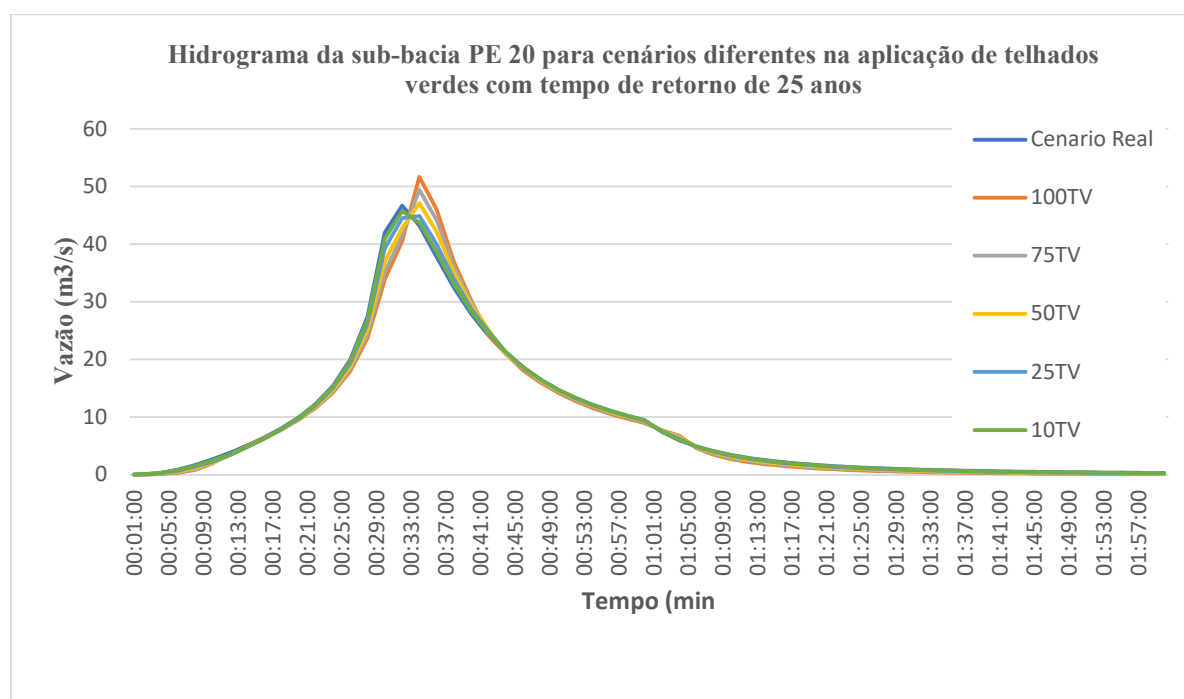
Tabela 11 – Comparação entre hidrogramas em diversos cenários com a utilização de telhados verdes em relação ao cenário real para TR 10 anos.

Cenários Telhados Verdes (%)	Redução/Aumento vazão de pico (%)	Aumento tempo de pico (%)	Redução de volume (%)	Redução de volume (m3)
100	(+)12,44	6,25	10,36	7680,00
75	(+) 7,25	6,25	9,40	6969,60
50	(+) 2,07	6,25	7,54	5587,20
25	(-) 2,59	6,25	4,46	3302,40
10	(-) 2,07	0,00	1,97	1459,20

Apenas o cenário de 10% acompanha o tempo de pico do cenário real, aos 32min, com redução de vazão do deflúvio. Os cenários de 100%, 75% e 50% também apresentam, o pico de vazão aos 34 minutos do início da chuva sintética, como no cenário de 25% de telhados verdes que tomamos como exemplo.

Para as chuvas de projeto com TR 25 anos, os hidrogramas nos diferentes cenários de simulação estão presentes na figura 45.

Figura 45 - Hidrogramas da sub-bacia PE 20 com aplicação de telhados verdes com TR 25 anos



Na simulação hidrológica, com chuva de projeto de 25 anos, foi observado a permanência do tempo de pico aos 32 minutos do início da precipitação, nos cenários real e no cenário 10%TV. Nos demais cenários o tempo necessário para se chegar ao pico foi de 34 minutos. Comparando os valores de vazão dos cenários simulados com os cenários sem os dispositivos LID, aos 32 minutos (maior magnitude do cenário real) teremos respectivamente reduções de volume, na ordem de 2,10%, 4,77%, 8,43%, 11,19% e 13,27%, nos cenários propostos. Na tabela 12 temos a apresentação dos resultados da simulação hidrológica na sub-bacia PE 20, com precipitações de 60 minutos e TR 25 anos em diferentes cenários.

Tabela 12 – Comparação entre hidrogramas em diversos cenários com a utilização de telhados verdes em relação ao cenário real para TR 25 anos.

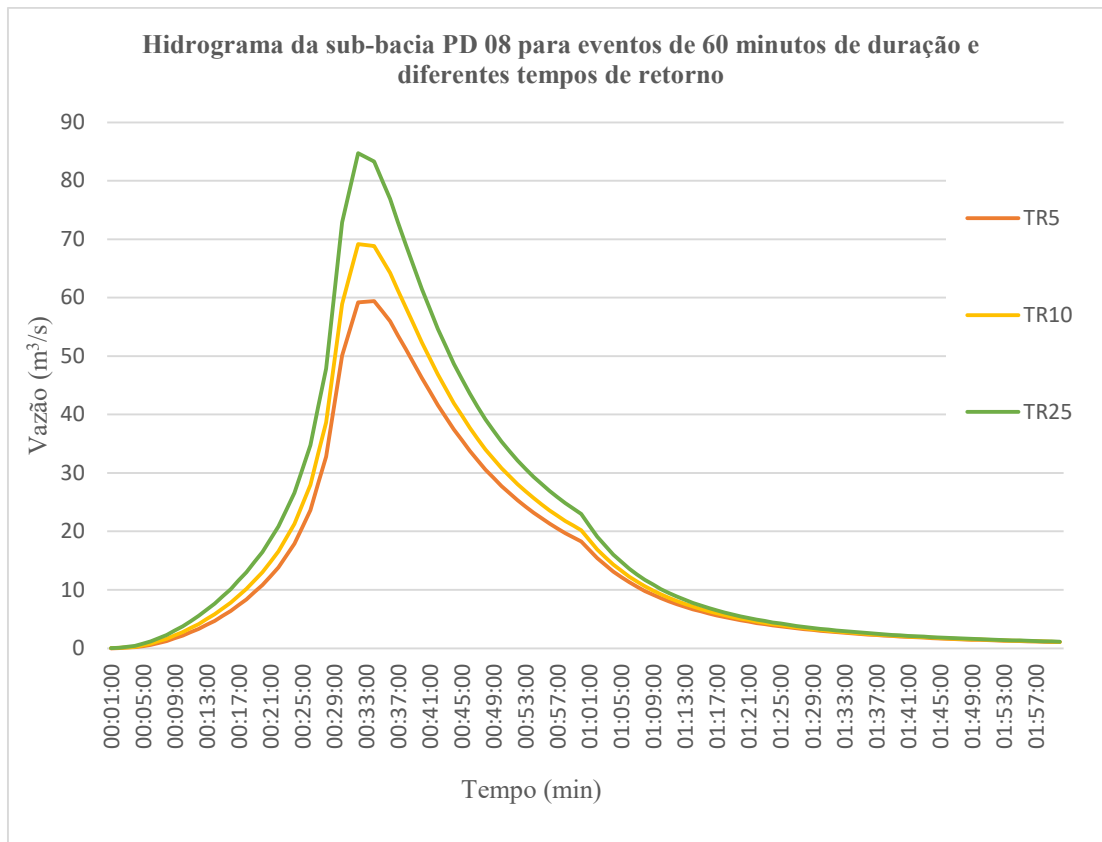
Cenários Telhados Verdes (%)	Redução/Aumento vazão de pico (%)	Aumento tempo de pico (%)	Redução de volume (%)	Redução de volume (m3)
100	(+)10,64	6,25	13,27	11904,00
75	(+) 5,84	6,25	11,19	10041,60
50	(+) 0,86	6,25	8,43	7564,80
25	(-) 3,87	6,25	4,77	4281,60
10	(-) 2,10	0,00	2,10	1881,60

O controle de escoamento na sub-bacia hidrográfica PE 20, mediante simulação hidrológica utilizou dispositivos compensatórios na fonte, do tipo telhados verdes, dispostos em diversos cenários de ocupação sobre os telhados convencionais, mostrou-se satisfatório em eventos menores

5.2.3 SUB-BACIA P 14

Os hidrogramas da Sub-bacia P14 para diferentes chuvas de projeto encontram-se na Figura 46.

Figura 46 – Hidrogramas da sub-bacia P 14 pertencente a bacia hidrográfica do rio Poti



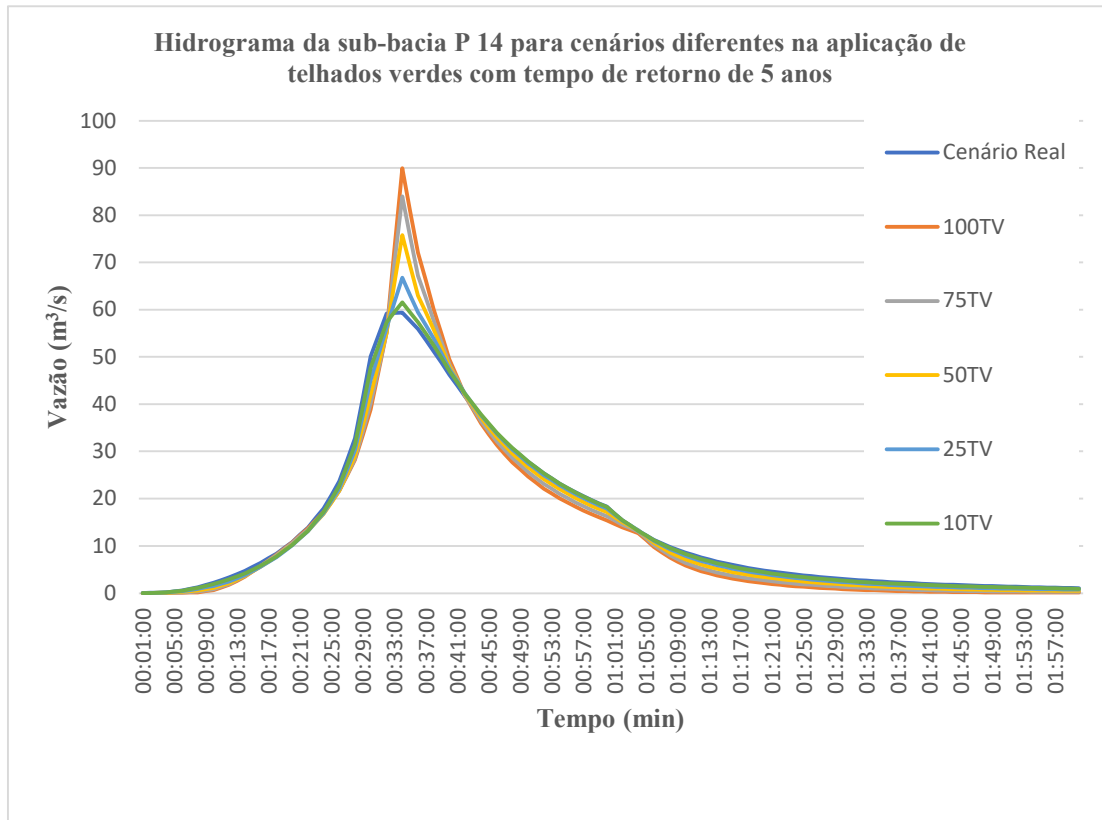
Na figura 46 temos os resultados da simulação onde se considera diferentes chuvas de projeto com precipitação de 60 minutos. Onde, à medida que aumenta a precipitação na bacia, temos um incremento ascendentes do valor da vazão máxima, partindo aproximadamente 59m³/s na chuva de projeto com tempo de retorno de 5 anos para cerca de 85m³/s para um tempo de retorno de 25 anos, um aumento de 4,41%. O instante onde o escoamento chega ao valor máximo, no TR 5 anos girou em torno dos 34 minutos, enquanto nos TR de 10 e 25 anos ficou na casa dos 32 minutos.

5.2.3.1 Telhados Verdes na Sub-bacia P 14

Nos hidrogramas da figura 47, o tempo de retorno é de 5 anos com precipitação de 60 minutos, chega a picos de vazão por volta dos 34 minutos no cenário real. Este cenário, sem dispositivos de controle LID é utilizado em comparação com demais cenários simulados, onde a disposições de telhados verdes é de 10%, 25%, 50%, 75% e 100% de ocupação sobre os telhados. Em relação ao tempo transcorrido do início

da precipitação até se alcançar o volume máximo de escoamento, em todos os cenários simulados com a utilização de telhados verdes, o instante de pico se estabeleceu, também aos 34 minutos.

Figura 47 – Hidrogramas da sub-bacia P 14 com aplicação de telhados verdes



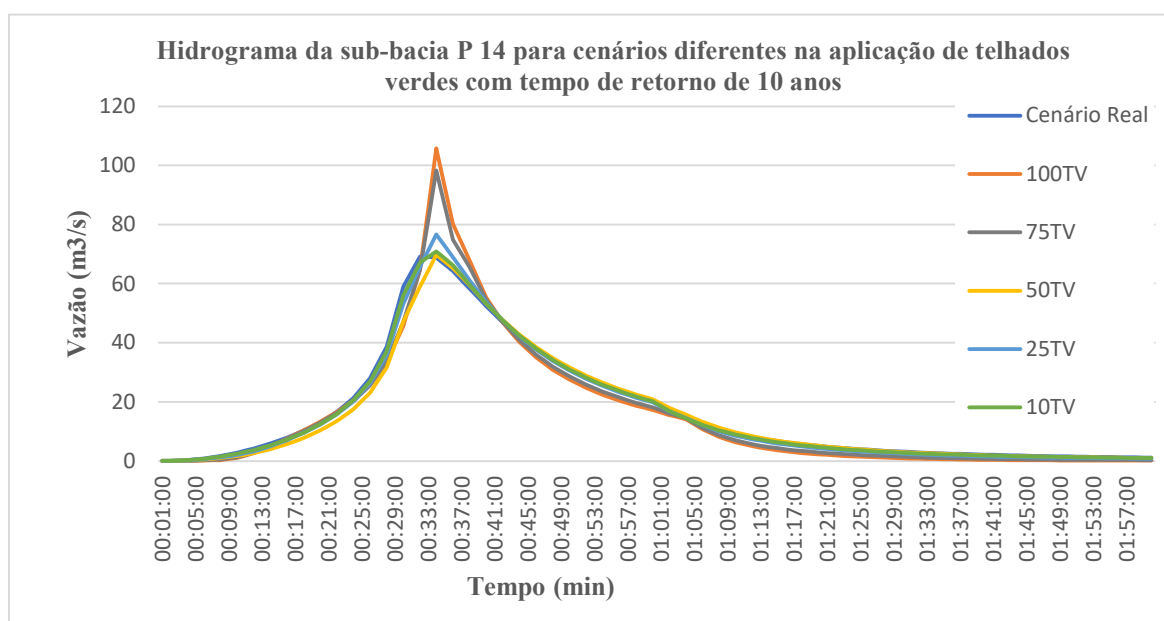
No que se refere ao pico de vazão sem os telhados verdes (cenário real), a tormenta chega ao volume de aproximadamente $59\text{m}^3/\text{s}$, atingido aos 34 minutos do início do evento. Se considerado uma ocupação de 75% dos telhados por telhados verdes, o volume máximo, aumenta para próximo dos $84\text{m}^3/\text{s}$, um aumento de 42,37% no pico de vazão para o mesmo intervalo de tempo do início da precipitação até o valor máximo de vazão, ou seja, com a instalação de 75% dos telhados por telhados verdes na sub-bacia P 14, temos uma aumento em torno de $25\text{m}^3/\text{s}$. Desse modo, os resultados do incremento de telhados verdes na sub-bacia P 14 nos outros cenários simulados com diferentes percentuais de ocupação, considerando um TR 5 anos, estão dispostos na tabela13.

Tabela 13 – Comparação entre hidrogramas em diversos cenários com a utilização de telhados verdes em relação ao cenário real para TR 5 anos na sub-bacia P 14.

Cenários Telhados Verdes (%)	Aumento vazão de pico (%)	Redução tempo de pico (%)	Aumento volume (%)	Aumento de volume (m3)
100	51,40	0,00	51,44	62362,80
75	42,37	0,00	41,31	50082,00
50	27,47	0,00	27,49	33333,60
25	12,38	0,00	12,40	15034,80
10	3,55	0,00	3,57	4324,80

Considerando os cenários de 100%, 50%, 25% e 10% de ocupação dos telhados por telhados verdes, o acréscimo no escoamento, se materializa em, aproximadamente, 51%, 27%, 12% e 4%, respectivamente. No entanto, em todos os cenários simulados permaneceu o tempo observado no cenário real, sem os dispositivos de controle LID, que vai do início da precipitação até atingir o valor máximo de vazão, a saber aos 34 minutos. Se considerado o tempo de retorno de 10 anos para a simulação, os hidrogramas nos diversos cenários se apresentam conforme a figura 48.

Figura 48 – Hidrogramas da sub-bacia P 14 com aplicação de telhados verdes para TR 10 anos



Nos hidrogramas para precipitações com tempo de retorno de 10 anos (cenário real) o aumento da vazão de pico na comparação com o TR de 5 anos foi de 16,37%. O pico no cenário real, sem LID, ocorre em torno dos 32 minutos, com uma vazão em torno dos 69m³/s. No cenário com 50% de telhados verdes o pico se desloca chegando ao valor máximo aos 34 minutos, seguido do aumento de vazão, para 89,83m³/s. Na tabela 14 são apresentados os resultados da comparação entre diversos cenários com a utilização dos telhados verdes e o cenário real, considerando o tempo de retorno de 10 anos.

Tabela 14 – Comparação entre hidrogramas em diversos cenários com a utilização de telhados verdes em relação ao cenário real para TR 10 anos.

Cenários Telhados Verdes (%)	Aumento vazão de pico (%)	Aumento tempo de pico (%)	Aumento volume (%)	Aumento de volume (m3)
100	52,96	6,25	67,36	86865,60
75	42,24	6,25	55,63	71449,20
50	29,86	6,25	42,09	54286,80
25	10,90	6,25	21,36	27542,40
10	2,60	6,25	12,26	15812,40

Nos demais cenários, o instante onde ocorre o valor máximo de deflúvio, também ocorre aos 34 minutos do início da precipitação. Retendo aos 32 minutos no cenário de 25% de ocupação de controle LID, 3420 litros/s. No entanto, após saturação do dispositivo, extravasa aos 34 minutos o volume de 7550 litros/s para a bacia. Para as chuvas de projeto com TR 25 anos, os hidrogramas nos diferentes cenários de simulação estão presentes na figura 49.

Nos hidrogramas apresentados na figura 49, não se apresenta diferenças no tempo de pico entre os cenários simulados, novamente em torno dos 34 minutos, com exceção do cenário real, que ocorre 2 minutos antes. As diferenças ocorrem exclusivamente na magnitude dos volumes em comparação aos TR5 anos e TR10 anos, expressos em 29,9% e 18,6% de aumento, respectivamente, se considerado os valores do cenário real. Para tanto, com precipitações de 60 minutos e tempo de

retorno de 25 anos, em diferentes cenários de representação por telhados verdes, segue os resultados na tabela 15.

Figura 49 – Hidrogramas da sub-bacia P 14 com aplicação de telhados verdes para TR 25 anos

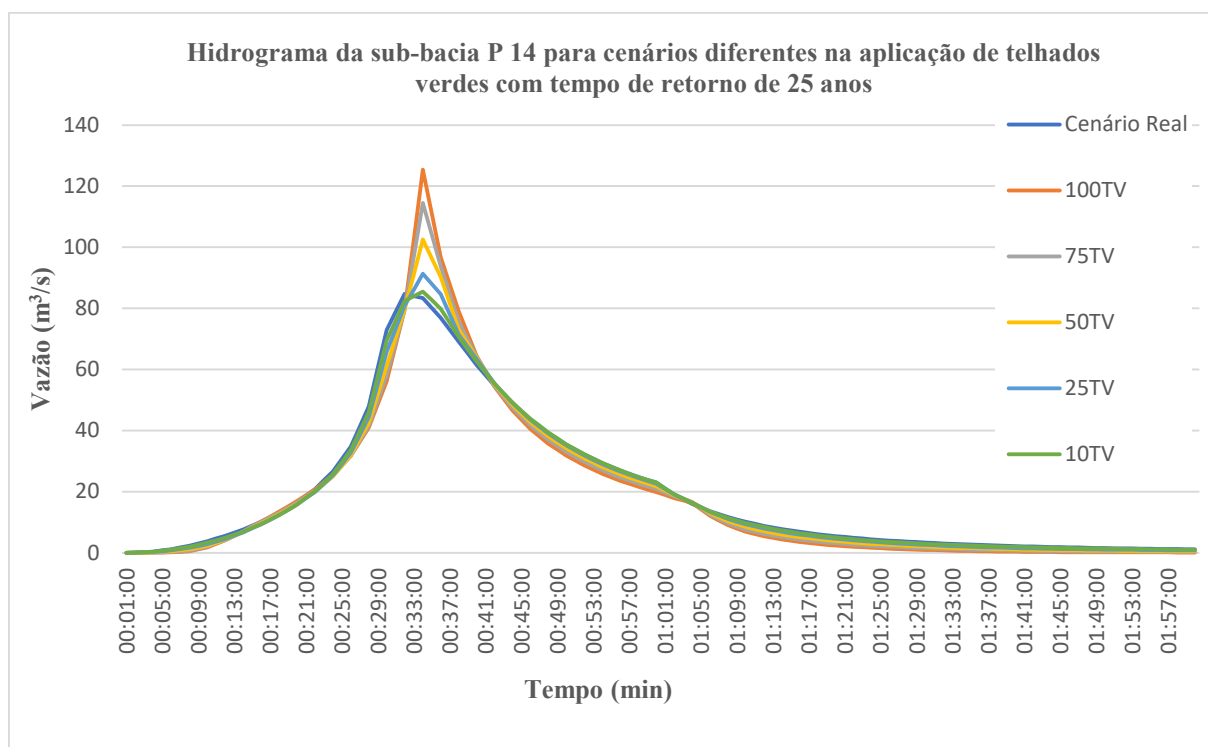


Tabela 15 – Comparação entre hidrogramas em diversos cenários com a utilização de telhados verdes em relação ao cenário real para TR 25 anos.

Cenários Telhados Verdes (%)	Aumento vazão de pico (%)	Aumento tempo de pico (%)	Aumento volume (%)	Aumento de volume (m3)
100	47,97	6,25	57,22	93094,80
75	35,07	6,25	43,51	70797,60
50	20,99	6,25	28,56	46460,40
25	7,81	6,25	14,55	23673,60
10	0,91	6,25	7,22	11739,60

O controle de escoamento na sub-bacia hidrográfica P 14 segundo as tabelas mostra-se insatisfatório, uma vez que não apresenta reduções no volume de escoamento, no instante de pico dos hidrogramas, em comparação ao cenário real. No que se refere à vazão de pico, observa-se um controle por parte dos dispositivos de retenção até os 32 minutos de precipitação. A partir deste ponto os dispositivos de controle LID começam a extravasar o volume excedente de precipitação para a bacia, aumentando a intensidade do pico de vazão. Observou-se este comportamento dos telhados verdes na sub-bacia P 14, em todas as chuvas de projeto aplicadas neste estudo.

6 CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa mostram que os telhados verdes, como uma técnica compensatória de atuação, na fonte, têm potencial relevante na contribuição para melhoria dos sistemas de drenagem tradicionais, se colocando como uma alternativa viável e complementar aos sistemas de drenagem já existentes, ou aliado a outras técnicas compensatórias.

No que se refere ao modelo SWMM, mostrou-se uma boa ferramenta para simulação dos sistemas de drenagem em pequenas bacias urbanas, bem como o incremento de dispositivos LID na modelagem, apesar de apresentar um balanço hídrico simplificado nos telhados verdes. Logo, foi possível perceber com a simulação, importantes informações sobre o comportamento das sub-bacias estudadas, que independente da situação atual ou projetadas, as demandas de drenagem nas sub-bacias não são atendidas, necessitando do incremento de outras técnicas.

Com a metodologia utilizada foi possível avaliar diferentes intensidades de aplicação dos telhados verdes, o que gerou informações importantes a gestores e profissionais do setor quanto aos resultados obtidos em diferentes níveis de intervenção nas bacias hidrográficas estudadas. Assim, recomenda-se que em trabalhos futuros esses resultados possam ser associados a outros dispositivos compensatórios melhorando ainda mais o comportamento dos hidrogramas das bacias.

Referencias

ABIKO, A.; MORAES, O. B. **Desenvolvimento urbano sustentável**. São Paulo, 2009.

ALVES, P. B. R. **Simulações de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: propostas em duas microbacias urbanas** (dissertação). UFCG-CTRN. Campina Grande, 2017.

AMORIM FILHO, O.; SERRA, R. V. **Evolução e perspectivas do papel das cidades médias no planejamento urbano e regional**. Cidades médias brasileiras. Rio de Janeiro: IPEA, p. 1-34, 2001.

ANA. Agência Nacional de Águas. **A Questão da Água no Nordeste**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, 2012. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/aQuestaoDaAguaNoNordeste.pdf>. Acesso em 23/03/2021.

ANDRADE FILHO, A. G.; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. **Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas**. Publicatio UEPG. Ciência Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, 6(1): 69-90, 2000.

ANTONELLO, I. T. **Potencialidade do planejamento participativo no Brasil**. Sociedade & Natureza, v. 25, n. 2, p. 239-254, 2013.

ARAÚJO, L. P. **As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos**. (Monografia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

BAPTISTA, J. G. **Geografia Física do Piauí**. Teresina, COMEPI, 1975.

BEZA, B. B.; ZEUNERT, J.; HANSON, F. The role of WSUD in contributing to sustainable urban settings. In: **Approaches to Water Sensitive Urban Design**. Woodhead Publishing, 2019. p. 367-380.

BRASIL. **Estatuto da Cidade**: guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Brasília: Câmara dos Deputados, 2002.

BRAZ E SILVA, Ângela Martins Napoleão. **Entre rios: a modernização e o crescimento da cidade de Teresina (1889-1940)**. Tese (Doutorado): UFBA. 2011.

BRAZ E SILVA, Ângela Martins Napoleão. **Planejamento e fundação da primeira cidade no Brasil Império**. Cadernos PROARQ, v. 18, 2012.

BURSZTA-ADAMIAK, E.; MROWIEC, M. Modelling of green roofs hydrologic performance using EPA's SWMM. Water Science & Technology, v.68, n. 1, 2013.

CANHOLI A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. Ed. São Paulo. SP: Oficina de Texto, 2014.

CARPENTER, S. **Green Roofs and Vertical Gardens**. International Specialized Skills Institute, Melbourne (ISS Institute) Melbourne, Austrália, v. 48, 2008.

CHOAY, F. **O urbanismo**. Trans. 5a. ed. Vol. 67. Ed. Perspectiva. São Paulo, 2000.

CIDADE EM FOTOS. cidadeemfotos.blogspot.com. Disponível em: <https://cidadesemfotos.blogspot.com/2012/07/fotos-de-teresina-pi.html>. Acesso em 6 de dezembro de 2019.

CONNELLY, M.; LIU, K. **Green roof research in British Columbia** – na overview. In: Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, 3. Washington. Proceedings... Canada: Green Roofs for Healthy Cities. P. 1-17. 2005.

CUNHA, A. P. S. R.; MENDIONDO, E. M. **Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves (CVL)**. Anais... São Paulo: USP, 2004.

DA COSTA RANGEL, A. C. Lucena; ARANHA, K. C.; DA SILVA, M. C. B. C. **Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 35, 2015.

DIETZ, M. E. **Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions**. Water, air, and soil pollution, v. 186, n. 1, p. 351-363, 2007.

ECOTELHADO. Projetos de Arquitetura Verde, Design Biofílico e Construção Sustentável. 2021. Disponível em: <<https://ecotelhado.com>>. Acesso em: 30 ago 2021.

FILHO, K. Z.; MARTINS, J. R. S.; PORTO, M. F. A.; CUCIO, M. S. Medidas de Armazenamento Artificial e Facilitadores de Infiltração para Controle de Inundações

Urbanas. In.: Coleção Águas Urbanas. Fascículo 5. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

FILHO, J. E. A.; MANNA, I. B. C. B.; MELO, N. A.; CAIXETA, A. C. M. **Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos Residenciais**. Sociedade & Natureza, v. 28, p. 257-272, 2016.

FLETCHER, T. D., et al. **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more** – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban Water Journal, 2015, 12.7: 525-542.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

G1.GLOBO.COM. Disponível em: <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2019/04/06/familias-deixam-residencias-em-teresina-apos-rios-poti-e-teresina-atingirem-cota-de-inundacao.ghtml>. Acesso em 30 de novembro de 2019

G1.GLOBO.COM. Disponível em: <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2019/04/06/familias-sao-retiradas-de-casas-apos-nivel-do-rio-poti-subir-na-zona-norte-de-teresina.ghtml>. Acesso em 30 de novembro de 2019.

GANDARA, G. S. **Rios que estão no sertão!** São Francisco e Parnaíba. *Confins* [Online]. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/10150?lang=pt>. Acesso em 23/03/2021.

GUTIERRES, H. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Modelo-de-drenagem-urbana_fig50_334107348. Acesso em 28 de junho de 2021.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. **Infraestrutura verde**: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. Revista Labverde, n. 1, p. 92-115, 2010.

JOHNSTON, J.; NEWTON, J. **Building green**: a guide to using plants on roofs, walls and pavements. London: Greater London Authority, 2004.

JOINT STEERING COMMITTEE FOR WATER SENSITIVE CITIES. **Evaluating Options for Water Sensitive Urban Design**: a national guide. Developed in accordance with the National Water Initiative Clause 92, 2009.

JÚNIOR, J. C. F. **Limites e potencialidades do planejamento urbano**. Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia, v. 2, n. 1, p. 15-28, 2004.

KOBAYASHI, F. Y. *et al.* **Drenagem Urbana Sustentável**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

LAAR, M. *et al.* **Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical**. In. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, 6. Anais. São Pedro, São Paulo, 2001.

LEONARD, R. *et al.* **Community Acceptance of Water Sensitive Urban Desing: Six Case Studies**. Goyder Institute for Water Research, Adelaide, Austrália, 2014.

LID-STORMWATER. lid-stormwater.net. Disponível em: <https://www.lid-stormwater.net/imagens/greeroof1.jpg>. Acesso em 30 de setembro de 2021.

LIMA, A. A. **Análise Geossistêmica e Gestão Ambiental na cidade de Teresina – Piauí**. Dissertação (Mestrado em Geografia). UFPI, 2016.

LIMA, I. M. M. F. **Teresina: urbanização e meio ambiente**. Scientia et spes, v. 1, n. 2, p. 181-206, 2002.

LOPES, D. A. R. **Análise do Comportamento Térmico de uma Cobertura Verde Leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2007

LOPES, D. A. R. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, 2007.

MANUAL DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO DISTRITO FEDERAL. Yazaki *et al.* (editor). Adasa. Unesco. Brasília, 2018.

MARQUES, C. E. B. **Proposta de Método para a Formulação de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Publicação MTARH.DM-092/06. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 168p. 2006.

MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. 2017. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.

MENDONÇA, F. **Riscos e vulnerabilidade socioambientais urbanos a contingência climática**. Revista de Geografia da UFC – Mercator, vol. 9, nº 1. Fortaleza, 2010.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; RESENDE, O. M. **Drenagem Urbana: Do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1ª edição. Ed. Elsevier. Rio de Janeiro, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / Secretária Nacional de Saneamento Ambiental. **Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais**: Programa – 2040, 2012.

MONTEIRO DE ANDRADE, C. R. De Viena a Santos: Camilo Sitte e Saturnino de Brito. In: C. R. Monteiro de Andrade (editor). **A construção das cidades segundo seus princípios artísticos**. Ed. Ática. São Paulo, 1992.

MONTE-MÓR, R. L. **As teorias urbanas e o planejamento urbano no Brasil**. Economia regional e urbana: Contribuições teóricas recentes. Belo Horizonte: Editora ufmg, p. 61-85, 2006.

MORENO, S. H. **Introducción al urbanismo sustentable o nuevo urbanismo**. Espacios públicos, v. 11, n. 23, p. 298-307, 2008.

NETPIAUI. O portal de notícias do nosso Piauí. Disponível em:

<http://www.netpiaui.com.br/2012/06/21/moradores-de-area-de-risco-em-teresina-o-que-fazer/>. Acesso em 21 de junho de 2021.

NYGAARD, P. D. **Planos Diretores de cidades**: Discutindo sua base doutrinária. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

OITOMEIA.COM.BR. Disponível em:

<https://www.oitomeia.com.br/noticias/2017/08/17/parque-lagoas-do-norte-e-um-dos-maiores-da-america-latina-e-mais-visitados-de-teresina/>. Acesso em 30 de outubro de 2021.

OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados verdes para habitações de interesse social**: retenção das águas pluviais e conforto térmico. (Dissertação de mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, L. H.; e Reis, R. P. A. **Sistemas Integrados**: aproveitamento de água pluvial e drenagem na fonte. 2008.

PÁDUA, C. M. **Planejamento Urbano em Teresina de 1969 a 2006**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2010

PECK, S.; KUHN, M. **Design guidelines for green roofs**, 2006. Disponível em: <https://www.eugene-or.gov/DocumentCenter/View/1049/Design-Guidelines-for-Green-Roofs>. Acesso em: 28 ago 2021.

POLETO, Cristiano. **SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica**. *Revista Thema*, v. 8, n. 1, 2011.

RIGHETTO, A. M. (Org). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RODRIGUES, R. S. **Planejamento Urbano em Teresina: Análise das projeções de expansão urbana**. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Piauí, 2013.

ROSSMAN, L.A. Storm Water Management Model, Version 5.0: User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati. OH, 2010.

SA.GOV.AU. Disponível em: https://www.sa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/9448/WSUD_summary_1_2_3.pdf. Acesso em 31 de março de 2021.

SANTOS, M. **A urbanização Brasileira**. HUCITEC. São Paulo, 1993.

SANTOS, M. F. N., Reis, M. R. M., Paiva, S. B., Gonçalves, L. M., Barbassa, A. P. **Descentralizando o manejo das águas pluviais: promover a participação da comunidade?** In: 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, Maceió, 2016.

SÃO PAULO. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana**. Secretária Municipal de Desenvolvimento Urbano. São Paulo, 2012.

SCHAAKE, J. C.; GEYER, J. C.; KNAPP, J. W. **Experimental Examination of the Rational Method**. Journal of Hydraulics Division. ASCE. Vol. 93. Nº HY6, nov., p. 353-370, 1967.

SILVA, F. B. **Telhado Verde Alveolar**. Técnica Revista do Engenheiro Civil. Ed. 162. Porto Alegre, RS. 2010.

SILVA, N. R. L.; VINAGRE, M. V. A.; BELLO, L. A. L.; CUNHA, M. A. **Aplicação do modelo de gestão de drenagem urbana (SWMM) na sub-bacia 2 da Estrada Nova em Belém do Pará**. Sustentare. v. 1, n. 1, p. 1-17. Três Corações, 2017.

SILVEIRA, A. L. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. V. 10, n. 1, 5-23, 2005.

SOUZA, C. F. **Mecanismo técnico-institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre, 2005.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v17, n. 2: 9-18, 2012.

TASSI, R.; TASSINI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para gestão das águas pluviais**. Ambiente Construído. 14(1), 139-154. 2014.

TEIXEIRA, M. L. G. **Teresina (1890-1920): indústria, ferrovia e arquitetura**. (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo. 2019.

TERESINA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – 2010**. Teresina: Concremat Engenharia, 2010.

TERESINA. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Teresina: DRZ Consultoria, 2013.

TORONTO. **Toronto Municipal Code Chapter 492: Green Roofs**, 2017

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**. In.: Água Doce. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997b.

TUCCI, C. E. M. **Aspectos Institucionais no Controle de Inundações**. I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. Brasília, 1999.

TUCCI, C. E. M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção**. Revista brasileira de recursos hídricos, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997a.

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

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, 2003.

UNITED STATES. **Department of Defense** (USDoD). Unified Facilities Criteria (UFC) Design: Low Impact Development Manual, 2004.

VERSINI, P.A.; RAMIER, D.; BERTHIER, E.; DE GOUVELLO, B. Assessment of the hydrological impacts of green roof: From roof scale to basin scale. [Periódico]. - Trappes-en-Yvelines : ELSEVIER, 2015. - 562-575 : Vol. 524. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.020>.

VIAGORA.COM.BR. Disponível em: <https://www.viagora.com.br/noticias/ruas-e-avenidas-de-teresina-ficam-debaixo-dagua-apos-temporal-67831.html>. Acesso em 30 de novembro de 2019.

VIEIRA, B. Disponível em: <https://unconcientgirls.wordpress.com/2011/03/11/sos-sao-lourenco-do-sul-rs/>. Acesso em 21 de junho de 2021.

VILLAÇA, F. Uma Contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: **O processo de Urbanização no Brasil**. Ed. da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

VIVADecora.COM.BR. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/curiosidades/cisterna/>. Acesso em 30 de junho de 2021.

WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS manual**. London: Ciria, 2007.

APÊNDICE A

RENATO ALVES PEDROSA
MAURO CÉSAR DE BRITO SOUSA

MANUAL DE TÉCNICAS DE CONTROLE NA FONTE: TELHADOS VERDES

SUMÁRIO

- 1 INTRODUÇÃO
- 2 ÁGUA NO MEIO URBANO
- 3 DRENAGEM URBANA
 - 3.1 INUNDAÇÕES E MEDIDAS DE CONTROLE
 - 3.2 DRENAGEM SUSTENTÁVEL
- 4 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS
 - 4.1 TÉCNICA DE CONTROLE NA FONTE
 - 4.2 TÉCNICA DE
- 5 TELHADOS VERDES
 - 5.1 HISTÓRICO
 - 5.2 VANTAGENS
 - 5.3 CLASSIFICAÇÃO
 - 5.4 DETALHES CONSTRUTIVOS

1 INTRODUÇÃO

Várias cidades do Brasil e do mundo apresentam recorrentes casos de inundações e alagamentos, em função do processo de urbanização que desfavorece a infiltração das chuvas no solo e eleva os índices de impermeabilização da superfície urbana. Aliado ao pouco planejamento a nível de bacia hidrográfica dos sistemas de drenagem presentes nesses sítios urbanos.

Tendo em vista a busca por alternativas que visem mitigar os efeitos provocados pelo acelerado processo de antropização do meio urbano, que impactam diretamente no meio ambiente, provocando a produção crescente de resíduos sólidos; a poluição do solo, do ar e da água; a formação das ilhas de calor em detrimento da diminuição da cobertura vegetal; e o aumento do escoamento superficial causando enchentes e alagamentos.

No sentido de reduzir essa problemática, no que se refere a uma drenagem urbana mais sustentável, algumas técnicas alternativas têm se destacado, as quais são denominadas: SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems), WSUD (Water Sensitive Urban Design) e LID (Low Impact Development). No Brasil, temos a LID a técnica mais difundida, e a que utilizaremos neste estudo.

Partindo de uma nova perspectiva de intervenção no espaço urbano, no que diz respeito a drenagem, a implementação de técnica compensatória, como os dispositivos LID, poderia trazer a possibilidade de um controle mais efetivo dos picos de vazões e do volume precipitado, melhorando a qualidade do escoamento pluvial ao ponto de se atingir um comportamento mais próximo ao natural.

Este Manual de técnicas de controle na fonte, com foco na técnica telhado verde, tem a finalidade de auxiliar profissionais, agentes públicos e a população em geral, a importância dessa técnica em drenagem na engenharia, na arquitetura e no planejamento urbano para os municípios brasileiros.

2 ÁGUA NO MEIO URBANO

A busca pela melhoria da qualidade de vida da população citadina, sempre esteve associada às questões ambientais, sendo um dos aspectos mais relevantes e importantes no planejamento da cidade (LIMA, 2002). Desse modo, se faz necessário retomar as discursões iniciais do planejamento, dando ênfase as questões ambientais, à medida que se analisa os efeitos, da ação das águas pluviais nos centros urbanos, frente a um processo de antropização cada vez mais crescente e acentuado.

A dinâmica das cidades se modificou rapidamente, em vista dos processos cada vez mais intensos da urbanização. No Brasil, observa-se essa tendência no início do século XX, sob a influência do fluxo migratório rural-urbano e o crescimento da indústria nos grandes centros urbanos (SANTOS, 1993).

Diante do cenário exposto, seria previsível que o município de Teresina, logo sentisse os efeitos do crescimento acelerado da malha urbana e os desafios oriundos de tal expansão. Assim, a cidade passou a conviver com problemas socioambientais recorrentes, como as enchentes dos rios Parnaíba e Poti, potencializadas pela impermeabilização do solo urbano e uma drenagem deficiente.

Com a retirada da vegetação (figura 1) no processo de urbanização, o solo urbano passa a se tornar impermeabilizado. Como consequência a bacia hidrográfica reduz sua capacidade de infiltração, elimina retenções, pela regularização das superfícies, e acelera o escoamento na superfície (MIGUEZ *et al*, 2016).

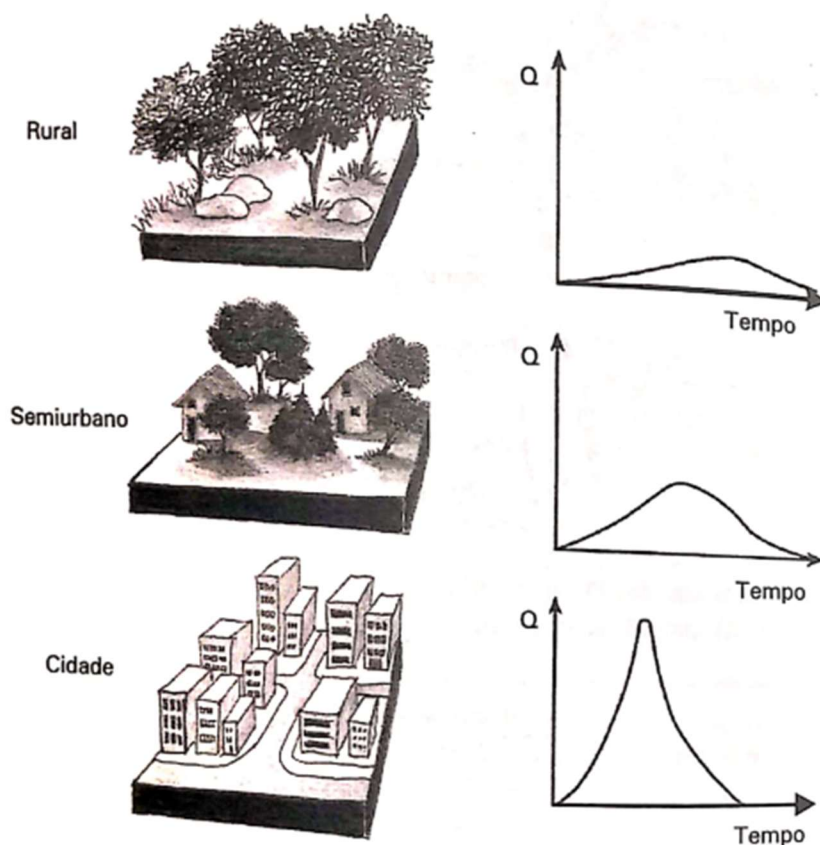


Figura 1 – Impacto da retirada de vegetação no escoamento superficial

Fonte: BUTLER; DAVIES, 2000 citado por MIGUEZ *et al*, 2016

Na atualidade, o debate gira em torno de um urbanismo sustentável, que vislumbra a melhoria da qualidade de vida da população, na medida que organiza o espaço, tendo como elemento central o “cidadão”, sem negligenciar as questões ambientais envolvidas no processo de urbanização.

3 DRENAGEM URBANA

A população urbana e o meio ambiente são os mais afetados pela urbanização, no que se refere a diminuição da qualidade de vida e aos impactos ambientais causados pelas inundações. Estes efeitos, na sua grande maioria, estão relacionados ao modelo caótico de desenvolvimento das cidades, refletindo em projetos de drenagem urbana incompatíveis com as demandas impostas, o que potencializa a frequência e o nível de inundação.

3.1 Inundações e Medidas de Controle

Desde a antiguidade, as primeiras civilizações e logo depois as cidades, se estabeleceram próximas aos cursos de água, onde se desenvolveram. Contudo, eram expostas aos regimes de cheias dos mesmos corpos hídricos. Essa relação se modifica à medida que acontece o desenvolvimento urbano e tecnológico, que impulsiona a construção de um sistema de malha viária, que por sua vez, pressiona e viabiliza economicamente investimentos na execução de melhoramentos de canais, pavimentos e pontes.

Segundo Righetto *et al* (2009), somente a partir dos graves problemas urbanos oriundos de um desenvolvimento urbano caótico é que se tomou consciência da integração ambiental no espaço urbano, em meio a concretização de sérios problemas à segurança das vidas humanas, das habitações, patrimônios e de maneira geral à saúde pública é que se realizaram obras de infraestrutura direcionadas ao saneamento básico. A figura 2 ilustra exemplos de enchentes urbanas que ocorreram na cidade de Teresina, no Piauí.



Figura 2 - Áreas urbanas de Teresina sujeitas a inundações

A - Bairro Poti Velho, Zona Norte

B - Vila Beira Rio, Zona Sudeste.

C - Bairro Água Mineral, Zona Norte

Fonte: NETPIAUI, 2012; www.g1.globo.com

O processo de urbanização nas principais cidades brasileiras, inclusive em Teresina, incorporou as várzeas ao sistema viário com a construção de “vias de fundo de vales”, mediante a canalização ou retificando de córregos, dando condições para construção de estradas marginais sobre meandros que outrora ali existiam. Assim, áreas ribeirinhas (figura 3) que antes estavam sujeitas ao transbordo dos cursos d’água, foram suprimidas, resultando no aumento dos picos de vazão, da aceleração dos escoamentos e das inundações (CANHOLI, 2014).



Figura 3 – Características dos leitos dos rios

Fonte: Tucci (2005)

Os prejuízos causados pelas inundações podem ser amenizados por medidas de mitigação, denominadas medidas estruturais (obras de engenharia) e medidas não estruturais (legislação e educação ambiental).

Entende-se como medidas estruturais as obras de engenharia, destacadas como intensivas e extensivas. No quadro 1 temos as principais características das medidas estruturais, extensivas e intensivas, bem como as vantagens e desvantagens na utilização das medidas de controle.

“[...] ações de regulamentação do uso e ocupação do solo; educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e inundações” (CANHOLI, 2014, P. 25)

Quadro 1 – Medidas estruturais

Medida	Principal vantagem	Principal desvantagem	Aplicação
Medidas extensivas			
Alteração da Cobertura Vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda de solo	Reduz assoreamento	Idem ao anterior	Pequenas bacias
Medidas intensivas			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios e na planície
Melhoria de canal:			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
Reservatório:			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil devido a desapropriação	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com mínimo de perdas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
Mudança de canal:			
Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Idem ao anterior	Bacias médias e grandes

Fonte: SIMONS *et al*, 1977 citado por TUCCI, 2005

Conforme Canholi (2014), as medidas não estruturais podem ter custos mais baixos e uma boa eficácia se comparado as medidas estruturais, em um tempo de atuação mais longo, à medida que procura organizar a ocupação territorial, os hábitos de consumo dos indivíduos e as atividades econômicas. As mais adotadas são:

O tecido urbano cada vez mais compacto e as deficiências em infraestrutura criaram, as condições favoráveis para o surgimento de epidemias e graves problemas de saúde pública. Como boa parte das doenças na época - final do século XIX - era por veiculação hídrica, Miguez *et al* (2016) aponta a captação, para condução e descarga rápida dos esgotos e águas pluviais, como forma de minimizar o problema.

Na metade do século XX, as obras de macrodrenagem (retificação da calha principal dos cursos d'água, aterramento de áreas alagadiças) e infraestrutura secundária (sarjetas, bocas-de-lobo, bueiros, etc), tornaram-se ações prioritárias dos gestores municipais, com repercussão política positiva, o que gerou um clima de otimismo quanto ao desenvolvimento do sítio urbano, especialmente em relação a ocupação de áreas até então inaproveitáveis, bem como a ampliação do sistema viário (RIGHETTO *et al*, 2009).

Essas ações provocaram o aumento da velocidade dos escoamentos superficiais e amplitude do pico de vazão à medida que tentavam solucionar a questão da redução da infiltração natural devido a urbanização.

Dessa forma, a abordagem tradicional de drenagem, ou higienista, converge para a condução dos escoamentos, afastando a água para longe por meio de uma rede ramificada de superfície livre, mediante a ação da gravidade. Essa técnica permanece em uso na atualidade, embora tenha sido continuamente associada a práticas mais sustentáveis.

Dois subsistemas compõem o sistema de drenagem tradicional: a microdrenagem e a macrodrenagem (figura 4). A primeira, conduz as águas pluviais precipitadas nos parques, jardins, telhados dos imóveis e áreas de circulação; a segunda, por sua vez, recebe os deflúvios da microdrenagem e conduz, para a rede de galerias e canais livres (MIGUEZ *et al*, 2016).

Microdrenagem Lotes urbanos, praças, ruas Galerias, sarjetas, bocas de lobo Risco associado entre 2 e 10 anos Teresina: 10 anos (TERESINA, 2010)
--





Macro drenagem

Hidrografia natural + canais de drenagem

Recebe água da microdrenagem

Risco associado entre 10 e 100 anos

Brasil: 25 anos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012)

Figura 4 - Subsistemas de microdrenagem e macrodrenagem

Fonte: Adaptado de Miguez *et al*, 2016; Gutierrez, 2021; Cidade em fotos, 2019.

3.2 Drenagem sustentável

Paralelo ao desenvolvimento socioeconômico municipal os problemas ambientais se intensificaram, fazendo-se incrementar no discurso político uma consciência ambiental na gestão das águas no meio urbano. Essa perspectiva evidencia-se como uma forma integrada da gestão de recursos hídricos urbanos, ocasionando um novo olhar no manejo das águas pluviais e a assimilação de novos paradigmas referentes às águas urbanas (RIGHETTO *et al*, 2009).

Assim, a partir dessas discussões sobre a destinação das águas no meio urbano, surge o conceito de drenagem sustentável, segundo Kobayashi *et al* (2008) em três premissas:

- evitar o desmatamento, a erosão e o assoreamento dos corpos hídricos;
- gestão urbana (deve estar inserida no plano diretor do município);
- garantir a qualidade dos mananciais superficiais e subterrâneos e a manutenção dos recursos hídricos.

Para Canholi (2014), as obras e os dispositivos de retenção dos escoamentos que favorecem a reserva dos deflúvios estão entre os conceitos mais aceitos no campo das medidas inovadoras, quando se trata de drenagem urbana.

O processo da infiltração é outra medida não convencional adotada frequentemente, utilizada para retardar o fluxo nas calhas dos cursos d'água ou reter o escoamento em reservatórios, impactando no amortecimento dos picos de vazão (CANHOLI, 2014).

No quadro 2 são encontradas algumas características conceituais entre a drenagem tradicional e drenagem sustentável.

Quadro 2– Conceito de Drenagem Tradicional x Drenagem Sustentável

CARACTERÍSTICAS	DRENAGEM TRADICIONAL	DRENAGEM SUSTENTÁVEL
Função	Remoção rápida dos escoamentos	Contenção temporária para subsequente liberação
Componentes Principais	Canais abertos/galerias	Reservatórios a superfície livre Reservatório subterrâneos Retenção subsuperficial
Aplicabilidade	Instalação em áreas novas Construção por fases Aplicação de capacidade pode se tornar difícil (centros urbanos)	Áreas novas (em implementação) Construção por fases Áreas existentes (à superfície ou subterrânea)
Impacto nos trechos de jusante (quantidade)	Aumenta significativamente os picos das enchentes em relação à condição anterior Maiores obras nos sistemas de jusante	Áreas novas: podem ser dimensionadas para impacto zero (Legislação EUA) Reabilitação de sistemas: podem tornar vazões a jusante compatíveis com capacidade disponível
Impacto nos trechos de jusante (qualidade)	Transporta para o corpo receptor toda a carga poluente afluente	Facilita remoção de material flutuante por concentração em áreas de recirculação dos reservatórios e dos sólidos em suspensão, pelo processo natural de decantação
Manutenção/operação	Manutenção em geral pouco frequente (pode ocorrer excesso de assoreamento e de lixo) Manutenção nas galerias é difícil (condições de acesso)	Necessária limpeza periódica Necessária fiscalização Sistemas de bombeamento requerem operação/manutenção Desinfecção eventual (insetos)
Estudos hidrológicos/ Hidráulicos	Requer definição dos picos de enchente	Requer definição dos hidrogramas (volumes das enchentes)

Fonte: Adaptado de Canholi (2014)

Novas abordagens emergiram diante do avanço da degradação das águas pluviais urbanas, conceitos e práticas cada vez mais consolidados e integrados, voltados a sustentabilidade, dentre eles, o Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS*), no Reino Unido, o Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development – LID*), na América do Norte e Nova Zelândia, o Desenho Urbano Sensível à água (*Water Sensitive Urban Design -*

WSUD), na Austrália, as Melhores Práticas de Gerenciamento (Best Management Practices - BMPs), nos Estados Unidos e Canadá (FLETCHER et al, 2015).

A técnica LID surge como uma estratégia de manejo de águas (pluviais e servidas) através do emprego de práticas de tratamento e controle em pequena escala integrado a um planejamento multidisciplinar adaptando o meio urbano ao comportamento hidrológico natural (SOUZA, 2012).

4 Técnica Compensatória

Como alternativa as demandas por sistemas mais sustentáveis, ganha espaço nos meios técnicos os conceitos de drenagem urbana sustentável e de desenvolvimento de baixo impacto (LID), utilizando técnica compensatórias como ações mitigadoras aos efeitos nocivos da urbanização no ciclo hidrológico.

De acordo com Righetto *et al* (2009), essas técnicas baseiam-se no controle dos deflúvios com a utilização de estruturas de armazenamento de águas pluviais, tendo como resultado o amortecimento de cheias ou a infiltração das águas de chuva, o que levaria a redução dos volumes escoados, ou a combinação de armazenamento e infiltração. Na figura 5 temos a tipologia das técnicas compensatórias.

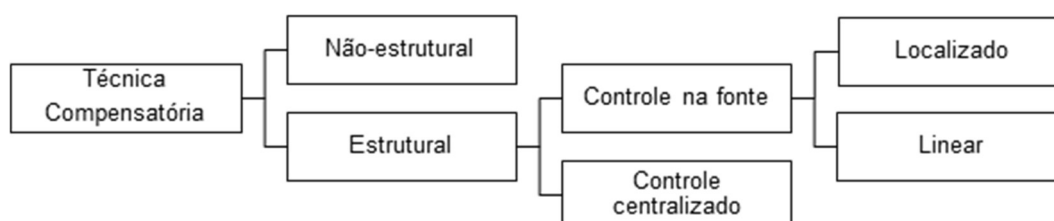


Figura 5 – Tipologia de técnicas compensatórias

Fonte: adaptado de Righetto et al (2009)

4.1 Técnica de controle na fonte

As técnicas de controle na fonte, disposta no local, são aquelas cuja drenagem é proveniente de um lote urbano, condomínio, estacionamentos, praças, parques e passeios públicos. Os mais utilizados são:

- Microrreservatórios;
- Poços de infiltração;

- Plano de infiltração;
- Telhados verdes.

Os microrreservatórios (figura 6) ou cisternas, instalados nas residências, realizam o armazenamento temporário ou permanente das águas precipitadas nos telhados.



Figura 6 – microrreservatórios de águas pluviais

Fonte: <https://www.vivadecora.com.br>

O poço de infiltração (figura 7) é um dispositivo que favorece a infiltração no solo das águas superficiais como medida compensatória aos efeitos da urbanização, que impermeabiliza o solo urbano.

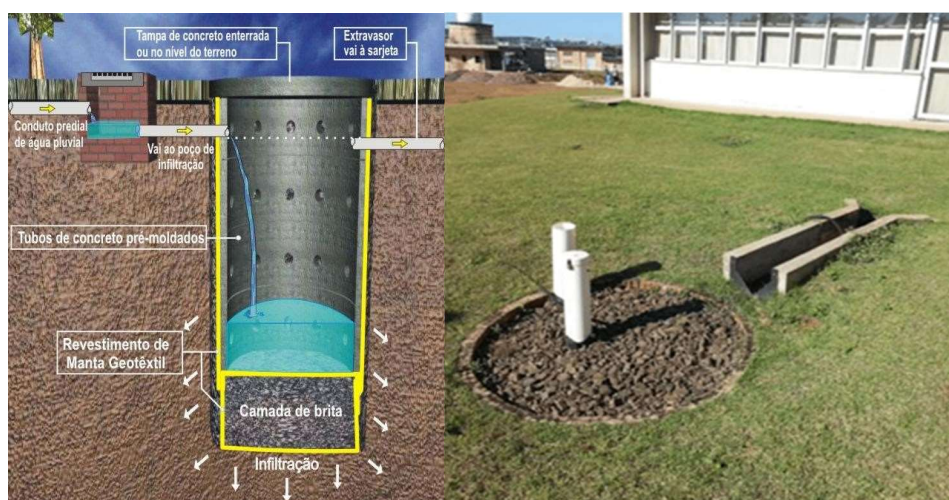


Figura 7 – Poço de infiltração de águas pluviais

Fonte: OLIVEIRA; REIS, 2008; SANTOS *et al*, 2016.

Os telhados verdes são dispositivos compensatórios na fonte instalados sobre os telhados planos ou inclinados das edificações, funcionando como um microreservatório de águas pluviais, compostos por uma camada impermeabilizante, sistema de drenagem, vegetação e solo (ou substrato), sendo os últimos, como elementos de preenchimento. Na figura 8 temos a montagem e um telhado verde instalado.



Figura 8 – Telhado Verde em laje

Fonte: CARPENTER, 2008; ECOTELHADO, 2021

As técnicas lineares, geralmente são implantadas ao longo dos logradouros públicos e estacionamentos, dispostas em pequenas ou grandes áreas de drenagem, acompanhando suas declividades superficialmente ou em pequenas profundidades. Dentre as mais encontradas temos:

- Trincheiras de infiltração;
- Valas de retenção ou vegetadas;
- Jardins de chuva;
- Pavimento permeável;
- Áreas úmidas lineares.

As trincheiras de infiltração (figura 9) são estruturas que favorecem a infiltração das águas pluviais após seu armazenamento temporário, podendo ser associadas a outros tipos de dispositivos.



Figura 9 – Trincheira de infiltração
 Fonte: TUCCI, 1997; KOBAYASHI *et al*, 2008

Nas valas de retenção (figura 10) ou valas vegetadas, como dispositivo linear, as águas de chuva são recolhidas e conduzidas temporariamente, para posterior percolação no solo.

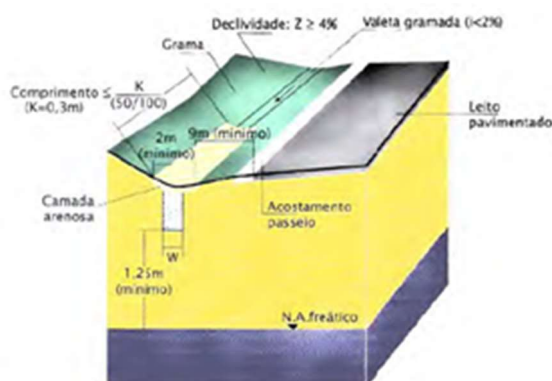


Figura 10 – Vala de retenção
 Fonte: CANHOLI, 2014; BEZA *et al*, 2019

Outro dispositivo de técnica linear são os jardins de chuva ou áreas de biorretenção, paisagens dispostas linearmente projetadas para receber águas de chuva, composta por arbusto, plantas perenes ou árvores, inseridas em pequenas depressões no solo, preferencialmente permeável, que permitirá a infiltração natural. Na figura 11 temos alguns exemplos de jardins de chuva.



Figura 11 – Jardins de chuva ou Áreas de Biorretenção

Fonte: LID-STORMWATER, 2021, HERZOG; ROSA, 2010

Os pavimentos permeáveis (figura 12) retêm parte da drenagem superficial, devido a quantidade reduzida de finos em sua composição, o que permite a passagem da água pelo pavimento até a base, favorecendo a diminuição do escoamento superficial (TUCCI, 1997; CANHOLLI, 2014).



Figura 12 – Seção típica do pavimento permeável e exemplo de bloco intertravado e bloco vazado

Fonte: CANHOLLI, 2014; www.sa.gov.au (2021)

4.2 Técnicas de controle centralizado

Como técnicas de controle centralizado temos as bacias de infiltração e as bacias de detenção e retenção, caracterizadas por ocuparem extensas áreas de drenagem.

As bacias de infiltração ou percolação (figura 13) armazenam o escoamento superficial e favorece a lenta infiltração da água no fundo da bacia ou por dreno instalado na mesma.



Figura 13 – Bacias de infiltração ou percolação

Fonte: WOODS-BALLARD, 2007; FILHO *et al*, 2012

As bacias de retenção (figura 14) são reservatórios utilizados para reter o escoamento superficial, durante e logo após as chuvas, minimizando os efeitos da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica, no entanto, são mantidos esvaziados na maior parte do tempo (TUCCI, 1997, CANHOLLI, 2014).

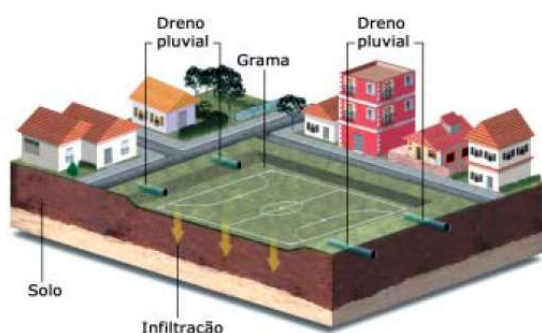


Figura 14 – Exemplos de bacias de retenção

Fonte: FEAM, 2006; WOODS-BALLARD, 2007

Nas bacias de retenção (figura 15) um dos principais objetivos é o controle de inundações e da qualidade da água, com a sedimentação dos sólidos em suspensão e o tratamento biológico do efluente.

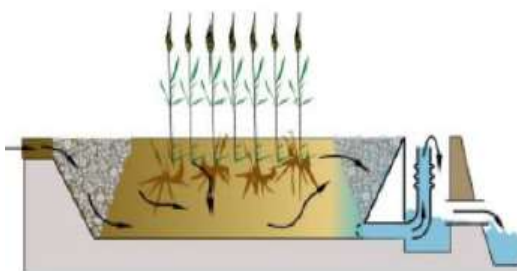


Figura 15 – Bacias de retenção do projeto “Lagoas do Norte”, Teresina-PI

Fonte: OITOMEIA.COM.BR, 2021

5 Telhados Verdes

Muitos acreditam que o emprego de espécies vegetais em revestimento de paredes e cobertura de edificações trata-se de uma tecnologia contemporânea e inovadora. No entanto, segundo Osmundson (1999) muitos povos antigos para melhorar as condições adversas da natureza, lançavam mão, de diversas espécies de vegetais para obtenção de bem-estar, conforto e proteção de suas moradias.

Na Babilônia e Mesopotâmia, por volta de 600 a. C. a 450 a. C., se utilizavam de diferentes crucíferas, gramíneas, leguminosas e outros vegetais para revestimento de terraços, principalmente nos templos religiosos. Esses jardins suspensos eram denominados de zigurates, o que mais se destacou foi o *Etemenanki* (figura 16), na Babilônia (OSMUNDSON, 1999).

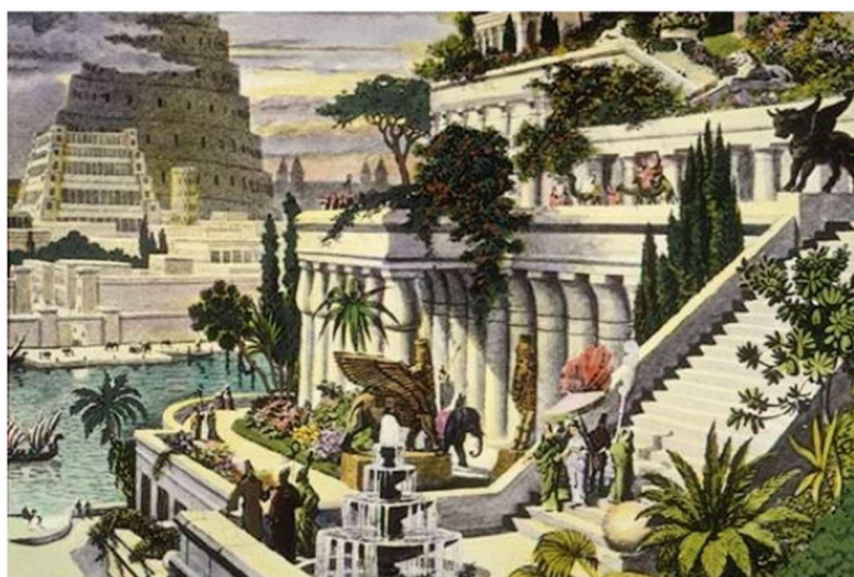


Figura 16 – Representação artística dos jardins suspensos da Babilônia, por Martin Heemskerck
Fonte: Cruz; Leone (2008)

Ainda segundo Osmundson (1999) o uso de trepadeiras e arbustos em mausoléus e varandas na Espanha, França e Itália. Já os Vikings, na Escandinávia, para se protegerem dos ventos e da chuva usavam nas coberturas e paredes das casas, camadas de gramíneas.

O conceito de telhado verde é amplamente difundido em países como Áustria, Alemanha e Noruega. Dentre estes o que mais se destaca na atualidade é a Alemanha com dez milhões de metros quadrados de telhados verdes, depois de décadas de pesquisas no desenvolvimento de tecnologia, voltadas na escolha de espécies vegetais e diferentes substratos, somado a incentivos governamentais (PECK, 2002).

5.1 Vantagens

- ❑ O plantio nos telhados influencia no ambiente interno contribuindo para a melhoria do conforto térmico das edificações (ROLA; UGALDE, 2007 citado por OLIVEIRA, 2009);
- ❑ Economia de energia nos países tropicais devido ao esfriamento dos ambientes abaixo do telhado verde, no verão, provocado pela evapotranspiração das plantas (ROLA; UGALDE, 2007 citado por OLIVEIRA, 2009);
- ❑ Aumenta as áreas verdes urbanas, reduzindo os efeitos de “ilha de calor” (NIACHOU, 2001; WONG, 2003);
- ❑ Proporciona atividade terapêutica, com a manutenção (jardinagem) dos telhados verdes e o estado de bem-estar em naturalizar o ambiente com a utilização de vegetação (LAAR, 2001);
- ❑ possibilidade de produção de hortaliças, plantas ornamentais ou medicinais, com efeito na geração de renda, segurança alimentar e inclusão social (GOMES, 1998; ISLAM, 2004)
- ❑ Influi na retenção das águas pluviais, no clima urbano, na insolação, na biodiversidade e diminui a poluição do ar (BRENNEISEN, 2004);
- ❑ Funciona como um filtro contra a poluição (retenção de poeira) e na manutenção da umidade relativa do ar, não tendo somente um caráter estético e ornamental (GOMEZ, 1998; ROLA; UGALDE, 2007 citado por OLIVEIRA, 2009);
- ❑ Aumento do isolamento térmico (ROLA; UGALDE, 2007 citado por OLIVEIRA, 2009);
- ❑ Absorção do ruído (ROLA; UGALDE, 2007 citado por OLIVEIRA, 2009);
- ❑ Prolongamento da vida útil da cobertura em relação às coberturas somente impermeabilizadas (ROLA; UGALDE, 2007 citado por OLIVEIRA, 2009);

- ❑ Redução do escoamento superficial (*runoff*) que suportam as canalizações urbanas mitigando os efeitos das inundações (CUNHA; MEDIONDO, 2004; ROLA; UGALDE, 2007 citado por OLIVEIRA, 2009);

5.2 Classificação

Os telhados verdes são dispositivos compensatórios na fonte instalados sobre os telhados planos ou inclinados das edificações, podem ser acessíveis e inacessíveis, quando não permitem o trânsito de pessoas. Funcionam como um microreservatório de águas pluviais, compostos por uma camada impermeabilizante, sistema de drenagem, vegetação e solo (ou substrato), sendo os últimos, como elementos de preenchimento.

Quando instalados sobre a laje (figura 17), Oliveira (2009) relaciona as seguintes camadas constituintes do telhado verde:



Figura 17 – Composição da estratificação padrão de um sistema completo de cobertura verde com sistema de drenagem para lajes

Fonte: LID-STORMWATER, 2021

- Impermeabilização: impede a infiltração de água na laje, com a utilização de manta asfáltica, filme plástico, composto de água, cimento e látex ou sika, ou outros produtos comerciais;

- isolamento térmico: como a própria composição do telhado, propicia o conforto térmico da construção, em alguns trabalhos esta camada é dispensada;
- proteção mecânica: protege a camada de impermeabilização contra, choques mecânicos, que possam danificá-la;
- Drenagem: camada que regula a retenção de água e conduz para fora do sistema o excesso desta;
- Filtragem (facultativo): permite a passagem de água e retendo o substrato, impedindo sua passagem para o sistema de drenagem;
- Substrato: camada de suporte da vegetação, com capacidade de retenção, absorção e nutrição da biomassa;
- Vegetação: cobertura vegetal utilizada no sistema, que depende do tipo de telhado e da profundidade do solo ou substrato.

Quando instalados sobre a telhados (figura 18), deve-se atentar para a capacidade de suporte – avaliar carga extra - e para a inclinação do telhado. temos as seguintes camadas (OLIVEIRA, 2009):

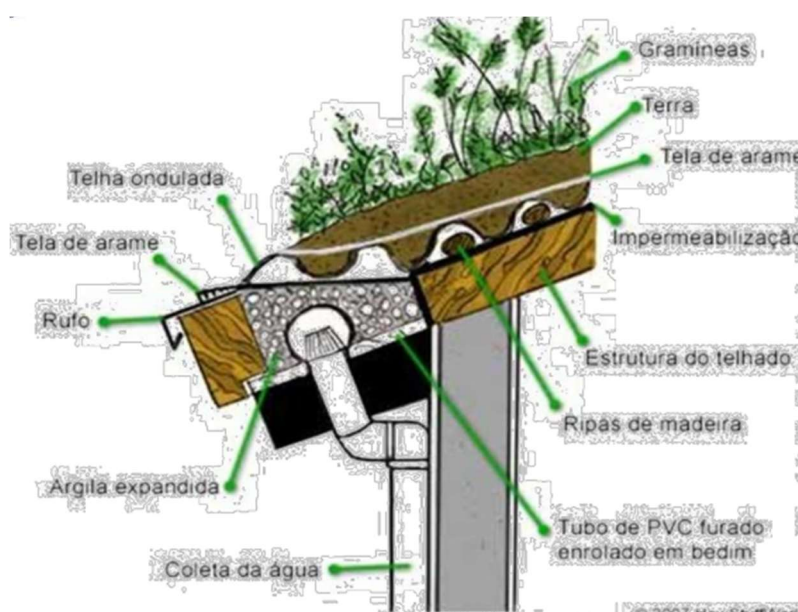


Figura 18 - Composição da estratificação padrão de um sistema completo de cobertura verde com sistema de drenagem para telhados inclinados

Fonte: GUTIERREZ; RAMOS, 2017

- Impermeabilização: camada que impede a infiltração de água na telha, que geralmente utiliza-se filme plástico, com proteção contra os raios UV;

- Tela de arame: aumenta o atrito entre o substrato e a base, evitando o escorregamento do substrato nos telhados inclinados;
- Substrato: camada de suporte da vegetação, com capacidade de retenção, absorção e nutrição da biomassa. A altura do substrato e o tipo irão variar conforme a vegetação escolhida e o tipo de telhado.
- Vegetação: cobertura vegetal utilizada no sistema, que depende do tipo de telhado e da profundidade do solo ou substrato.

Com relação a espessura da camada de substrato e do tipo de cobertura vegetal, os telhados verdes são classificados em extensivos, semi-intensivo e intensivos (figura 19).

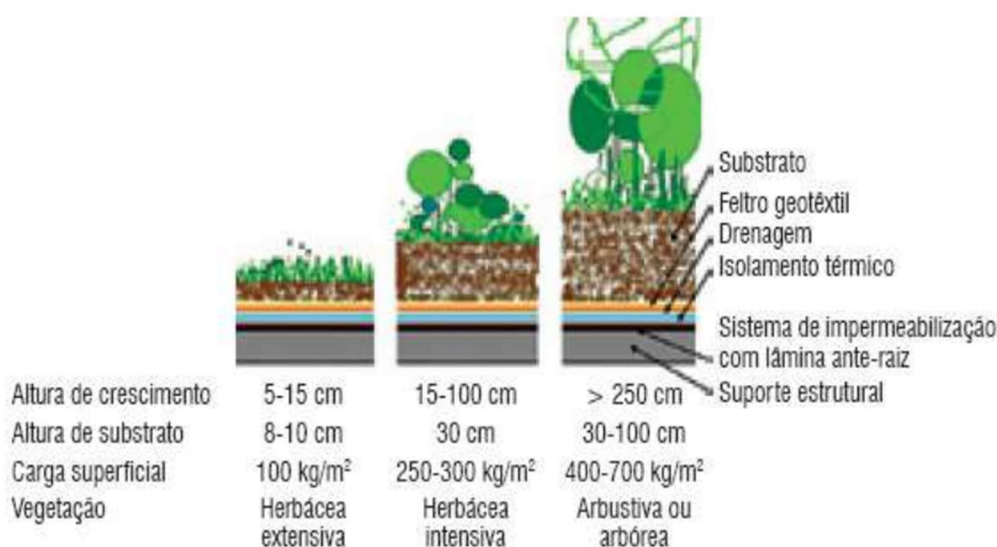


Figura 19 – Esquema geral das camadas dos telhados verdes sobre estruturas de edificações

Fonte: Correa (2007)

Os extensivos – conhecidos também como Coberturas Verdes Leves (CVL's) – variam entre 4 a 20cm de solo ou substrato (figura 20), com baixa manutenção, geralmente em função da escolha de cobertura vegetal, que deve apresentar boa resistente ao *stress* hídrico e pouco crescimento vegetativo, também em sua grande maioria inacessíveis a circulação de pessoas, com cargas que variam entre 72,6kg/m² a 169,4kg/m², passivos de adaptação a estruturas de telhados convencionais já instalados (LAAR, 2001; PECK; KUHN, 2006).



Figura 20 – telhado verde extensivo

Fonte: MINKE, 2004 citado por SAVI, 2012

Os telhados verdes intensivos (figura 21) permitem o trânsito de pessoas, na configuração de terraços vegetados ou jardins. Nos intensivos a camada de substrato tem espessura a partir dos 20cm podendo receber espécies de vegetação de porte arbóreo, para tanto, o processo de manutenção envolve o trabalho contínuo de adubação, irrigação e podas (LAAR, 2001; CONNELLY; LIU, 2005).



Figura 21 – Telhado verde intensivo

Fonte: Latitude Verde Paisagismo e Engenharia Ltda (2006) citado por Oliveira (2009)

No Quadro 3 temos as vantagens e desvantagens de ambos os processos construtivos.

	Vantagens	Desvantagens
Intensivos	• Proporciona grandes espaços para o estabelecimento da diversidade da fauna e da flora; • Possibilita a utilização do jardim como espaço de contemplação e também para o cultivo de alimentos	• Sistema construtivo complexo e de grande manutenção; • Grande peso estrutural; • Alto custo inicial com a construção e posteriormente com elementos de manutenção.
Extensivos	• Baixa manutenção em relação a irrigação, podas e fertilização; • Baixo peso estrutural • Maior flexibilidade em relação à inclinação da cobertura; • Não exige perícia na execução; • Adequado para implementar em edificações existentes; • Possui um custo relativamente baixo.	• Geralmente não possui acesso para espaços de contemplação e recreação; • Escolha limitada das espécies vegetais.

Quadro 3 – Comparação entre telhados verdes intensivos e telhados verdes extensivos

Fonte: JOHNSTON; NEWTON, 2004

5.3 Detalhes Construtivos

No Brasil, embora com poucas opções no mercado, nas últimas décadas tem aumentado a oferta de tecnologias específicas para o uso dos telhados verdes. Essas empresas especializadas, dispõe de produtos para diferentes tipos de lajes e estruturas oferecendo coberturas verdes inteligentes.

A) Biotelhado Premium

Biotelhado com módulos montados e plantados, que são encaixados na superfície da laje (figura 22).

1 – Grelhas de drenagem

2 - Instalação dos módulos de grama

3 – Biotelhado recém-instalado

4 – Biotelhado após dois meses



Figura 22 – Etapas de montagem do biotelhado Premium

Fonte: D'ELIA, 2009

B) Sistema Alveolar Ecotelhado

Visão geral do sistema desmontado com cada uma das camadas, antes da instalação (figura 23):

- 1 – Membrana Ecotelhado antirraízes (preta 200 micras);
- 2 – Membrana Alveolar Ecotelhado (2 cm) para drenagem e retenção de água;
- 3 – Membrana Filtrante Ecotelhado
- 4 - Módulo Ecotelhado (8 cm) que evita erosão, a compactação e aeração;
- 5 – Substrato Leve Ecotelhado (1cm ou mais, dependendo da análise)



Figura 23 – Visão do sistema alveolar ecotelhado

Fonte: Fonte: D'ELIA, 2009

□ Etapas de montagem do Sistema Alveolar Ecotelhado (Figura 24)

1 – Colocar a membrana de retenção sobre a membrana antirraízes;

2 - Instalação da membrana de retenção;

3 - Instalação da membrana alveolar,

4 – Ecotelhado recém-colocado



Figura 24 – Montagem do sistema alveolar ecotelhado

Fonte: D'ELIA, 2009

C) Sistema Modular Biotelhado

Logo abaixo, temos a sequência de instalação de telhado verde intensivo, pelo sistema Modular Biotelhado (figura 25):

- 1 - Impermeabilização e proteção mecânica;
- 2 – Elementos de drenagem;
- 3 – Camada de filtragem e separação;
- 4 – Caixa de proteção para drenos;
- 5 – Substrato de argila expandida;
- 6 – Bordas de drenagem com acabamento em pedra São Tomé
- 7 – Plantio de mudas “in loco”;
- 8 – Mudas recém-plantadas;
- 9 - Jardim suspenso com seis meses após o plantio
- 10 – Jardim suspenso um ano após o plantio

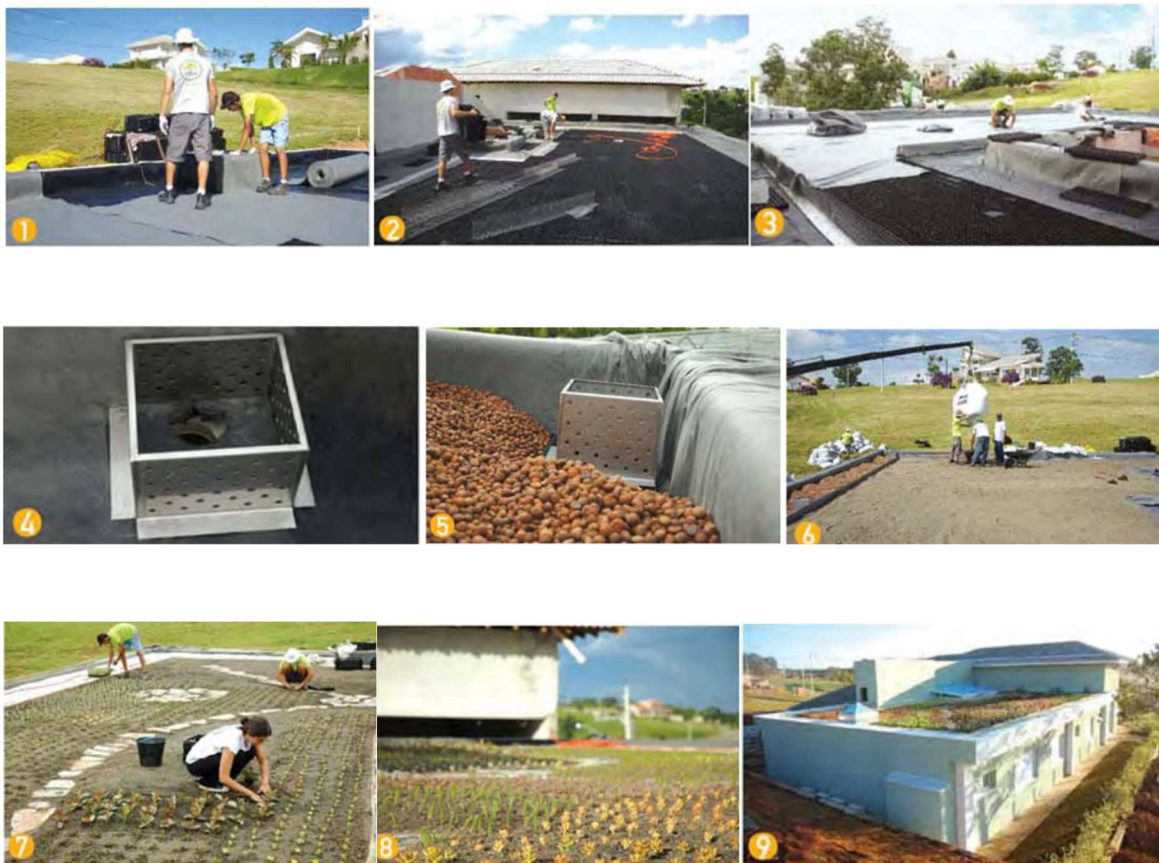




Figura 25 – Montagem do sistema modular biotelhado

Fonte: D'ELIA, 2009

D) Sistema Laminar Ecotelhado

As etapas de instalação são (figura 26):

- 1 – Os módulos de piso são colocados sobre a laje impermeabilizada;
- 2 - Instalação da membrana de retenção;
- 3 - Colocação de substrato leve e fibroso;
- 4 – Encaixe das leivas de gramas;
- 5 – Detalhe da lâmina de água subterrânea com dreno lateral;

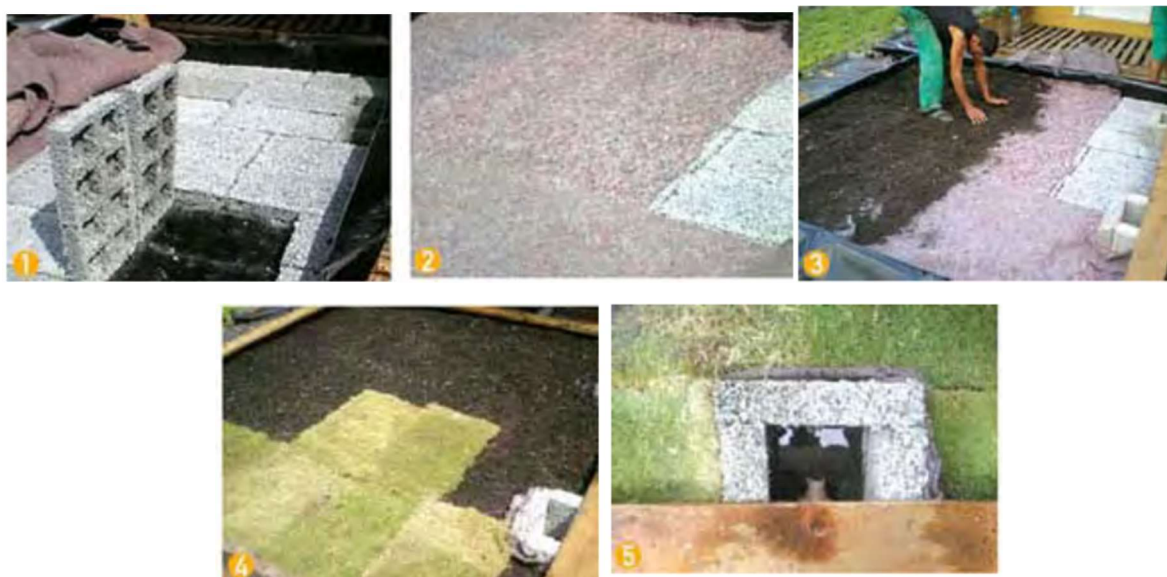


Figura 26 – Montagem do sistema laminar ecotelhado

Fonte: D'ELIA, 2009

E) Telhado verde com materiais renováveis

Podemos encontrar telhados verdes baseados na permacultura, que utiliza materiais encontrados facilmente na natureza. Legen (2008) utiliza para estrutura do telhado verde, madeira e bambu, conforme apresentação na figura 27 e 28.

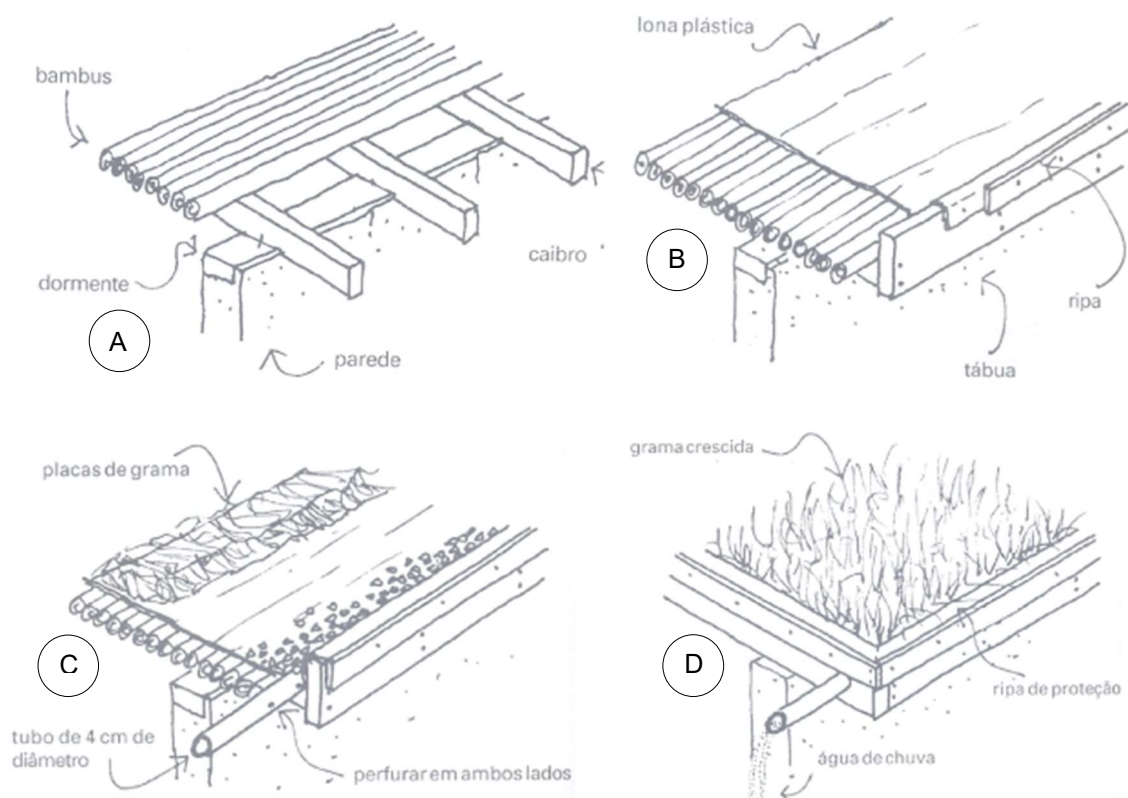


Figura 27 – Etapas construtivas de telhado verde com estrutura de madeira e bambu

- A) Estrutura de madeira e bambu
- B) Impermeabilização com lona plástica
- C) Sistema de drenagem
- D) Telhado verde acabado

Fonte: LENGEN, 2008



Figura 28 – Telhado verde com estrutura de madeira e bambu

A - Protótipo de telhado verde instalado pelo Instituto Tibá;

B – Telhado verde utilizando bambu

Fonte: TIBAROSE, 2012

REFERENCIAS

BEZA, B. B.; ZEUNERT, J.; HANSON, F. The role of WSUD in contributing to sustainable urban settings. In: **Approaches to Water Sensitive Urban Design**. Woodhead Publishing, 2019. p. 367-380.

BRENNEISEN, S. Green roofs - how nature returns to the city. Acta Horticulturae, ISHS, International Conference on Urban Horticulture, 2004, v. 643, p289-293.

CANHOLI A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. Ed. São Paulo. SP: Oficina de Texto, 2014.

CARPENTER, S. **Green Roofs and Vertical Gardens**. International Specialized Skills Institute, Melbourne (ISS Institute) Melbourne, Austrália, v. 48, 2008.

CIDADE EM FOTOS. cidadeemfotos.blogspot.com. Disponível em: <https://cidadesemfotos.blogspot.com/2012/07/fotos-de-teresina-pi.html>. Acesso em 6 de dezembro de 2019.

CONNELLY, M.; LIU, K. **Green roof research in British Columbia** – na overview. In: Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, 3. Washington. Proceedings... Canada: Green Roofs for Healthy Cities. P. 1-17. 2005.

CORREA, C. B., **Telhados verdes**: a cobertura ecológica. Conselho em revista. n. 34. CREA-RS, 2007.

CRUZ, W.; LEONI, A. **Coberturas verdes na região metropolitana de Curitiba** – barreiras e potencial de estabelecimento na visão dos profissionais da construção civil. Programa de Pós-Graduação em Const. Civil, UFPR, Curitiba. 2008.

CUNHA, A. P. S. R.; MENDIONDO, E. M. **Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves (CVL)**. Anais... São Paulo: USP, 2004.

D'ELIA, R. **Telhados verdes**. Editora Pini Ltda, ed. 148. 2009.

ECOTELHADO. Projetos de Arquitetura Verde, Design Biofílico e Construção Sustentável. 2021. Disponível em: <<https://ecotelhado.com>>. Acesso em: 30 ago 2021.

FLETCHER, T. D., et al. **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more** – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban Water Journal, 2015, 12.7: 525-542.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

G1.GLOBO.COM. Disponível em:

<https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2019/04/06/familias-sao-retiradas-de-casas-apos-nivel-do-rio-poti-subir-na-zona-norte-de-teresina.ghtml>. Acesso em 30 de novembro de 2019.

GOMEZ, F. et al. Vegetation and climates changes in a city. Ecological Engineering, v. 10, n. 4, p.355-360, 1998.

GUTIERRES, A. I. R.; RAMOS, I. C. Guia de Técnicas Sustentáveis em Drenagem Urbana. Manual (Especialização). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2017.

GUTIERRES, H. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Modelo-de-drenagem-urbana_fig50_334107348. Acesso em 28 de junho de 2021.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. **Infraestrutura verde**: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. Revista Labverde, n. 1, p. 92-115, 2010.

ISLAM, K.M.S. Roof top gardening as a strategy of urban agriculture for food

security: the case of Dakar city, Bangladesh. Acta Horticulturae, ISHS, International Conference on Urban Horticulture, v. 643, p241-247, 2004.

KOBAYASHI, F. Y. et al. **Drenagem Urbana Sustentável**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

LAAR, M. Et al. Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical. In. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENCAC, 6. Anais...São Pedro, São Paulo, 2001.

LENGEN, Johan Van. Manual do arquiteto descalço. 5ª edição. Editora Empório do Livro, São Paulo, 2008.

LID-STORMWATER. lid-stormwater.net. Disponível em: <https://www.lid-stormwater.net/imagens/greeroof1.jpg>. Acesso em 30 de setembro de 2021.

LIMA, I. M. M. F. **Teresina**: urbanização e meio ambiente. Scientia et spes, v. 1, n. 2, p. 181-206, 2002.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; RESENDE, O. M. **Drenagem Urbana: Do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1ª edição. Ed. Elsevier. Rio de Janeiro, 2016.

NETPIAUÍ. O portal de notícias do nosso Piauí. Disponível em:

<http://www.netpiaui.com.br/2012/06/21/moradores-de-area-de-risco-em-teresina-o-que-fazer/>. Acesso em 21 de junho de 2021.

NIACHOU, A. et. al. Analysis of green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Buildings, v. 33, n. 7, p. 719-729, 2001.

OITOMEIA.COM.BR. Disponível em:

<https://www.oitomeia.com.br/noticias/2017/08/17/parque-lagoas-do-norte-e-um-dos-maiores-da-america-latina-e-mais-visitados-de-teresina/>. Acesso em 30 de outubro de 2021.

OLIVEIRA, E. W. N. Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico. Dissertação (mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, L. H.; e Reis, R. P. A. **Sistemas Integrados**: aproveitamento de água pluvial e drenagem na fonte. 2008.

OSMUNDSON, T. Roofs gardens: history, desing and construction. New York: W.W. Norton e Company, Inc, 1999.

PECK, S. W. et. al. Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canadá. Peck and associates, 2002.

PECK, S.; KUHN, M. **Design guidelines for green roofs**, 2006. Disponível em: <https://www.eugene-or.gov/DocumentCenter/View/1049/Design-Guidelines-for-Green-Roofs>. Acesso em: 28 ago 2021.

RIGHETTO, A. M. (Org). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SA.GOV.AU. Disponível em:

https://www.sa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/9448/WSUD_summary_1_2_3.pdf
f. Acesso em 31 de março de 2021.

SANTOS, M. **A urbanização Brasileira**. HUCITEC. São Paulo, 1993.

SANTOS, M. F. N., Reis, M. R. M., Paiva, S. B., Gonçalves, L. M., Barbassa, A. P. **Descentralizando o manejo das águas pluviais**: promover a participação da comunidade? In: 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, Maceió, 2016.

SAVI, A. C. **Telhados verdes**: análise comparativo de custo com sistemas tradicionais de cobertura. Monografia (Especialização). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v17, n. 2: 9-18, 2012.

TIBAROSE. Disponível em <<http://www.tibarose.com>> Acesso em 28 de novembro de 2021.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**. In.: Água Doce. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

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

VIVADECORA.COM.BR. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/curiosidades/cisterna/>. Acesso em 30 de junho de 2021.

WOODS-BALLARD, B. et al. **The SUDS manual**. London: Ciria, 2007.

APÊNDICE B

SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA COM A UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVO DE CONTROLE NA FONTE E ANÁLISE DO IMPACTO NA DRENAGEM URBANA

RESUMO

Os problemas drenagem urbana ficam cada vez mais evidentes à medida que os sítios urbanos são expostos a eventos climáticos cíclicos, mais precisamente aos fenômenos hidrometeorológicos anuais. As soluções tracionais utilizadas para resolver os problemas causados pelas chuvas urbanas, tem caráter pontual e eficiência limitada a médio e longo prazo. No entanto, à medida que se implementa técnicas compensatórias, pensando na bacia hidrográfica de forma integrada, não só atingimos paisagens hidrológicas funcionais, como também se obtém melhores respostas do sistema de drenagem existente quando submetidos aos deflúvios. O estudo analisou o comportamento da sub-bacia PD08, em Teresina-PI, por meio de simulação hidrológica, considerando a utilização de dispositivos de controle na fonte, na modalidade telhados verdes. No software SWMM foi realizado a modelagem hidrológica considerando cinco cenários diferentes na composição dos telhados verdes. A análise dos cenários revelou a redução do pico de vazão, 2% de redução com uma menor utilização de telhados verdes e na maior utilização, 14%, para um tempo de retorno de 5 anos, isso representa redução de volume no escoamento superficial em todos os cenários. Em termos práticos, os dispositivos de controle na fonte, de acordo com os resultados, trazem um impacto positivo nos sistemas de drenagem urbana, uma vez que diminui o total de água escoada, atuando como elemento mitigador no controle do escoamento superficial urbano.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem Urbana, Técnicas Compensatórias, Telhados Verdes, Águas Pluviais

INTRODUÇÃO

A relação dos fenômenos climáticos com as cidades nem sempre é harmoniosa. Uma vez que o clima, segundo Mendonça (2010) foi pouco considerado na elaboração do planejamento urbano das cidades. No que se refere aos fenômenos hidrometeorológicos sobre os ambientes urbanos tem-se observado, de maneira mais intensa, danos e perdas em decorrência das chuvas urbanas precedidas de enchentes e alagamentos. No entanto, mesmo sendo eventos recorrentes, de periodicidade anual, pouco se tem feito na mitigação dos seus efeitos no meio urbano.

Teresina, localizada no meio-norte do nordeste brasileiro, inicialmente como a primeira capital de um estado brasileiro com seu traçado planejado, logo evidenciaria os efeitos do crescimento acelerado da malha urbana e os desafios provenientes de tal expansão tais como: ocupação imprópria das planícies de inundação dos rios Parnaíba e Poti para uso residencial e comercial; a rede de drenagem existente se mostra ineficiente e insuficiente para as demandas cada vez maiores de vazão; e a diminuição da cobertura vegetal aumentando os efeitos da “ilha de calor”.

Diante do quadro crescente de ocupação das sub-bacias presentes no perímetro urbano, resultando na impermeabilização do solo, no aumento do escoamento superficial e na geração de efluentes de esgoto doméstico, que sem tratamento são lançados na rede de micro-drenagem(sarjetas). As soluções tradicionais utilizadas para resolver os problemas de drenagem em Teresina, tem caráter pontual e vem se apresentando como medidas paliativas de curto a médio prazo frente ao período chuvoso.

Diante do exposto, faz-se necessário uma nova perspectiva de intervenção no espaço urbano, no que diz respeito a drenagem urbana, com a implementação de técnicas compensatórias de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID) na cidade de Teresina tendo como meta “atingir paisagens hidrológicas funcionais, com comportamento mais similar ao natural, por controlar não somente o pico de vazões, mas volume, frequência/duração além de qualidade dos escoamentos pluviais” (SOUZA, 2005, p. 1).

O presente estudo, analisou o comportamento de algumas sub-bacias da cidade de Teresina, identificadas pela prefeitura do município como áreas marcadas por

sucessivos eventos de inundação. A simulação hidrológica foi direcionada, no que diz respeito ao tempo de concentração da bacia, a partir da construção e análise dos hidrogramas resultantes. O incremento será a adoção de dispositivos compensatórios, os telhados verdes, que retendo parte das águas pluviais alteram o comportamento dos hidrogramas da bacia.

A pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho de dispositivo compensatório na fonte, aplicado de maneira escalonado e extensivo em sub-bacias hidrográficas urbanas antropizadas, suscetíveis a inundações, através de modelagem hidrológica a fim de verificar o potencial de atenuação dos efeitos do processo de urbanização no sistema de drenagem urbana.

MATERIAIS E MÉTODOS

No Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDUr) de Teresina encontramos os parâmetros utilizados para modelagem hidrológica, assim como a identificação da sub-bacia, utilizada no estudo, onde serão implantados os telhados verdes como técnica compensatória. A sub-bacia hidrográfica analisada pertence a macrobacia do rio Poti, na sua margem direita, com abrangência dentro do perímetro urbano do município, em áreas consolidadas pela ocupação urbana e marcadas pela ocorrência de inundações e alagamentos.

ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia hidrográfica selecionada foi a PD08 localizada na zona leste de Teresina, caracterizada por uma malha urbana bastante consolidada com ocupação residencial e do comércio nas avenidas principais, logradouros com revestimento asfáltico na sua grande maioria e próximo ao exultório, a Universidade Federal do Piauí e a Estação de Tratamento de Esgoto - Leste.

Para identificação da área de estudo, lançamos mãos, do Sensoriamento Remoto com as imagens de satélite Sentinel 2, com resolução espacial de 10 metros em quatro bandas espectrais, dispostas na composição RGB 04/03/02, e

georreferenciadas no *software* Qgis 3.18. A varredura do satélite sobre as áreas de estudo, ocorreu em meados de outubro de 2020, trazendo valiosas informações sobre a disposição da malha urbana. Para o modelo de elevação (MDT) utilizamos as imagens SRTM, que resultou nos mapas hipsométrico e de declividade da sub-bacia estudada, acrescidos de dados hidrográficos das bacias dos rios Parnaíba e Poti obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA).

No PDDUr de Teresina (TERESINA, 2010) foi levantada as características topográficas e dados hidrológicos da bacia, tais como: a área de 3,775km²; tempo de concentração de 14,98 minutos; Curva Número (CN) médio de 81,7 e área impermeável estimada em torno de 61,8%.

DADOS DE PRECIPITAÇÃO

A equação da chuva de projeto (Equação 1) para o município de Teresina, determinada pelo PDDUr utiliza o parâmetro IDF (Intensidade-Duração-Frequência) foi utilizada para construção do hietograma de entrada do modelo chuva-vazão para a área em estudo.

$$i = \frac{1194,273 * TR^{0,1738}}{(t+10)^{0,7457}} \quad \text{equação (1)}$$

Onde *i* é a intensidade da chuva em mm/h; o **TR** o período de retorno em anos e **t** o tempo de concentração da bacia em minutos. O menor tempo de concentração encontrado nas parcelas da sub-bacia estudada foi utilizado como parâmetro para a escolha do intervalo de tempo considerado para a discretizar a chuva de projeto. Para tanto, foi adotado para o hietograma resultante (Figura 1), o tempo de concentração de 2 minutos, e tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos; e o tempo de observação da precipitação de 1 hora.

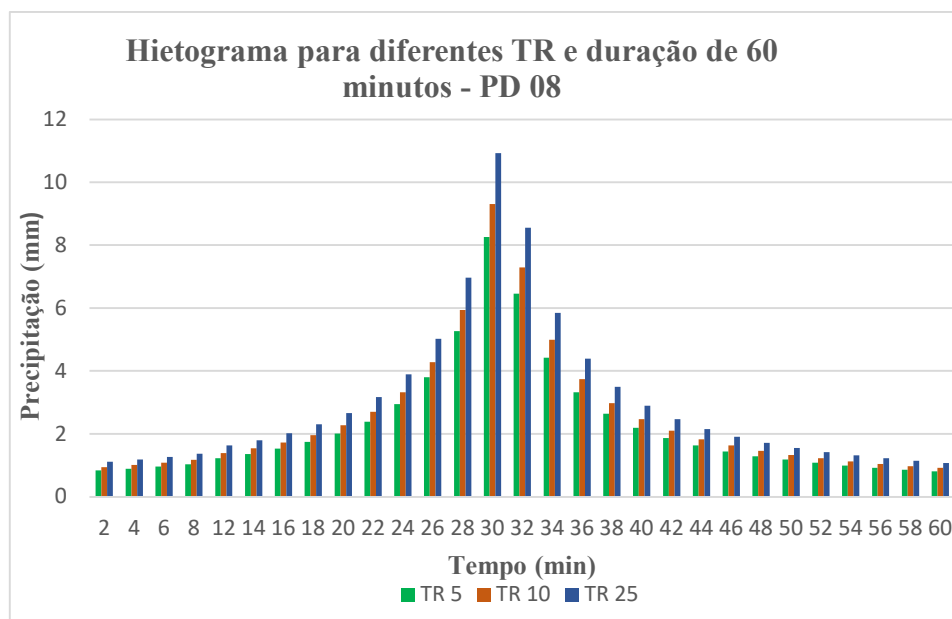


Figura 1 - Hietogramas da Sub-bacia PD 08 com duração de 60 minutos e diferentes tempos de retorno

MODELAGEM HIDROLÓGICA

Para a modelagem hidrológica, a chuva de projeto de Teresina foi simulada pelo software SWMM 5.1, utilizando o modelo dinâmico chuva-vasão, com dados das estações meteorológicas presentes no município, bem como a instalação dos dispositivos compensatórios de baixo impactos nas áreas impermeáveis dos telhados para as modelagens de dados de captação, retenção e escoamentos resultantes.

Os dispositivos de controle na fonte utilizados foram os telhados verdes extensivos, por apresentarem como características favoráveis; facilidade de instalação; mais baratos e mais leves em relação as outras modalidades de telhados verdes; e pouca manutenção. Utilizamos os parâmetros elencados por Martins (2017) na tabela 1 para modelagem dos telhados verdes.

A etapa final da modelagem, consistiu na construção de cenários, onde os telhados verdes ocupavam os índices de 10%, 25%, 50%, 75% e 100% sobre os telhados das sub-bacias de estudo, o que permitiria a utilização dos dispositivos combinados com outras técnicas compensatória, bem como seu desempenho em cenários individuais.

Em síntese, a área total de telhados na bacia tem aproximadamente 68,69 hectares, o que perfaz 17,97% da área total da bacia PD08. Dos 68,69 hectares, estima-se uma área de 51,52 hectares para o cenário de 75% de telhados verdes e uma área de 6,87 hectares para o cenário de 10% de telhados verdes, conforme resumo no tabela 2.

Tabela 2 - Dados para cenários diversos na utilizados de telhados verdes – Tempo de Retorno (TR) de 5, 10 e 25 anos

Sub-bacia	Cenários: % de Telhados Verdes	Área de telhados verdes (ha)	% de área de telhados nas sub-bacias	% de área impermeável	% impermeável atualizado
PD08	10	6,87	1,80	61,8	61,4
	25	17,17	4,49		60,7
	50	34,35	8,98		59,6
	75	51,52	13,48		58,4
	100	68,69	17,97		57,0

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira constatação é que a instalação dos telhados verdes é possível em toda a área de estudo, no entanto, deve-se analisar alguns fatores como o tipo de estrutura e a declividade dos telhados, que irão receber os dispositivos.

A modelagem sem os dispositivos de controle na fonte apresenta escoamento superficial logo no primeiro minuto da chuva de projeto, atingindo seu pico aos 32 minutos para o TR de 5 anos, com vazão de 117,19 m³/s. Esses números implicam em um volume escoado superficial de 225.005m³. No tabela 3 temos o resumo dos

resultados obtidos na modelagem e na figura 02 os hidrogramas da sub-bacia PD08 para diferentes tempos de retorno.

A simulação hidrográfica, considerando a atuação dos telhados verdes em comparação ao cenário real resulta na redução do pico de vazão em todas as parcelas de ocupação dos telhados por telhados verdes. Os dispositivos compensatórios que ocuparam apenas 10% dos telhados da bacia por telhados verdes contribuíram para uma redução de 2% de uma vazão de 117,19m³/s (cenário real com TR5), ou seja, aproximadamente 2,4m³/s de tormenta deixaria de contribuir para crescimento do pico de vazão, cerca de 4.608m³ de água pluvial. Este índice passa dos 21% quando consideramos todos os telhados ocupados por telhados verdes. A figura 3 ilustra os hidrogramas a redução das vazões de pico com o incremento de 75% de ocupação de telhados da sub-bacia PD08 com telhados verdes em relação ao cenário sem a utilização dos dispositivos compensatórios.

Tabela 3 – Simulação do escoamento sem telhados verdes				
Bacia	TR (anos)	Pico de escoamento (m³/s)	Tempo de simulação até o pico (min)	Volume escoado (m³)
PD08	5	117,19	32	225.005
	10	136,53	32	262.138
	25	167,12	32	320.870

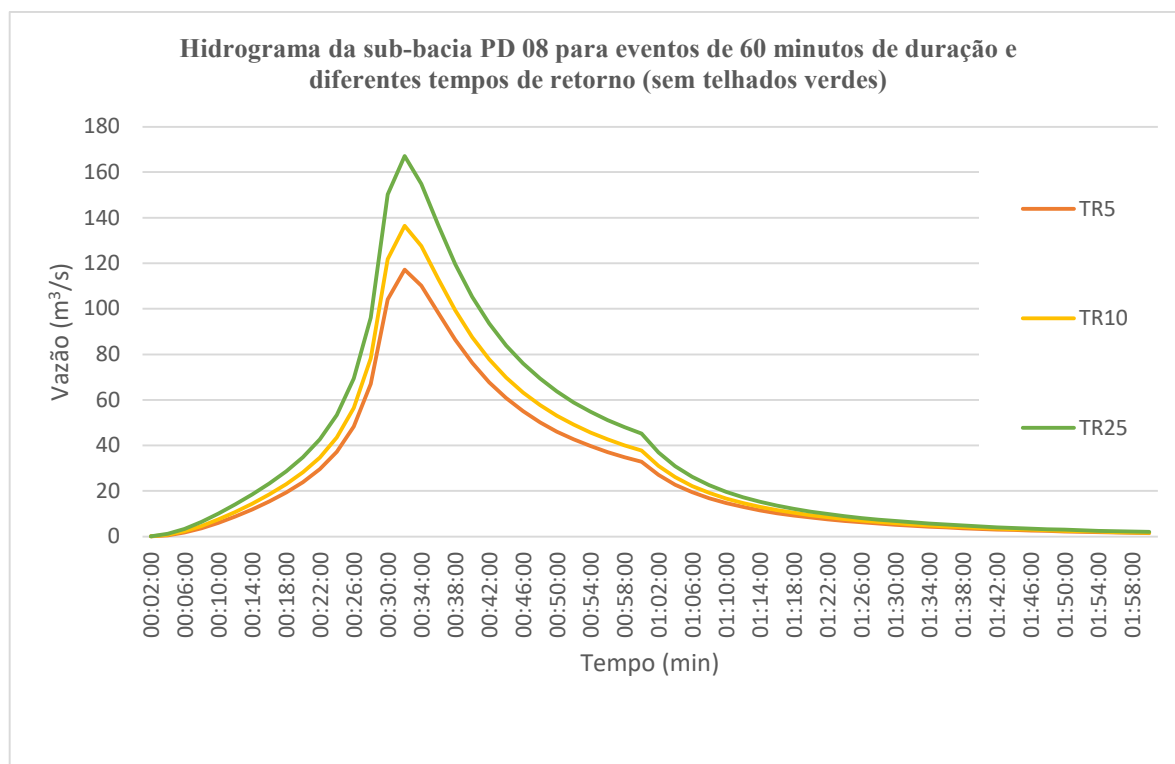


Figura 2 – Sub-bacia PD08 (cenário real)

Analisando os resultados na figura 2 onde se considerou a simulação de diferentes tempos de retorno com tempo de duração de chuva de 60 minutos, observa-se que a medida que aumenta a precipitação na bacia, temos também um incremento ascendentes do valor da vazão de pico, partindo de 117,19m³/s para tempo de retorno de 5 anos para cerca de 167,12m³/s no tempo de retorno de 25 anos, um aumento de aproximadamente 30%. O tempo de pico, ocorre por volta dos 32 minutos em todos os cenários simulados, ou seja, quanto maior for o tempo de retorno maiores serão as vazões no mesmo intervalo de tempo, o que implica diretamente em sobrecarga da rede de drenagem devido ao elevado escoamento pluvial.

Com a adoção dos dispositivos de controle na fonte, na simulação, observa-se uma redução expressiva dos volumes de águas pluviais que chegam aos logradouros públicos. Observamos este comportamento na figura 3, onde é comparado o cenário real (sem o dispositivo) e um cenário com 75% de ocupação dos telhados da bacia com telhados verdes, mesmo permanecendo o instante de pico aos 32 minutos (TR5), houve redução da magnitude do pico, em aproximadamente 12%, ou seja, redução de 27.763m³.

Observa-se que à medida que se aumenta as parcelas de ocupação dos telhados verdes diminui-se o volume que chega ao sistema de drenagem. Logo, a retenção dos deflúvios nos dispositivos de controles impacta diretamente no escoamento superficial e de maneira significativa reduzindo os picos de vazão. Na figura 4 temos o hidrograma de todos os cenários modelados, num tempo de retorno de 25 anos.

Outro aspecto que pode ser considerado na atuação dos telhados verdes como mecanismos de controle na fonte, é o fato destes dispositivos retardarem a chegada do escoamento ao sistema de drenagem, o que evitaria ou minimizaria pontos de alagamento.

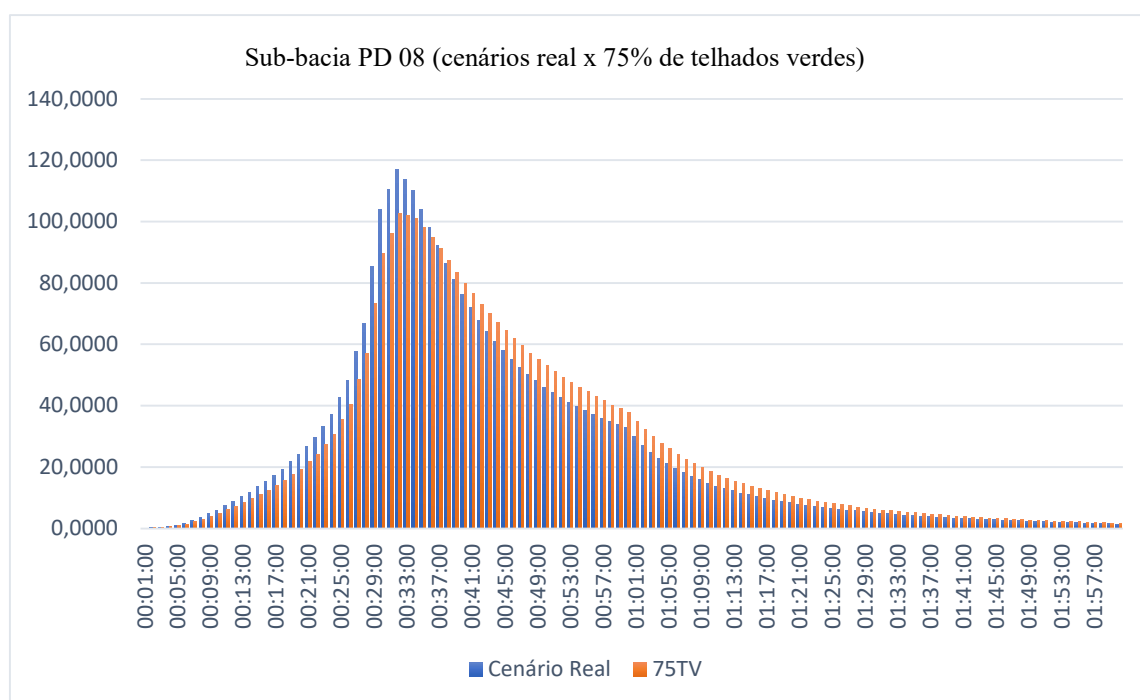


Figura 3 – Hidrograma da sub-bacia PD 08 para cenários diferentes na aplicação de telhados verdes com tempo de retorno de 5 anos

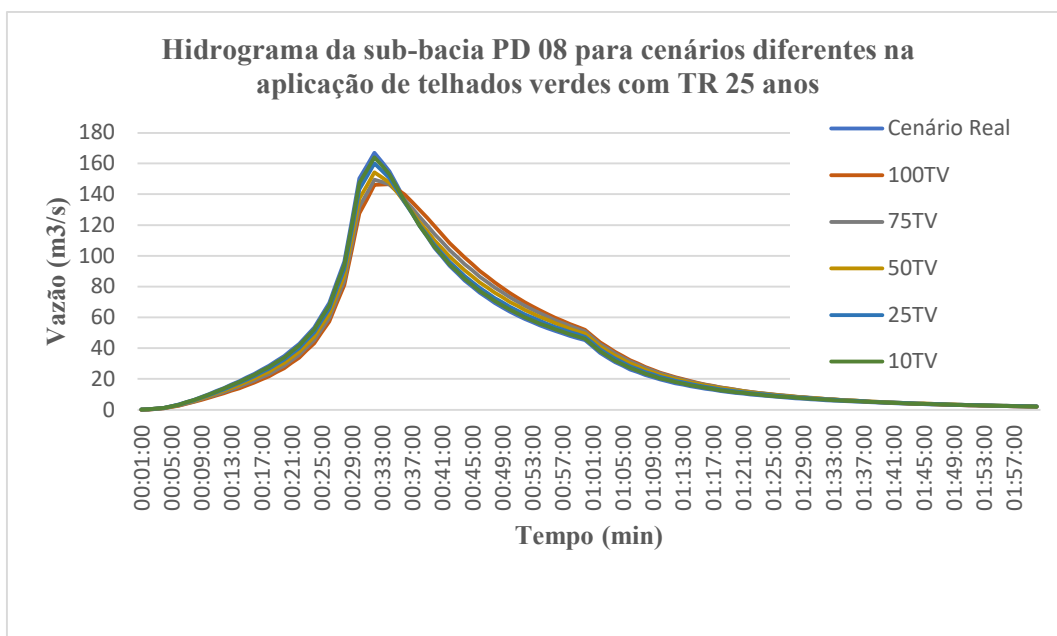


Figura 4 – Sub-bacia PD 08 com diferentes cenários (TR25 anos)

No que se refere a estudos anteriores onde utilizou-se os telhados verdes, como instrumentos compensatórios e dispostos em cenários variados. Alguns fatores, como a própria redução do volume total de escoamento ou o instante quando ocorre o pico da vazão, são difíceis de comparar, em função das próprias características da bacia, que apresentam diferentes condições e parâmetros utilizados na modelagem.

Segundo Mora-Melia *et al.* (2018) critérios utilizados na modelagem de telhados verdes podem influenciar no desempenho dos dispositivos, dificultando até mesmo a comparação com outros estudos realizados. Um exemplo de um critério limitante fornecido pelo autor é o fato de alguns estudos anteriores considerarem 100% de ocupação dos telhados com telhados verdes. Esse critério, inviabiliza a comparação com estudos mais próximos da realidade, uma vez que, dificilmente se encontrará todos os telhados de uma bacia ocupados com telhados verdes.

Trilhando o caminho da similaridade de resultados, no que se refere a busca do entendimento de fatores que atenuam o escoamento superficial, analisamos os resultados de Yao *et al.* (2020) no estudo de 12 bacias hidrográficas na área urbana de Beijing (China), onde as maiores reduções no escoamento superficial ocorreram em bacias com maior índice de ocupação de telhados verdes.

A redução do pico de vazão em 12,30% (TR5), 7,39% (TR10) e 10,51% (TR25) indicam que no cenário com 75% de telhados verdes apresenta-se uma maior eficiência no período modelado de 5 anos, ou seja, as maiores taxas de redução de pico ocorrem no menor período modelado. Essa tendência também é observada nos estudos de Versini *et al.* (2015), Ercolani *et al.* (2018) e Liu *et al.* (2020).

CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido com foco na análise do desempenho dos dispositivos de controle na fonte, na modalidade de telhado verde, como mais uma alternativa viável para o gerenciamento e convívio com a água de chuva no sítio urbano de Teresina e auxílio no conhecimento da dinâmica da água na sub-bacias de estudo.

Os mapas produzidos para identificação e caracterização das sub-bacias, fornecem importantes informações sobre a área estudada para este trabalho, bem como para outros estudos que possam ser realizados no sítio urbano de Teresina. Contudo, informações de natureza hidrológica foram tabeladas e auxiliaram na obtenção dos parâmetros utilizados na simulação como os valores das áreas impermeáveis, o parâmetro CN, áreas impermeáveis com armazenamento em depressão, dentre outros. Sendo a área impermeável indispensável para um bom modelo SWMM, no que se refere ao escoamento superficial bem representativo.

Apesar de ser esperados, não houve retardo do início do escoamento, como observado em outros estudos prévios. O instante de pico de escoamento aos 32 minutos do início da chuva de projeto, permaneceu sem alteração em quase todos os cenários simulados, com exceção, do cenário de 100% de ocupação de telhados verdes que apresentou um adiamento de 2 minutos para o início do escoamento.

De maneira geral, todos os cenários mostram resultados que favorecem a mitigação da sobrecarga do sistema de drenagem urbano na bacia, com maiores declínios dos picos proporcional a uma maior ocupação dos telhados com os dispositivos e uma melhor eficiência em tempos de projetos menores.

No que trata sobre a instalação dos telhados verdes, as restrições são de ordem técnica quanto a capacidade de suporte da estrutura e sua declividade, mas no geral podem ser usados em toda a bacia. Para se ter uma ideia, se considerarmos apenas somente a metade das áreas aptas na Sub-bacia PD08 teríamos uma área de 6,18 hectares de telhados, o que representa, aproximadamente 9% da área total da bacia.

A metodologia aplicada para disposição dos telhados verdes em cenários distintos, nos permitiu uma visão diversificada, associada a um panorama de possibilidade de utilização destes dispositivos, individualmente no lote ou a possibilidade de associação a outro dispositivo LID.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil). **Base hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Parnaíba**. Catálogo de Metadados da ANA, 2017. Disponível em <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search;jsessionid=10C3002A00FD891619495D61CCB9C32E#/metadata/6f9c7237-1ffd-46db-a095-98cc80c36482>>. Acesso em: 20 de novembro 2020.
2. AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL (ADASA). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal**. Brasília, DF: Adasa, Unesco, 2018.
3. ERCOLANI, G.; CHIARADIA, E. A.; GANDOLFI, C.; CASTELLI, F.; MASSERONI, D. **Evaluating performances of green roofs for stormwater runoff mitigation in a high flood risk urban catchment**. J. Hydrol. 2018. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.09.050.
4. LIMA, I. M. M. F.; ALBUQUERQUE, E. L. S. **Rio Poti: caminhos de suas águas**. EDUFPI, 2020.
5. LIU, I.; SUN, L.; NIU, J. RILEY, W. J. **Modeling Green Roof Potencial to Mitigate Urban Flooding in a Chinese City**. Water 2020. 12. 2082. <https://doi.org/10.3390/w12082082>.
6. MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas**. 2017. Tese (Doutorado em

- Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.
7. MENDONÇA, F. **Riscos e vulnerabilidade socioambientais urbanos a contingência climática**. Revista de Geografia da UFC – Mercator, vol. 9, n° 1. Fortaleza, 2010.
 8. MORA-MELIA, D.; LÓPEZ-ABURTO, C. S.; BALLESTEROS-PEREZ, P.; MUNOZ-VELASCO, P. **Viability of Green Roofs as a Flood Mitigation Element in the Central Region of Chile**. Sustainability 2018, 10, 1130. <https://doi.org/10.3390/su10041130>
 9. SÃO PAULO – Secretária Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; diretrizes para projetos**. São Paulo: SMDU, 2012.
 10. SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento urbano de baixo impacto**. Simpósio de Recursos Hídricos do Sul RS-SC-PR, p. 1-19, 2005. Disponível em <[http://www.ctec.ufal.br/professor/cfs/site_cfs/Aguasul2005%20-%20Desenvolvimento .pdf](http://www.ctec.ufal.br/professor/cfs/site_cfs/Aguasul2005%20-%20Desenvolvimento.pdf)>. Acesso em: 10 de outubro 2019.
 11. TERESINA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina** – 2010. Teresina: Concremat Engenharia, 2010.
 12. TERESINA. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Teresina: DRZ Consultoria, 2013.
 13. VERSINI, P. D.; RAMIER, D. E.; BERTHIER, E.; GOUVELLO, B. **Assessment of the hydrological impacts of green roof: From Building scale to basin scale**. Journal of Hydrology. Volume 524. 2015. Pages 562-575. ISSN 0022-1694. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol2015.03.020>.
 14. YAO, L. WU, Z.; WANG, Y.; SUN, S.; WEI, W.; XU, Y.; 2020. **Does the spacial location of green roofs affect runoff mitigation in small urbazized catchments?** J. Environ. Manage. 268, 110707. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110707>.

APÊNDICE C

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA NO CONTEXTO DO PLANEJAMENTO URBANO

URBAN DRAINAGE MASTER PLAN IN THE CONTEXT OF URBAN PLANNING

RESUMO: O Planejamento urbano é uma ferramenta para o enfrentamento dos problemas urbanos. Para tanto, utiliza-se do plano diretor, o instrumento básico da política de desenvolvimento urbano que estabelece as diretrizes básicas para expansão da cidade, distribuindo de forma equilibrada equipamentos e infraestrutura necessária. Neste cenário, reflete-se as teorias sociais no ambiente urbano em meios aos seus arranjos e complexidades, em particular, as necessidades sanitárias de escoamento para fins de saúde pública às concepções mais atuais sobre gestão integrada dos recursos hídricos. Com gênese, no substrato dos planos diretores tradicionais aos planos diretores participativos. Dessa forma, analisa-se o Plano Diretor de Drenagem Urbana, como parte integrante do plano diretor, instrumento de planejamento ambiental, preventivo e de controle, que gera redução de custos e perdas ambientais no meio urbano em prol de uma drenagem urbana mais sustentável.

Palavras-chave: drenagem urbana. LID. plano diretor. planejamento urbano.

ABSTRACT: Urban planning is a tool for tackling urban problems. For this, the master plan is used, the basic instrument of the urban development policy that establishes the basic guidelines for the expansion of the city, distributing the necessary equipment and infrastructure in a balanced way. In this scenario, the social theories in the urban environment are reflected in the means of their arrangements and complexities, in particular, the sanitary needs of drainage for public health purposes to the most current conceptions on integrated management of water resources. With genesis, on the substrate of traditional master plans to participatory master plans. In this way, it analyzes the Urban Drainage Master Plan, as an integral part of the master plan, an instrument of environmental, preventive and control planning, which generates reduction of costs and environmental losses in the urban environment in favor of a more sustainable urban drainage.

Keywords: urban drainage. LID. master plan. urban planning.

1 Introdução

Nas cidades ocorre o principal cenário das relações sócio-espaciais, marcada por conflitos e ajustes, pelo local e o global, da dinâmica de controle do capital, disciplinado – ou não – pelo estado. A busca pela equidade social, política e

econômica, pela regularização fundiária (em oposição a especulação imobiliária) e pelo desenvolvimento sustentável (ambiental, social e econômico), ou seja, diante da inércia do Estado a cidade é o ambiente dos conflitos de interesses econômicos e sociais, em meio a uma força desproporcional, onde o segundo geralmente sai perdendo.

Nesse cenário, o Planejamento urbano se torna uma ferramenta para o enfrentamento dos problemas urbanos. No estudo em tela, examina-se o Plano Diretor como o instrumento básico da política de desenvolvimento para as cidades que estabelece as diretrizes básicas para expansão urbana, como o uso, ocupação e parcelamento do solo, bem como a distribuição equilibrada dos equipamentos urbanos e a infraestrutura necessária, principalmente os planos voltados para drenagem.

Para tanto, a proposta se apresenta em analisar as contribuições das teorias sociais para a construção do conhecimento sobre os ambientes urbanos, em meios aos arranjos e complexidades dos centros urbanos. Permeado pelas necessidades sanitárias de escoamento dos efluentes produzidos pela cidade industrial até as concepções atuais sobre gestão integrada dos recursos hídricos nas regiões urbanas.

Ainda, buscou-se construir uma abordagem sobre a trajetória do Plano Diretor, desde os planos que resumiam o planejamento da cidade aos traçados de ruas ortogonais e a disposição das águas pluvias e esgoto cloacal para longe das cidades – rio abaixo, aos planos – agora ditos diretores – pós estatuto das cidades, que aglutina, mesmo que teoricamente, a participação da sociedade, nos chamados planos diretores participativos.

Assim, o presente artigo tem como objetivo refletir o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) como instrumento de planejamento ambiental e parte da infraestrutura urbana. Enfatizando-o como parte integrante do Plano Diretor do município e sua importante contribuição para as melhorias, tão almejadas de saneamento básico nas cidades brasileiras.

2 Teorias Urbanas: concepção higienista à compensatória (sustentável)

O marco inicial dos processos de transformação urbanas nos moldes dos métodos científicos iniciaram no final dos anos de 1800, nas metrópoles industriais europeias, refletindo nas colônias e ex-colônias, em um cenário de crescimento

desordenado dessas metrópoles. Com o advento da revolução Industrial a cidade cresce rapidamente, na oferta de bens e serviços. Tais condições, atrai fluxos migratórios do campo em busca de melhores condições de vida. No entanto, o crescimento acelerado e sem controle evidenciou ainda mais os problemas de ocupação do solo urbano, ressaltando ausência de saneamento, mobilidade e habitação (MIGUEZ, 2016).

Um dos trabalhos pioneiros sobre urbanização é a Teoria Geral da Urbanização do engenheiro urbanista Ildefons Cerdá, de 1867. Anteriormente, Cerdá tinha concebido um projeto urbanístico denominado Eixample, em Barcelona, incorporando elementos paisagísticos as quadras, sistema de esgotamento sanitário e estruturação viária (MONTE-MÓR, 2006).

Ainda, segundo Monte-Mór (2006) outro trabalho bastante influente no velho mundo e por extensão em suas colônias, foi o primeiro plano regulador urbano do Barão Georges-Eugénere Haussmann, na cidade de Paris na metade do século XIX, que levava no seu bojo também concepções higienistas demandadas da metrópole industrial.

Os princípios de Haussmann desembarcam no Brasil, em Minas Gerais, com o plano de Aarão Reis, somado a elementos de barroco inspirados em Pierre Charles L'Enfant. Alguns engenheiros brasileiros adotaram os princípios hausmannianos quanto a infraestrutura de saneamento em cidades como Manaus, Belém, Rio de Janeiro, São Paulo e Santos, enquanto os arquitetos das escolas de Belas Artes se preocupavam com as questões arquitetônicas e estéticas (MONTE-MÓR, 2006).

Nomes como: Le Corbusier, Camilo Sitte e Ebenezer Howard também influenciaram no cenário nacional e mundial, o primeiro “privilegiava aspectos racionais da ação individual articulados com o sentido de progresso”, o segundo “articulado com o resgate do sentido de comunidade e de cultura das cidades” e por fim, o terceiro “nas propostas de cidades-jardins” (MONTE-MÓR, 2006, p. 64). Esse viés progressista se consolida no Brasil, na década de 30, com uma arquitetura brasileira moderna, que no final das duas décadas seguintes se concretiza na construção de Brasília como um projeto urbanístico progressista.

As metodologias e proposições usadas pelo planejamento urbano modernista foram baseadas em critérios de racionalidade e de caráter exclusivamente técnico, não tendo nenhuma forma de participação da sociedade civil nas discussões de propostas para a cidade, ficando o espaço urbano submetido a normas e padrões que propiciassem, segundo vários autores de cunho marxista, a reprodução da força do capital, conforme os anseios dos atores responsáveis pela “máquina de crescimento urbano” (Júnior, 2004, p. 16).

As deficiências em infraestrutura aliada a um tecido urbano compacto criaram as condições para graves problemas de saúde pública e epidemias. “A solução encontrada para minimizar o problema recai na captação, na condução e na descarga rápida dos esgotos e águas pluviais” (MIGUEZ, 2016, p. 6). No entanto, a medida que nas cidades a impermeabilização do solo devido a urbanização se intensificava, os problemas de enchentes cresciam paralelamente, colocando em evidência a eficácia do concepção higienista. A demanda crescente nos sistemas de drenagem não era absorvida pela canalização, não respondendo aos problemas locais e ainda transferindo as cheias para áreas a jusante.

Na mesma esteira, as teorias sociais urbanas e organização dos espaços na cidade se desenvolveram frente às teorias urbanísticas científicas. As “variações entre a abordagem cultural e a abordagem ecológica” da Escola de Chicago, com a tradição da sociologia urbana norte-americana e a Ciência Regional, com Walter Isard, com sua abordagem na economia regional e urbana foram as principais abordagens. (MONTE-MÓR, 2006, p. 64).

A cidade, nessa concepção, é vista como o lugar onde o urbano, a modernidade se manifesta - na sua percepção mais simplista – na concretização do futuro melhor, com a segurança alimentar proporcionada pelo emprego (ou subemprego), em detrimento da vida no campo com todas as suas dificuldades. No entanto, este ideário de prosperidade baseado no “capital” é alvo de crítica de teóricos, de cunho marxista, onde regimes capitalistas e estadistas não conseguem alcançar esse objetivo.

Teóricos marxistas como Manuel Castell (1976, 1977a, 1977b, 1977c) e David Harvey (1975, 1985) agregam contribuições na reflexão da crise do Estado e o impacto do capitalismo urbano, adentrando nas questões urbanas e suas contradições, das relações de consumo e das lutas dos movimentos sociais urbanos. Outro pesquisador e teórico com elevada contribuição às questões urbanas, com

sólida influência marxista, Henri Lefebvre (1969, 1971, 1978, 1991a, 1991b, 1999a, 1999b) reflete sobre os dilemas entre o rural e o urbano, as divisões de classe no trabalho como instrumento de exclusão e a sociedade de consumo. No Brasil, temos a sólida contribuição de Milton Santos (1959, 1965, 1979, 1980, 1982a, 1982b, 1987, 1988, 1990, 1993) com suas reflexões sobre a urbanização brasileira embrenhando-se no espaço urbano, traçando um perfil da pobreza urbana e a sociedade de privilégios, cada vez mais acentuada nos países subdesenvolvidos. Tais reflexões contribuem para a percepção dos direcionamentos do planejamento urbano, voltado a atender as demandas do “capital” em detrimento dos problemas socio-ambientais, evidenciados pela perpetuação da pobreza e as condições precárias ou inexistente de saneamento básico, bem como, a pressão crescente sobre os recursos naturais.

As intervenções do Estado e da sociedade organizada nas cidades, em prol de melhorias, encontram campo fértil nas teorias “que tentaram explicar a transformação, o crescimento, o sentido e a função da cidade” (MONTE-MÓR, 2006, p. 61). Deslocadas das realidades das periferias, essas teorias, não atendem suas demandas - ideias fora do lugar - pois são implantadas nas áreas onde prevalecer o poder político e econômico - lugares fora das ideias (MARICATO, 2000).

É preciso ir além, a concepção higienista não consegue mais atender as demandas das médias e grandes cidades, onde a realidade do crescimento acelerado e desordenado do espaço urbano implica em grandes desafios que perpassam pelo uso e ocupação do solo alinhado ao planejamento urbano e integrado ao saneamento básico, mais precisamente, na disposição adequada dos resíduos sólidos, drenagem urbana e esgotamento sanitário. Novos problemas requerem novas soluções, neste contexto, integradas, considerando os elementos com elevada relação entre si numa perspectiva de sustentabilidade.

Em uma primeira abordagem, segundo Pompêo (2000, p. 16) buscou-se melhorar os efeitos da drenagem urbana pelo método tradicional com a implantação de obras estruturais tais como: sistemas de galerias, canais e melhoramento de rios (cortes de meandros, retificações e mudanças de declividade de fundo), que retiram as águas acumuladas transferindo-as para outras áreas, ou seja, pequena importância é dada à geração do escoamento nas superfícies urbanizadas, à medida que se focaliza o controle de escoamento na própria calha do curso d’água. Em uma outra abordagem tem-se como objeto a planície de inundação, mediante o zoneamento

dessas áreas a fim de impedir a ocupação da seção de escoamento garantindo a carga hidráulica do escoamento superficial (POMPÊO, 2000). Iniciava-se um processo de compensação dos efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos em prol da redução de volumes ou vazões.

O controle de águas pluviais e o tratamento de esgoto passam a ser objeto das políticas públicas voltadas para o saneamento, com altos investimentos em estruturas de armazenamento, reservatórios superficiais, caracterizados por áreas de acumulação naturais ou artificiais (piscinões) e em situações mais excepcionais, reservatórios subterrâneos – também mais onerosos financeiramente – para acumulação e amortecimento de cheias evitando a incidências de enchentes no meio urbano.

Nas últimas décadas estuda-se o emprego de melhores práticas de gestão ambiental (BMP - Best management practices) e/ou práticas integradas de gerenciamento de águas pluviais (IMP – Integrated Management Practices) pelo órgão ambiental dos EUA. Consiste em técnicas de gerenciamento da quantidade e qualidade da água de chuva visando o escoamento na bacia a partir da fonte, diminuindo os transtornos a jusante; com a utilização de mecanismos de armazenamento e infiltração das águas precipitadas, a nível de bacia, tais como reservatórios de lote, poços de infiltração, trincheiras e outros (CRUZ et al, 2007, TAVANTI e BARBASSA, 2012).

3 Plano diretor: do tradicional ao participativo

Passado mais de dois séculos da Revolução industrial, marco inicial do crescimento da *pólis*, ainda é presente o crescimento desordenado da ocupação urbana, caracterizada por problemas de infraestrutura de transporte, déficit habitacional, ineficiência e insuficiência dos sistemas de coleta e tratamento de esgotamento sanitário, drenagem urbana deficiente ou ausente, que precarizam cada vez mais a vida da população urbana.

Contudo, tentativas de organização do espaço urbano brasileiro podem ser identificados desde a presença da família real no Brasil. Inspirados no modelo português, as intervenções urbanas eram voltadas para organização espacial e seus aspectos estéticos, no que se refere a limpeza e conservação dos logradouros

públicos; o traçado do espaço urbano era baseado na geometria, com ruas ortogonais e quadras regulares – plano xadrez (ANTONELLO, 2013).

Iniciava-se os primeiros esboços do que seriam posteriormente denominados planos diretores. A medida que os centros urbanos cresciam em concentração populacional, de forma acelerada, em meados do século XVIII, aumentava a demanda por serviços de abastecimento de água. No entanto, somente na metade do século XIX e início do século XX o planejamento urbano, até então voltados para a estrutura viária, engrena estudos que contempla o saneamento básico justaposto a expansão das cidades (ANTONELLO, 2013). O abastecimento de água ganhou destaque, segundo Nygaard (2005) com os planos diretores das décadas de 1930 e 1940, na iminência de resolver os problemas de saneamento básico.

O fundamento ideológico contido nos planos diretores tradicionais de acordo com Antonello (2013) afirma que:

A base teórica e metodológica, na qual se assentava as formulações de planejamento urbano desses planos, era o positivismo, dando um cunho "determinista espacial" para os problemas urbanos. Assim, o planejamento urbano ganhou uma configuração físico-territorial, pois se pautava na visão de que, ao resolver os problemas locais do espaço físico, via reorganização desse espaço, com a implantação de infraestrutura, as desigualdades socioeconômicas, também, estariam sendo resolvidas. Portanto, a problemática social era determinada pelos aspectos estruturais de infraestrutura do espaço urbano e não pelas condições socioeconômicas das diferentes classes sociais. (ANTONELLO, 2013, p. 243).

A Constituição Federal do Brasil de 1988, artigos 182 e 183, vem sinalizar para a “função social da cidade e da propriedade, do direito à cidade e da democratização da gestão urbana” para tanto, se fazia necessário que os princípios constitucionais fossem incorporados, mesmo que de forma obrigatória, a partir dos planos diretores em municípios com mais de 20.000 habitantes. Como consequência surge o Estatuto da Cidade, pelo projeto de lei nº 5.788/90 aprovado em julho de 2001 e na sequência instituído pela Lei nº 10.257 em julho do mesmo ano.

Norteados pela Constituição Federal (BRASIL, 1988) e o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), o Plano Diretor assume caráter obrigatório como o instrumento

básico da política de desenvolvimento para as cidades com mais de 20 mil habitantes. O mesmo estabelece as diretrizes básicas para expansão urbana, como o uso, ocupação e parcelamento do solo, bem como a distribuição equilibrada dos equipamentos urbanos e a infraestrutura necessária.

No entanto, com o movimento de difusão e implantação do Plano Diretor nas cidades alvo, ficam evidentes problemas geográficos e socioeconômicos pré-existentes. O desafio do agravamento dos desequilíbrios urbano-regionais, da diminuição qualidade de vida nas cidades com o aumento dos problemas sociais, seguido de uma frágil organização das cidades (AMORIM FILHO e SERRA, 2001), ou seja, “[...] pensar o espaço como exclusivamente resultado de um plano pode ser um equívoco. O plano abre um leque de opções e possibilidades de construir o espaço, todavia nem tudo que está determinado por ele vem ser refletido no espaço (JÚNIOR, 2004)”.

[...] a competência para se pensar as intervenções no espaço passa, crescentemente, por muito mais que uma habilidade para conceber reestruturações do substrato espacial material tomando por base um recorte espacial único e bem-delimitado, pautado na ideia de contiguidade espacial. É preciso ir além do substrato, sem jamais negligenciá-lo; é preciso saber pensar multiescalarmente; é preciso saber integrar a “lógica da continuidade” e a “lógica da descontinuidade” no espaço. (SOUSA, 2013, p. 171).

No âmbito geral, as cidades médias são vistas como alternativas a alguns dos problemas da metrópole – centralização e concentração de grandes massas humanas - que interferem direto ou estão no centro dos planos diretores. As cidades médias têm a “capacidade de receber e fixar os migrantes de cidades menores ou da zona rural, por meio do oferecimento de oportunidades de trabalho, funcionando, assim, como pontos de interrupção do movimento migratório na direção das grandes cidades, já saturadas” (AMORIM FILHO e SERRA, 2001, p. 9). O plano diretor olha para dentro do município, mas também se faz necessário “olhar pra fora”.

A partir do Estatuto da Cidade rompe-se com está prática que sempre prevaleceu, de que o Plano Diretor é instrumento exclusivamente técnico, dominado somente por engenheiros, arquitetos, geógrafos e “sábios” que com seus conhecimentos iriam organizar a cidade ideal (BRASIL, 2005. p. 14)

A Secretaria Nacional de Programas Urbanos, vinculada ao Ministério das Cidades, por meio do Estatuto da cidade versa sobre o Plano Diretor como instrumento de organização e ocupação do município, mas também dinâmico, político e participativo uma vez que agrega a sociedade e os segmentos sociais, a fim de discutir e estabelecer diretrizes ao plano de desenvolvimento do município (BRASIL, 2005).

Na definição das diretrizes para o plano diretor, uma leitura previa e diagnóstica se faz necessário, dos aspectos sociais, econômicos e ambientais do município, a fim de que nas tomadas de decisões sejam feitas de forma integrada a fim de atender as demandas da população. Abrangentes e exequíveis, as diretrizes, devem ser claras quanto a sua aplicação e dispostos derivados, evitando legislar sobre temas de atribuição de outras esferas de governo (federal e estadual), realizando aquilo dentro dos limites de investimento e articulação do município.

Outros aspectos relevantes na construção do plano diretor estão relacionados ao processo em crescimento no Brasil de terceirização (consultorias externas), atuando na elaboração do plano diretor em substituição aos técnicos (servidores) do município - na grande maioria formada por engenheiros e arquitetos – assim deturpando a visão multidisciplinar tão necessária aos planos diretores. Como consequência da ausência nas prefeituras de equipes multidisciplinares e com qualificação técnica, há uma ineficácia nas proposições desses planos. Planos com distanciamento da realidade local, não considerando suas particularidades e potencialidades e muitas vezes, com agravamento do uso de informações copiadas de outros planos.

A participação social na elaboração do plano é outro gargalo. Segundo Flávio Villaça (2005)

Não existe “a população”. O que existe são classes sociais ou setores ou grupos da população. A classe dominante sempre participou seja dos planos diretores seja dos planos e leis de zoneamento. Quem nunca participou forma – e continuam sendo – as classes dominadas, ou seja, a maioria.

Até agora foram essas classes as grandes ausentes. Portanto, quando se fala em Plano Diretor Participativo, como sendo uma novidade e se referindo aos planos diretores do presente, essa ênfase na “participação” só pode ser referir à maioria dominada, já que a minoria dominante sempre participou, embora raramente de forma ostensiva. (VILLAÇA, 2005, p. 50).

Como incorporar essa parcela da população mais marginalizada e excluída que mais sofre com as consequências da expansão urbana? Dispositivos devem ser incrementados pelo poder público a partir da realidade dessas populações a fim de se fazer entender quanto a importância de participar das discussões, ou seja, as informações devem ser acessíveis levando em consideração aspectos cognitivos, culturais e sociais dos participantes de maneira que possam entender as informações técnicas e versar sobre os mesmos.

Dessa forma, no intuito de promover o desenvolvimento inclusivo, equilibrado e sustentável no planejamento urbano, cabe ao poder público e população se beneficiarem da melhor maneira possível do Plano Diretor, pois sem a participação social o plano por si só não resolverá os históricos problemas urbanos.

4 Plano Diretor de Drenagem Urbana: em busca da sustentabilidade

O efeito da urbanização é um dos fatores que mais influenciam no desequilíbrio do meio ambiente urbano, em particular os recursos hídricos urbanos, com problemas, tais como: poluição de mananciais, inundações, drenagem urbana deficiente e ausência de cobertura no tratamento de esgoto.

Um dos instrumentos de planejamento ambiental integrado ao Plano Diretor que “trata[r] a drenagem como parte da infra-estrutura urbana” (ALLASIA et al, 2003) e “preventiva de controle, onde os custos são reduzidos” (TUCCI, 1997) é o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDUr). O mesmo planeja, mediante a ocupação urbana, a disposição da água no espaço-tempo e toda infraestrutura necessária, a fim de se evitar perdas econômicas e ambientais visando o desenvolvimento sustentável (TUCCI, 1997, MARQUES, 2006). Deve ainda considerar, em por menores, as diretrizes e ações a serem realizadas nas áreas consolidadas ou em urbanização.

O planejamento deve ser baseado em obras que minimizem os efeitos das enchentes, com soluções integradoras entre os sistemas urbanos e naturais. O mecanismo de implementação das medidas sustentáveis na drenagem é o Plano Diretor de Drenagem Urbana, os quais

[...] são tradicionalmente utilizados para tratar de funções únicas como a provisão de drenagem, a mitigação de inundações, análise custo/benefício ou a avaliação de risco. Esses planos prescrevem alternativas práticas e específicas de gerenciamento e planejamento. Planos de drenagem multi-objetos estendem essa definição tradicional incluindo o zoneamento, o uso do solo, a qualidade da água, os habitats, a recreação e as considerações estéticas (MARQUES, 2006, p. 41).

Segundo Tucci (1997) a partir da urbanização tem-se o aumento das vazões máximas no escoamento das águas pluvial e impermeabilização das superfícies, aumento da produção de sedimentos devido ao lixiviamento da superfície e a produção de resíduos sólidos, e por fim a degradação da qualidade da água em contato com a superfície urbana e as ligações clandestinas de esgoto. Problemas que devem ser integrados ao PDDUr não somente como eventos pontuais, situados em bacias e/ou sub-bacias, mas como parte integrante da rede hidrográfica do município – ou mais municípios.

Na drenagem urbana o controle de inundações segundo Andrade Filho et al (2000), tem por objetivo a redução dos riscos socioambientais e fortalecimento do desenvolvimento urbano equilibrado, equitativo e sustentável, baseado em ações estruturais e não estruturais como alternativas mitigadoras contra as enchentes urbanas, diminuindo riscos e fortalecendo a proteção contra esses eventos climáticos.

As medidas estruturais são medidas essencialmente construtivas que são projetadas para o controle de enchentes e incluem a construção de represas ou adufas, reservatórios de retenção, diques, barragens, melhoramento de canal de rio e canal de desvio. Já as

medidas não estruturais são aquelas que defendem a melhor convivência da população com as enchentes e incluem prevenção e previsão de enchente, reassentamento ou relocação, alerta de enchente e evacuação, e controle do uso do solo (ANDRADE FILHO et al, 2000, p. 72-73).

O PDDUr baseia-se em princípios na qual os novos desenvolvimentos devem controlar a vazão máxima de jusante; a bacia deve ser considerada em todos os seus aspectos quando se refere ao planejamento e controle dos impactos existentes; as ações do PDDUr devem ser integradas ao Plano Diretor da Cidade e; a gestão dos efluentes, de forma integrada, deve ser avaliada com o esgotamento sanitário e os resíduos sólidos (TUCCI, 1995).

No entanto, a construção do conhecimento para soluções dos problemas de drenagem urbana perpassa por projetos de drenagem adequados e integrados às características e limitações físicas da própria bacia. Inicialmente pautado numa visão higienista “até práticas mais atuais de manejo sustentável de águas urbanas e o projeto de cidades sensíveis à presença de água, integrando um quadro legal, institucional, social, econômico e técnico, que coloca a água no centro da discussão urbana.” (MIGUEZ *et al*, 2016, p. 2).

Com a introdução de técnicas compensatórias, soluções sistêmicas vêm sendo adotadas nas últimas décadas, complementando ou substituindo as práticas tradicionais à medida que procura resgatar padrões de escoamento próximos daqueles anteriores a urbanização. Surge a integração do manejo sustentável das águas de chuva nas cidades com o tratamento do espaço urbano, com práticas de armazenamento de água e aumento de áreas permeáveis como alternativas aos efeitos nocivos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (MIGUEZ *et al*, 2016).

É possível encontrar variadas alternativas, quando se trata de drenagem urbana integrada ao meio. A partir de uma visão mais holística a drenagem urbana evolui com a adoção de novos termos como Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID) nos EUA, Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) na Europa, Design urbano sensível a água e Técnicas alternativas (FLETCHER et al, 2015). Dispositivos de drenagem voltados ao controle da quantidade e qualidade da água pluvial escoada

pela superfície urbana, podendo serem complementados pelas IMPs (TAVANTI e BARBASSA, 2012)

No Brasil o termo mais difundido é a LID, com a associação as paisagens multifuncionais, cuja abrangência perpassa fatores econômicos, ecológicos, culturais, históricos, sociais e estéticos para cumprir diferentes objetivos e funções ((MIGUEZ, 2016).

Segundo Fletcher et al (2015, p. 527) “a LID desencorajou a prática comum de grandes soluções de fim de captação, devido à sua incapacidade de atender a essa restauração hidrológica em toda a bacia”, ou seja, as soluções tradicionais além de ter agregado um valor elevado de investimento inicial, ao longo do tempo se mostra insuficiente para atender a uma demanda crescente de escoamento, devido a urbanização acelerada na bacia. Com custos de investimento menores as LIDs são compostas por mecanismos de tratamento de águas pluviais de pequena escala, instalados na fonte de escoamento, com a utilização de sistemas de bioretenção, telhados verdes e valas. Formam uma paisagem hidrológica funcional, equivalente a uma hidrologia natural, onde os volumes de escoamento pré-desenvolvimento, infiltração e evapotranspiração se mantém equilibrados (Fletcher et al, 2015).

5 Considerações finais

O estudo e o incremento de novas ações ajudam a recompor o setor de drenagem urbana, considerando os atores sociais e as políticas públicas de saneamento com a adoção de elementos técnicos a partir de soluções integradas entre os sistemas naturais e urbanos na condução de desenvolvimento sustentável.

O planejamento urbano numa perspectiva de sustentabilidade, no que se refere a drenagem no meio urbano, se consolidada a partir de um PDDrU equilibrado, associando novas formas de condução nas ações de drenagem urbana, pautado no ambiente urbano, nas demandas da população urbana por saneamento e na mitigação dos impactos ambientais.

Mesmo existindo o planejamento voltado para a solução da drenagem o fator financeiro é limitante na efetivação das obras estruturais e não estruturais. Nesses períodos de falta de recurso aliado a inercia estatal aumenta a complexidade de solução em meio a um dinâmico rearranjo social do espaço.

O PDDrU deve estar integrado ao planejamento urbano, como uma ação institucional sistêmica em prol da sustentabilidade. Desde o traçado da malha urbana

e suas projeções de crescimento, o zoneamento ambiental e de atividades, o comportamento das águas pluviais na rede viária e de transporte, aspectos paisagísticos, etc, ou seja, a presença da água nos centros urbanos no contexto da bacia hidrográfica é parte, bastante relevante, do sistema de planejamento urbano e deve ter a atenção merecida.

Referências Bibliográficas

ALLASIA, D. G., TASSI, R., NEVES, M. G. F. P., VILLANUEVA, A. O., TUCCI, C. E., & CRUZ, M. A. **Estudo de caso: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre/RS**. In *Anais do XV Congresso Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2003.

AMORIM FILHO, O.; SERRA, R. V. **Evolução e perspectivas do papel das cidades médias no planejamento urbano e regional**. Cidades médias brasileiras. Rio de Janeiro: IPEA, p. 1-34, 2001.

ANDRADE FILHO, A. G.; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. **Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas**. Publicatio UEPG. Ciência Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, 6(1): 69-90, 2000.

ANTONELLO, I. T. **Potencialidade do planejamento participativo no Brasil**. Sociedade & Natureza, v. 25, n. 2, p. 239-254, 2013.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Estatuto da Cidade**: guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Brasília: Câmara dos Deputados, 2002.

BRASIL. **Plano Diretor Participativo**. Brasília: Ministério das Cidades. Secretária Nacional de Programas Urbanos, 2005.

Castells, M. **Movimientos sociales urbanos en América Latina**: tendencias históricas y problemas teóricos. Lima: Taller de Estudios Urbano Industriales, Programa Académico de Ciencias Sociales, Pontificia Universidad Católica. 1976.

Castells, M. **Ciudad, democracia y socialismo**: la experiencia de las asociaciones de vecinos en Madrid (1. ed.). Madrid: Siglo veintiuno de España. 1977a.

Castells, M. **Crise do Estado, consumo coletivo e contradições urbanas** (M. L. Viveiros de Castro, Trans.). In N. Poulantzas (Ed.), *O Estado em Crise* (pp. 159-188). Rio de Janeiro: Graal. 1977b.

Castells, M. **The urban question: a Marxist approach**. Cambridge, Mass.: MIT Press. 1977c.

CRUZ, 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, n. 51, p. 1-18, 2007.

FLETCHER, T. D., et al. **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more** – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 2015, 12.7: 525-542.

Harvey, D. **Social justice and the city**. London: Edward Arnold. 1975.

Harvey, D. **Consciousness and the urban experience: studies in the history and theory of capitalist urbanization**. Baltimore, Md.: John Hopkins University Press. 1985a.

JÚNIOR, J. C. F. **Limites e potencialidades do planejamento urbano**. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, v. 2, n. 1, p. 15-28, 2004.

Lefebvre, H. **O direito à cidade**. São Paulo: Ed. Documentos. 1969.

Lefebvre, H. **Everyday life in the modern world**. New York: Harper & Row. 1971.

Lefebvre, H. **The survival of capitalism: reproduction of the relations of production (reprinted)**. London: Allison & Busby. 1978.

Lefebvre, H. **The production of space**. Oxford, OX, UK; Cambridge, Mass., USA: Blackwell. 1991a.

Lefebvre, H. **A vida cotidiana no mundo moderno** (Barros A. J. d., Trans. Vol. *Sociologia e Política*, volume 24). São Paulo: Editora Ática. 1991b.

Lefebvre, H. **A Cidade do Capital** (Ramos M. H. R. & Jamur M., Trans.). Rio de Janeiro: DP&A Editora. 1999a.

Lefebvre, H. **A Revolução Urbana** (Martins S., Trans.). Belo Horizonte: Editora da UFMG. 1999b.

MARICATO, E. **As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias**: planejamento urbano no Brasil. In: ARANTES, O.; VAINER, C.; MARICATO, E. (Org). A cidade do pensamento único: desmanchando consensos. Petrópolis: Vozes, 2000. p. 121-192.

MARQUES, C. E. B. **Proposta de Método para a Formulação de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Publicação MTARH.DM-092/06. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 168p. 2006.

MONTE-MÓR, R. L. **As teorias urbanas e o planejamento urbano no Brasil**. Economia regional e urbana: Contribuições teóricas recentes. Belo Horizonte: Editora ufmg, p. 61-85, 2006.

POMPÊO, C. A. **Drenagem urbana sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

SANTOS, M. **A cidade como centro de região**. Universidade Federal da Bahia. Laboratório de Geomorfologia e Estudos Regionais. Imprensa Oficial. Salvador/BA, 1959.

SANTOS, M. **A cidade nos países subdesenvolvidos**. Ed. Civilização Brasileira. Rio de Janeiro, 1965.

SANTOS, M. **Espaço e sociedade**. Ed. Vozes. Petrópolis, 1979.

SANTOS, M. **A urbanização desigual**. Ed. Vozes. Petrópolis, 1980.

SANTOS, M. **Pensando o espaço do homem**. HUCITEC. São Paulo, 1982a.

SANTOS, M. **Ensaio sobre a urbanização latino-americana**. HUCITEC. São Paulo, 1982b.

SANTOS, M. **O espaço do cidadão**. Ed. Nobel. São Paulo, 1987.

SANTOS, M. **Metamorfose do Espaço Habitado**. HUCITEC. São Paulo, 1988.

SANTOS, M. **Metrópole corporativa fragmentada: o caso de São Paulo**. Ed. Nobel. São Paulo, 1990.

SANTOS, M. **A urbanização Brasileira**. HUCITEC. São Paulo, 1993.

TAVANTI, D. R.; BARBASSA, A. P. **Análise dos desenvolvimentos urbanos de baixo impacto e convencional**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 4, p. 17-28, 2012.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Plano diretor de drenagem urbana**: princípios e concepção. Revista brasileira de recursos hídricos, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

VILLAÇA, F. **As ilusões do Plano Diretor**. São Paulo: Publicação em meio digital, ano 2005. Disponível em: <http://www.planosdiretores.com.br/downloads/ilusaopd.pdf>
Acesso em: 05 de maio de 2020.