



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RICARDO FERRAZ XAVIER FILHO

**CONTROLE DE ESCOAMENTO NO LOTE COMO ALTERNATIVA
COMPENSATÓRIA PARA OS ALAGAMENTOS EM ÁREA DO
RECIFE-PE: APLICAÇÃO DA LEI MUNICIPAL N° 18.112/2015.**

Recife
2016

RICARDO FERRAZ XAVIER FILHO

**CONTROLE DE ESCOAMENTO NO LOTE COMO ALTERNATIVA
COMPENSATÓRIA PARA OS ALAGAMENTOS EM ÁREA DO
RECIFE-PE: APLICAÇÃO DA LEI MUNICIPAL N° 18.112/2015.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção de título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

Recife
2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

X3c

Xavier Filho, Ricardo Ferraz.

Controle de escoamento no lote como alternativa compensatória para os alagamentos em área do Recife-PE: aplicação da Lei Municipal N° 18.112/2015 / Ricardo Ferraz Xavier Filho. – 2016.

64 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Civil, 2016.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Controle de escoamento na fonte. 3. Reservatórios.
4. Lotes urbanos. I. Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira. (Coordenação). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2016-201



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): RICARDO FERRAZ XAVIER FILHO

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: PROF. JAIME JOAQUIM DA SILVA PEREIRA CABRAL

Examinador 1: PROF. ANDERSON LUIZ RIBEIRO DE PAIVA

Examinador 2: PROF. MARCOS JOSÉ VIEIRA DE MELO

Examinador 3: ENG^o. MARCOS ANTONIO BARBOSA DA SILVA JUNIOR

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

CONTROLE DE ESCOAMENTO NO LOTE COMO ALTERNATIVA COMPENSATÓRIA PARA OS ALAGAMENTOS EM ÁREA DO RECIFE-PE: APLICAÇÃO DA LEI MUNICIPAL N^o 18.112/2015

LOCAL: LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA

DATA: 14/07/2016 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 14:15 HORAS.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 20 minutos, o candidato foi arguido oralmente pelos membros da banca, sendo considerado(s):

1) () **aprovado(s)**, pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito

() **Sem revisões.**

() **Com revisões**, a serem feitas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias. (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

2) (..) **reprovado(s)**.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me dá forças e estímulo para todos os momentos de minha vida.

À minha amada mãe, Luzia Xavier, meu querido pai, Ricardo Ferraz por me educar e apoiar em todas as fases de minha vida.

À minha irmã, familiares e amigos por acreditar e apoiar essa etapa de minha vida.

A todos os professores que contribuíram academicamente e experimentalmente a minha pesquisa.

Aos meus colegas Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior e Anísia Oliveira Gomes pelas orientações e incentivo ao longo do projeto.

À empresa Projetec que contribuiu com meu amadurecimento profissional na área de recursos hídricos e saneamento.

RESUMO

O presente trabalho consiste em avaliar a implantação da Lei Municipal Nº 18.112/2015, como uma medida compensatória em drenagem urbana, numa área fortemente urbanizada e com problemas de alagamentos na cidade do Recife-PE. Dentre os instrumentos de controle de escoamento superficial apresentados na Lei, foi analisada a utilização dos reservatórios de acúmulo e de retardo nos lotes urbanos, situados na área de contribuição ao ponto crítico de alagamento. Verificou-se que, para eventos de chuva com recorrências de 2 e 5 anos, quando utilizado os reservatórios de acúmulo, as reduções de volume de escoamento são da ordem de 36% e 31%, respectivamente. Para os reservatórios de retardo, observou-se um aumento no tempo de concentração da área de montante ao alagamento e uma redução nas vazões de pico de 11% e 24% para os períodos de retorno de 2 e 5 anos, respectivamente. A consequência do aumento do tempo de concentração se deu pela variação do coeficiente de escoamento superficial. Quando utilizado o reservatório de acumulação, o coeficiente de 0,86, definido por Silva Junior (2015), passou a ser de 0,65. Já para os reservatórios de retardo, coeficiente de escoamento superficial foi de 0,34. Constatou-se também que, para solução do alagamento no ponto crítico, o uso do reservatório de retardo nos lotes combinado com reservatório de detenção instalado sob a via apresentou uma redução no volume do reservatório de detenção de 66,6%. A partir dos resultados, concluiu-se que a utilização dos reservatórios proporcionaram uma redução nos picos de vazão e uma diminuição dos alagamentos, além de servir como acumulador de águas pluviais para posterior reuso.

Palavras-Chave – Controle de escoamento na fonte, reservatórios, lotes urbanos.

ABSTRACT

The present work consists of assessing the deployment of Municipal Law # 18.112/2015, as a compensatory measure in urban drainage, in a heavily urbanized area with problems of flooding in the city of Recife-PE. Among the superficial flow control instruments presented in the Law, the use of accumulation and delay reservoirs in urban lots, situated in the area of contribution to the critical point of flooding, was analyzed. It was found that, for rain events with recurrences of 2 and 5 years, when the accumulation reservoirs were used, the reductions in the runoff volume are of the order of 36% and 31%, respectively. For delay reservoirs, an increase in the concentration time of the buildup area to flooding, and a reduction in the of peak flows of 11% and 24% for return periods of 2 and 5 years, respectively, were observed. The consequence of the increased concentration time was given by the runoff coefficient variation. When the storage reservoir was used, the 0.86 coefficient, defined by Silva Junior (2015), passed to be 0.65. Although to delay reservoirs, the runoff coefficient was 0.34. it was also found that, to overflow on critical point solution, the use of delay reservoir on lots combined with detention reservoir installed under the road has presented reduction on detention reservoir volume of 66.6%.From the results, it was concluded that the use of reservoirs provided a reduction in peak flow and a decrease in flooding, in addition to serving as rainwater accumulators for later reuse.

Keywords: Flow control at source, reservoirs, urban lots.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do ponto crítico de alagamento e a delimitação dos bairros vizinhos	14
Figura 2 - Efeito cumulativo dos processos hidrológicos em relação ao aumento da urbanização.	15
Figura 3 - Tipos de técnicas compensatórias em drenagem urbana.	19
Figura 4 - Dispositivos de controle de água pluvial na fonte - telhado verde.	20
Figura 5 - Dispositivos lineares de controle de água pluvial - vala de retenção.	21
Figura 6 - Estruturas centralizadas de controle de drenagem urbana; Bacia de retenção subterrânea com equipamento urbano (Porto Alegre, RS).....	21
Figura 7 - Evolução das técnicas de controle estruturais.	23
Figura 8 - Níveis de gerenciamento.	24
Figura 9 - Volumes a serem retidos nos lotes conforme as legislações municipais.....	31
Figura 10 - Área de contribuição ao ponto de alagamento.	39
Figura 11 - Volumes a serem retidos nos lotes conforme as legislações das cidades brasileiras.	44
Figura 12- Identificação dos lotes inseridos na área de contribuição ao ponto de alagamento.	45
Figura 13 - Discretização das áreas permeáveis e impermeáveis nos lotes	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Marcos Legais de Gestão dos Recursos Hídricos em Pernambuco	28
Quadro 2 - Cronologia da legislação municipal sobre o uso de reservatórios de detenção em lotes no Brasil.	30
Quadro 3 - Iniciativas realizadas na cidade do Recife em drenagem urbana.	333

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios de Pernambuco com instrumento legal regulador do serviço de manejo de águas pluviais em 2008.....	31
Tabela 2 - Resultados encontrados na simulação realizada por Duarte <i>et al.</i> (2003).....	37
Tabela 3 - Resultados das eficiências de amortecimento das alternativas.....	37
Tabela 4 - Classificação dos lotes inseridos na área de contribuição ao ponto de alagamento	45
Tabela 5 - Resumo das áreas dos lotes.....	47
Tabela 6 - Volume dos reservatórios de acumulação e retardo.	48
Tabela 7 - Síntese dos resultados obtidos	48
Tabela 8 - Determinação do coeficiente de escoamento (C) médio da microbacia com reservatórios de acumulação.	50
Tabela 9 - Determinação do coeficiente de escoamento (C) médio da microbacia com reservatórios de retardo.....	51
Tabela 10 - Aplicação do método das chuvas, considerando a vazão de saída da área de montante pelo método racional (Baptista <i>et al</i> , 2005).	54
Tabela 11 - Aplicação do método das chuvas, considerando a vazão de saída da área de montante pelo método racional (Baptista <i>et al</i> , 2005).	54
Tabela 12 - Aplicação do método das chuvas com reservatórios de acumulação.....	57
Tabela 13 - Aplicação do método das chuvas com reservatórios de retenção.	57

LISTA DE ABREVIATURA

Emlurb - Empresa de Limpeza Urbana

Apac - Agência Pernambucana de Água e Clima

Luos - Lei de Uso e Ocupação do Solo

Compesa - Companhia Pernambucana de Saneamento

TSN - Taxa de Solo Natural

PARH - Plano de Aproveitamento de Recursos Hídricos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

SUDERHSA - Instituto das Águas do Paraná

RMR - Região Metropolitana do Recife

PQA - Projeto de Qualidade das Águas

PDCR - Plano Diretor da cidade do Recife

PDU - Plano Diretor Urbano

SRH - Secretaria de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Justificativa	15
1.2.	Objetivos	17
1.2.1.	Objetivo geral	17
1.2.2.	Objetivos específicos	17
2.	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO E CONTROLE DAS ÁGUAS URBANAS	18
3.	ASPECTOS LEGISLATIVOS ACERCA DO CONTROLE DAS ÁGUAS PLUVIAIS NA FONTE	24
4.	ESTUDOS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO NA FONTE ATRAVÉS DOS MICRORRESERVATÓRIOS	34
5.	METODOLOGIA	38
6.	RESULTADOS	43
6.1.	Análise comparativa da Lei 18.112/2015 com as legislações brasileiras de controle de escoamento na fonte	43
6.2.	Aplicação da Lei na área de estudo	44
6.3.	Determinação dos coeficientes de escoamento na área de contribuição ao ponto de alagamento com a aplicação dos reservatórios	50
6.4.	Considerações sobre o impacto do uso dos reservatórios no ponto de alagamento estudado	51
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
8.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
	REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as discussões relacionadas à drenagem urbana vêm crescendo consideravelmente, uma vez que ao longo da história de urbanização do Brasil, as cidades brasileiras mantiveram um padrão de crescimento desordenado, gerando diversos problemas relacionados à infraestrutura urbana (transporte, abastecimento, saneamento, etc.) e com pouca ação do poder público.

A falta de investimento e controle contínuo da urbanização, associado ao crescimento das cidades, vem pressionando cada vez mais a escassa infraestrutura existente, agravando ainda mais os problemas e exigindo soluções imediatas e caras.

Diante desses problemas relacionados à infraestrutura urbana, com o sistema de drenagem não foi diferente, e tratando especificamente da cidade do Recife, que apresenta problemas históricos relacionados a alagamentos e inundações, nunca existiu uma preocupação maior com esse problema. As soluções previstas eram sempre para resolver problemas existentes, mas nunca com a finalidade de prevenção.

Além destas limitações, o Recife ainda possui características físicas que acentuam os problemas de drenagem local, relacionados principalmente à uma ausência de planejamento urbano e o fato de está situada no estuário formado por diversos rios, favorecendo a influência direta da ação das marés (SILVA JUNIOR, 2015).

Os fatores hidrológicos diretamente afetados pela urbanização são os parâmetros de tempo do escoamento superficial direto, o volume do escoamento superficial direto e a vazão de pico das cheias. Esses efeitos são consequências, principalmente, das alterações da cobertura do solo e das modificações hidrodinâmicas nos canais de drenagem (SUDERHSA, 2002).

O agravamento desses problemas vem despertando maior interesse do poder público, assim como vem mudando a cultura das ações, onde começa a se pensar em prevenção, planejamento e responsabilidade ambiental, e não somente em solução para problemas existentes.

Isso está ligado também à mudança de paradigmas relacionados ao tema, onde hoje não se trata apenas de coletar e drenar a vazão precipitada, caracterizada

por uma visão higienista, mas sim de realizar boas práticas para o manejo eficiente das águas urbanas, garantindo dessa forma as características de pré-urbanização e possibilidades para o reuso desta água.

Como consequência desta mudança de paradigmas, a partir dos anos 2000, cidades brasileiras como: Guarulhos-SP (2000), Nova Iguaçu-RJ (2001), São Paulo-SP (2002), Rio de Janeiro-RJ (2004), Porto Alegre-RS (2006), Curitiba-PR (2007), Niterói-RJ (2009), Belo Horizonte-MG (2010) e Santos-SP (2012) - começaram a dispor de instrumentos legislativos de controle das águas urbanas, regulando o uso de reservatórios de retenção nos lotes urbanos, enquanto em Recife, em janeiro de 2015, foi sancionada a Lei Municipal Nº 18.112 (RECIFE, 2015).

Segundo a referida Lei, os projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos e não habitacionais com mais de 400 m² (quatrocentos metros quadrados) de área de cobertura deverão prever a implantação de telhado verde para a aprovação do órgão gestor da drenagem na cidade. Para lotes com área superior a 500 m² (quinhentos metros quadrados), edificados ou não, com área impermeabilizada superior a 25% (vinte e cinco por cento) da área total do lote deverão ser executados reservatórios de águas pluviais como condição para aprovação de projetos iniciais.

Baseado neste contexto, a proposta deste trabalho final de curso é avaliar a importância da aplicação da sobredita Lei Municipal, como uma medida compensatória em drenagem urbana, numa área fortemente urbanizada e com problemas de alagamentos. Dentre os instrumentos apresentados na Lei, serão avaliados neste trabalho, apenas os reservatórios de acúmulo e de retardo.

O ponto de alagamento estudado está localizado nas limítrofes dos bairros de Santo Amaro, Soledade e Boa Vista, mais especificamente no cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe (**Figura 1**).

Figura 1 - Localização do ponto crítico de alagamento e a delimitação dos bairros vizinhos



Fonte: Silva Junior (2015).

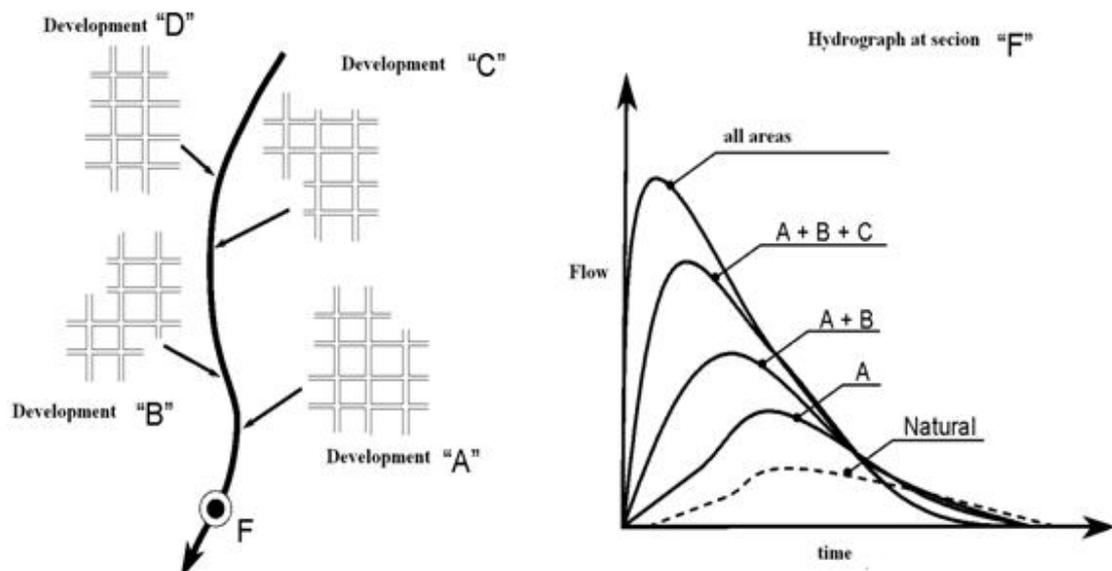
1.1. Justificativa

Nos últimos anos aumentaram os problemas relacionados a alagamentos e inundações na cidade do Recife, provocados pela forma de urbanização aleatória e o crescimento da cidade, pressionando a rede existente de drenagem já defasada, causando transtornos relacionados a mobilidade, saúde pública e qualidade de vida.

O avanço de urbanização, com o aumento das áreas impermeáveis, vem mudando a fisiografia das bacias e provocando alterações significativas nos processos hidrológicos (Figura 2). De acordo com Wright & Heaney (2001), os resultados dessas mudanças são:

- Diminuição no volume de escoamento superficial;
- Aumento das vazões de pico;
- Diminuição do tempo de concentração;
- Redução na recarga dos aquíferos e na vazão de base.

Figura 2 - Efeito cumulativo dos processos hidrológicos em relação ao aumento da urbanização.



Fonte: Tucci (2013).

Segundo Tucci (2000), o impacto da urbanização pode produzir aumento sensível nos coeficientes de escoamento de uma bacia. Um habitante produz em média cerca de 49 m² de área impermeável numa bacia, e para cada 10% de aumento na área impermeável, ocorre cerca de 100% de aumento no coeficiente de cheia e no volume de escoamento superficial.

Diante dos efeitos provocados pelo processo de urbanização não acompanhado pelos investimentos no sistema de drenagem urbana, atualmente, o Recife possui 159 pontos de alagamentos catalogados como os mais críticos, segundo a EMLURB (2013).

Visando contribuir para a solução de um desses pontos críticos de alagamentos na cidade, recentemente foi realizada uma pesquisa de mestrado intitulada de “Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE” (SILVA JUNIOR, 2015), onde foram apresentadas soluções de drenagem para uma área fortemente urbanizada, situada no bairro da Soledade.

Foram apresentadas duas possibilidades com o objetivo de reparar ou atenuar os problemas vivenciados na área em períodos de chuvas, a saber: adequação da rede de drenagem local, com ajuste nas declividades dos condutos subterrâneos e mudança de seção destas tubulações; e implantação de reservatório de retenção.

Ao mesmo tempo, em janeiro de 2015, foi sancionada em Recife a Lei Municipal Nº 18.112 (RECIFE, 2015), que dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do “telhado verde”, e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo (retenção) do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem.

A partir deste novo instrumento de gestão, atualmente em vigência na cidade, o presente trabalho se propõe a avaliar o impacto desta legislação em uma área com problemas de drenagem, que já foi estudada e atribuída soluções estruturais na rede de drenagem local. A ideia é que de posse dos resultados das soluções estudadas por Silva Junior (2015), sejam realizadas comparações com os resultados obtidos somente com a aplicação da Lei nesta mesma área.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O presente estudo visa avaliar o impacto da aplicação da Lei Municipal Nº 18.112 (RECIFE, 2015), em todos os lotes de uma área fortemente urbanizada e com problemas de alagamentos, situada no bairro da Soledade, cidade do Recife.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar cada lote da bacia de contribuição ao ponto de alagamento, seu uso, área de coberta, área permeável e área impermeável;
- Calcular os volumes dos reservatórios de acumulação e de retardo (detenção) para cada lote, utilizando as premissas da Lei;
- Avaliar os volumes obtidos pela Lei e compará-los aos volumes calculados por legislações de controle de escoamento de outras cidades brasileiras;
- Verificar a redução do volume de escoamento superficial para os eventos de 2 e 5 anos a partir da implantação dos reservatórios nos lotes;
- Calcular o coeficiente de escoamento superficial na área a partir do uso dos reservatórios instalados nos lotes;
- Avaliar uma solução conjunta com os reservatórios calculados para os lotes e o reservatório de detenção sob a via, proposto por Silva Junior (2015).

2. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO E CONTROLE DAS ÁGUAS URBANAS

O modelo de urbanização das cidades brasileiras tem provocado impactos significativos no escoamento das águas pluviais, afetando a qualidade de vida da população, com o aumento da frequência e nível das inundações.

A tendência no planejamento do sistema de drenagem urbana tem sido como filosofia uma abordagem higienista, que consiste simplesmente no transporte rápido dos excessos pluviais por condutos enterrados, aumentando significativamente as vazões máximas, a frequência e o nível de inundação de áreas a jusante. Em paralelo, a população tem ocupado as áreas ribeirinhas durante a estiagem, que são inundadas pelo curso d'água durante os períodos de cheia. Somando esses dois fatores, os prejuízos tem se multiplicado ao longo do tempo.

Apesar desta prática ainda ser comum nas cidades brasileiras, atualmente, na temática de drenagem urbana, tem-se incorporado uma abordagem mais ambientalista, cuja preocupação consiste na manutenção e recuperação de ambientes, tornando-os saudáveis interna e externamente a área das cidades, através de medidas de controle não estruturais.

Dentro desta abordagem, as medidas de controle se apresentam de duas formas, a saber (SUDERHSA, 2002):

- **Estruturais**: quando modificam o sistema, buscando reduzir o risco de enchentes, pela implantação de obras para conter, reter ou melhorar a condução dos escoamentos. Estas medidas envolvem construção de barragens, diques, canalizações, reflorestamento, entre outros.
- **Não estruturais**: quando são propostas ações de convivência com as enchentes ou são estabelecidas diretrizes para reversão ou minimização do problema. Estas medidas envolvem o zoneamento de áreas de inundações associado ao Plano Diretor Urbano, previsão de cheia, seguro de inundação, legislações diversas, entre outros.

Em suma, os princípios básicos de uma drenagem urbana moderna são necessariamente: não aumentar as cheias naturais e não realizar as intervenções no meio ambiente que provoquem o aumento ou a transferência de cheias para outros locais, nas áreas de montante ou de jusante.

Dentro desta perspectiva, atualmente existe uma grande diversidade de técnicas compensatórias estruturais e não estruturais em drenagem urbana, que visam o controle e/ou a prevenção dos impactos produzidos pela urbanização. A Figura 3 mostra os principais tipos de técnicas compensatórias.

Figura 3 - Tipos de técnicas compensatórias em drenagem urbana.



Fonte: Nascimento & Baptista (2009).

Dentre as técnicas apresentadas na figura anterior, serão discutidas a seguir, apenas as medidas estruturais e não estruturais para controle de escoamento na fonte, uma vez que tal medida é objeto de análise deste trabalho.

a. **Medidas estruturais para controle do escoamento superficial.**

As medidas de controle estruturais podem ser definidas como obras de engenharia construídas para minimizar ou compensar o aumento de escoamento superficial produzido com a urbanização e a impermeabilização do solo.

Baptista, Nascimento & Barraud (2005) descreveram que as técnicas compensatórias estruturais podem ser classificadas pelo princípio de funcionamento, infiltração ou retenção; ou pela localização do dispositivo de controle:

- **Na fonte:** implantada junto ao gerador, em parcelas ou pequenos conjuntos de parcela, como mostra Figura 4. Podem ser poços de infiltração, planos de infiltração, os microrreservatórios, os telhados armazenadores, entre outros dispositivos.

Figura 4 - Dispositivos de controle de água pluvial na fonte - telhado verde.



Fonte: Drummond (2012).

- **Linear:** dispositivos implantados junto aos sistemas viários, como arruamentos, pátios e estacionamentos, como ilustra a Figura 5. Neste grupo incluem-se os pavimentos porosos, valas de retenção e/ou infiltração, as trincheiras de infiltração, etc;

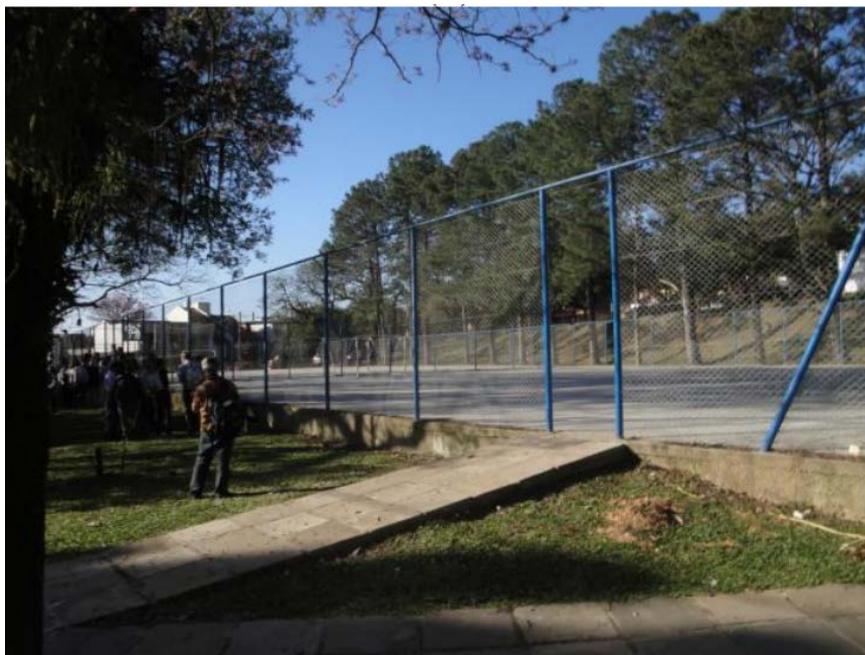
Figura 5 - Dispositivos lineares de controle de água pluvial - vala de detenção.



Fonte: Drummond (2012).

- **Centralizado**: estruturas associadas a áreas de drenagem de porte mais significativo, como as bacias de detenção e retenção, conforme pode ser visto na Figura 6. Estas podem ser aberta ou fechada, revestida ou não revestida, de infiltração ou não.

Figura 6 - Estruturas centralizadas de controle de drenagem urbana; Bacia de detenção subterrânea com equipamento urbano (Porto Alegre, RS).



Fonte: Drummond (2012).

Para Tucci (1995), uma outra forma de classificar as medidas de controle estruturais do escoamento é de acordo com a sua ação na bacia hidrográfica:

- Distribuída ou na fonte: consiste num tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios;
- Na Microdrenagem: controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos;
- Na Macrodrenagem: controle sobre os principais rios urbanos.

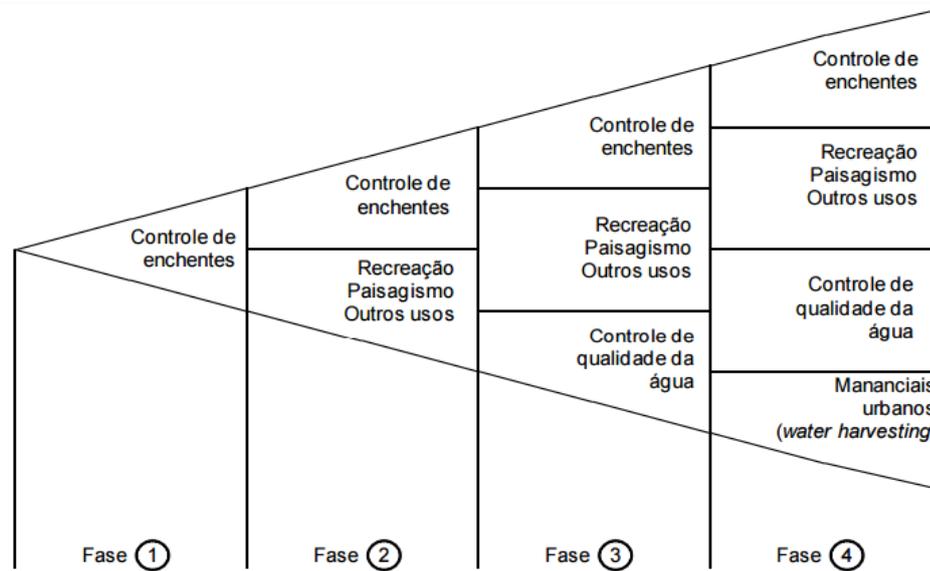
Ainda segundo os autores, as medidas de controle podem ser organizadas de acordo com a sua ação sobre o hidrograma, em:

- Infiltração e percolação: objetivam possibilitar maior infiltração e percolação da água no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial;
- Armazenamento: através de reservatórios, que podem ser desde residenciais, até terem porte para a macrodrenagem urbana (alguns milhares de m³). O efeito do reservatório urbano é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;
- Aumento da eficiência do escoamento: através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de retenção;
- Diques e estações de bombeamento: solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

A evolução e os benefícios advindos da utilização de técnicas compensatórias estruturais são mostrados na Figura 7, conforme definição de Welsh (1989, *apud* Canholi, 2005).

Para Canholi (2005), a aplicação dessas medidas no Brasil encontra-se na Fase 2, entretanto existem algumas pesquisas no país relativa ao controle de qualidade das águas.

Figura 7 - Evolução das técnicas de controle estruturais.



Fonte: Adaptado de Walesh (1989) e Usepa (1999) apud Canholi (2005).

b. Medidas não estruturais para controle do escoamento superficial

As ações não estruturais em drenagem urbana abrangem os mecanismos de definição dos princípios básicos, como estes princípios devem ser respeitados e de preparação da sociedade para que eles venham a ser implantados e obedecidos na atualidade e no futuro (SUDERHSA, 2002).

Os princípios básicos da relação entre o não aumento do escoamento superficial provocado por um novo empreendimento imobiliário e a responsabilidade do empreendedor por tal fato, têm diversos mecanismos para seu registro, mas basicamente são de dois tipos:

- **Legislação:** principalmente leis municipais alusivas ao parcelamento, uso e ocupação do solo (Plano Diretor) e códigos associados;
- **Normas e procedimentos técnicos:** destinados aos agentes técnicos, públicos ou privados (por exemplo, um Manual de Drenagem), para que a concepção da drenagem siga os princípios básicos.

Para Tassi (2002) a eficácia da implantação de medidas não estruturais se dá por meio do controle e fiscalização da implantação de obras e da aprovação de

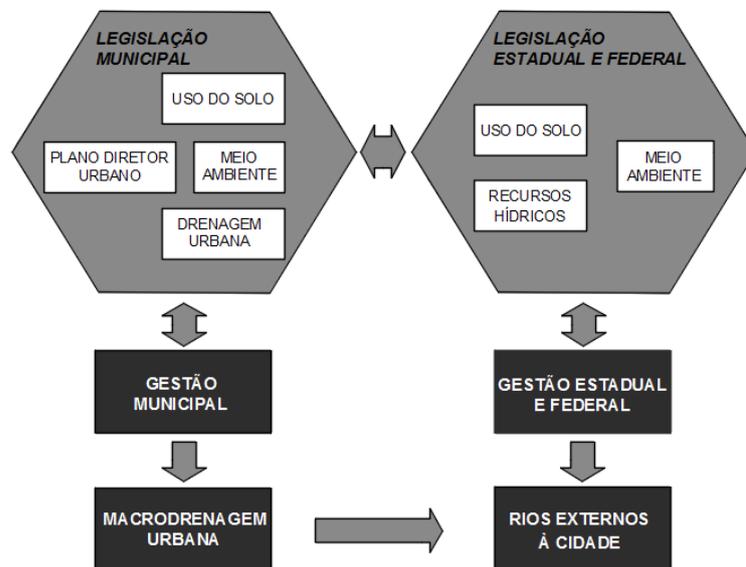
projetos de loteamentos, obras públicas e de drenagem. Além disso, o Poder Público deve possuir uma estrutura capaz de manter a fiscalização permanente do cumprimento das medidas não estruturais mesmo após a implantação das obras.

É importante ressaltar que a confecção de leis, normas e procedimentos são ações não estruturais, mas seus conteúdos podem estar baseados em efeitos de obras estruturais (medidas de controle) ou de outras ações não estruturais.

3. ASPECTOS LEGISLATIVOS ACERCA DO CONTROLE DAS ÁGUAS PLUVIAIS NA FONTE

De acordo com Tucci (2005), as legislações que envolvem as águas urbanas estão relacionadas com o uso do solo, os recursos hídricos e o meio ambiente como mostram a Figura 8.

Figura 8 - Níveis de gerenciamento.



Fonte: Tucci (2005).

Percebe-se que os níveis de gestão dos recursos hídricos estão ligados ao espaço geográfico que se encontra. Enquanto, a gestão municipal, realizada por meio dos planos diretores urbanos, se limita a fornecer diretrizes ao ambiente

interno das cidades, as gestões estaduais e federais utilizam os planos de bacias hidrográficas estaduais e federais, que possuem uma abrangência territorial maior, definindo aspectos externos à cidade, como o controle da qualidade e da quantidade das águas dos cursos d'água da bacia hidrográfica.

A seguir serão discutidos os aspectos legais para as esferas federal, estadual e municipal relacionadas com a política do gerenciamento da drenagem urbana e ao controle das águas urbanas.

a. Legislação Federal

Na esfera federal, além da Constituição da República, existem algumas leis relacionadas à gestão da drenagem urbana, a Lei nº 6.766/79 (BRASIL, 1979) que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, a Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei nº 10.527/01 (BRASIL, 2001) que estabelece diretrizes gerais da política urbana, o Estatuto da Cidade, e a Lei nº 11.445/07 (BRASIL, 2007) que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.

A Lei nº 6.766/79 (BRASIL, 1979) descreve em seu Art. 3º que não é permitido o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeito a inundações, antes de tomadas de providências para assegurar o escoamento das águas e em seu Art. 4º que os loteamentos deverão reservar uma faixa “non aedificandi” de 15 metros de cada lado ao longo das águas correntes.

A Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, apesar de não expor a necessidade do controle de águas pluviais na fonte com o uso de técnicas alternativas nos sistemas de drenagem urbana, o Art. 12º permite a introdução da regulação do controle dos efluentes de áreas urbanas através da outorga, na medida em que o escoamento destas áreas comprovadamente altere o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um curso d'água.

O Estatuto das Cidades, Lei Federal nº 10.527/01 (BRASIL, 2001), estabeleceu diretrizes gerais da política urbana e indicou instrumentos com potencial para auxiliar

o gerenciamento dos recursos hídricos. Dentre os instrumentos propostos relacionados ao controle na fonte de águas pluviais destacam-se:

- Os instrumentos de planejamento municipal: em especial, o plano diretor e a disciplina do parcelamento, do uso e ocupação do solo, que por meio do zoneamento podem definir critérios e parâmetros para restringir a ocupação e a impermeabilização do solo;
- Os institutos tributários e financeiros: os incentivos e benefícios fiscais e financeiros podem ser utilizados pela Administração Pública para incentivar os cidadãos na execução de ações que reduzam os impactos oriundos da urbanização;
- Os institutos jurídicos e políticos: a instituição de unidades de conservação permite a manutenção das condições naturais de terrenos em áreas urbanas; a outorga onerosa do direito de construir autoriza o aumento do coeficiente de aproveitamento pelo construtor desde que haja uma contrapartida; e as operações urbanas consorciadas, que sob a coordenação do poder público e participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados, admitem transformações urbanísticas estruturais em uma área.

Na busca de garantir a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços públicos de saneamento básico, a Lei Federal nº 11.445/07 (BRASIL, 2007) prevê, em seu Art. 29, a cobrança pelos serviços de manejo de águas pluviais urbanas, na forma de tributos, inclusive taxas. Para isso, devem ser levados em conta, os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva em cada lote urbano, bem como o nível de renda da população da área atendida e as características dos lotes urbanos.

Como visto acima, existem diversos instrumentos legais possíveis de serem utilizados pelo poder público para melhorar o controle e a gestão da drenagem urbana, inclusive com medidas que permitem mitigar ou até sanar os problemas oriundos dos impactos da urbanização sem comprometer a receita dos municípios, dividindo os custos e a responsabilidade do controle com a população, e em troca, oferecendo benefícios como descontos no IPTU, aumento do coeficiente construtivo, etc.

b. Legislação Estatal

Na esfera estadual, as legislações estaduais de recursos hídricos reafirmaram as diretrizes definidas na Política Nacional de Recursos Hídricos, dentro do espaço geográfico das bacias estaduais. Como o presente estudo foi realizado no estado de Pernambuco, avaliou-se apenas a legislação criada nesse território.

O marco legal que deu início ao processo de gestão dos recursos hídricos no Estado foi a Lei Estadual nº. 11.426 (Lei das Águas de Pernambuco) (PERNAMBUCO, 1997), de 17 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Conjuntamente, foi aprovada a Lei Estadual nº11.427/1997 (PERNAMBUCO, 1997) que dispõe sobre a Conservação e a Proteção das Águas Subterrâneas do estado.

Em 2004, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (órgão superior deliberativo e consultivo do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos, instituído pela Lei 11.426/97 (PERNAMBUCO, 1997) e instalado em dezembro de 1998) conduziu o processo de revisão da Lei Estadual a partir de consulta aos diversos segmentos envolvidos no sistema de recursos hídricos. Este trabalho culminou com a promulgação da Lei nº 12.984 (PERNAMBUCO, 2005) em 30 de dezembro de 2005. A nova Lei das Águas de Pernambuco incorporou os fundamentos e dispositivos da lei que a precedeu.

Os marcos legais que orientam a gestão dos recursos hídricos em Pernambuco são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Marcos Legais de Gestão dos Recursos Hídricos em Pernambuco

LEI	ANO	ASSUNTO
LEI Nº 11426	1997	Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
LEI Nº 11427	1997	Dispões sobre a conservação e a proteção das Águas Subterrâneas no Estado de Pernambuco
LEI Nº 12984	2005	Institui a Política Estadual de Recursos (Fundamentos, Objetivos, Diretrizes e Instrumentos), o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Finalidade, Objetivos e atribuições e Estrutura Organizacional) e o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Gestão do FEHIDRO, Recursos do FEHIDRO e Aplicações).
LEI Nº 13205	2007	Dispões sobre a estrutura e o funcionamento do poder Executivo, e dá outras providências (Cria a Secretaria de Recursos Hídricos).
DECRETO Nº 30.329	2007	Aprova o Regulamento da Secretaria de Recursos Hídricos - SRH e dá outras providências

Fonte: Adaptado da SRHE (2008).

Em relação aos planos de bacias, já foram elaborados os Planos de Recursos Hídricos para todas as bacias hidrográficas do Estado.

O Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana do Recife, Zona da Mata e Agreste Pernambucano – PARH, concluído em 2005, foi elaborado com o objetivo de consolidar os planos e diagnósticos dos recursos hídricos das bacias dos rios Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Una, Sirinhaém, Mundaú, Ipanema. O referido documento contém demandas e balanço hídrico para o horizonte até o ano 2035 e propostas de intervenções de infraestrutura hídrica e institucionais para a área de abrangência do estudo.

A Lei Estadual nº 12.984/2005 (PERNAMBUCO, 2005), que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, reforça as diretrizes definidas na Política Nacional de Recursos Hídricos, tendo como fundamento os princípios do desenvolvimento sustentável. Dos instrumentos previstos para o Estado utilizar no controle dos recursos hídricos, destacam-se a outorga dos direitos de uso e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

O Art. 16 dessa mesma lei define que são sujeitos à outorga pelo poder público o lançamento, em corpo de água, de esgotos domésticos e industriais e demais resíduos líquidos ou gasosos com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; outros usos, obras e ações que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água, o leito e margens de corpos de água, mesmo que temporariamente. Observa-se que os gestores dos recursos hídricos têm o poder de exigir a outorga

para qualquer usuário que realize uma ação que altere a quantidade da água de um corpo hídrico.

A Lei Estadual nº 15.630/2015 (PERNAMBUCO, 2015), torna obrigatória a instalação de sistema de captação de água de chuva para tratamento e reutilização da água empregada na lavagem de veículos pelos estabelecimentos comerciais que prestem este serviço, O Art. 1º determina que as empresas prestadoras de serviços de lavagem de veículos, postos de abastecimento de combustível e demais empresas que executam atividade de lavagem de veículos, sejam obrigadas a instalar sistema de captação de água de chuva para tratamento e reutilização da água, observadas as regras constantes da Lei nº 14.572 (PERNAMBUCO, 2011), de 27 de dezembro de 2011.

O Art. 6 da Lei 14.572/2011 (PERNAMBUCO, 2011) determina que a captação da água da chuva seja feita através do telhado das edificações e encaminhada a um tanque para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água potável.

c. Legislações municipais

Conforme Tucci (2008), apesar da responsabilidade da administração municipal sobre a gestão das águas pluviais dentro do espaço urbano, reconhece-se que a grande maioria das cidades brasileiras não possui capacidade técnica para administrar o sistema de drenagem urbana e muito menos para abordar o controle de águas pluviais na fonte.

A complexidade envolvida no manejo eficiente da bacia urbana, e em particular da drenagem, demanda estudos e avaliações continuadas, com a compreensão de que a dinâmica da cidade envolve múltiplos sistemas e atores. As questões são sempre atuais, exigindo, portanto, conceitos e tecnologias novas e ampla discussão nas mais variadas esferas que compõem as forças sociais da cidade. A base de análise deve evidente e necessariamente ser a de um Plano Diretor da Cidade no qual se integra o Plano Diretor de Drenagem Urbana (RIGHETTO, MOREIRA & SALES, 2009)

Nas grandes cidades brasileiras, desde 1990 já se previa legislações para o controle das águas urbanas, mas só a partir dos anos 2000 surgiram as primeiras

idades a regular o uso de reservatórios de retenção nos lotes urbanos, conforme mostra o Quadro a seguir.

Quadro 2 - Cronologia da legislação municipal sobre o uso de reservatórios de retenção em lotes no Brasil.

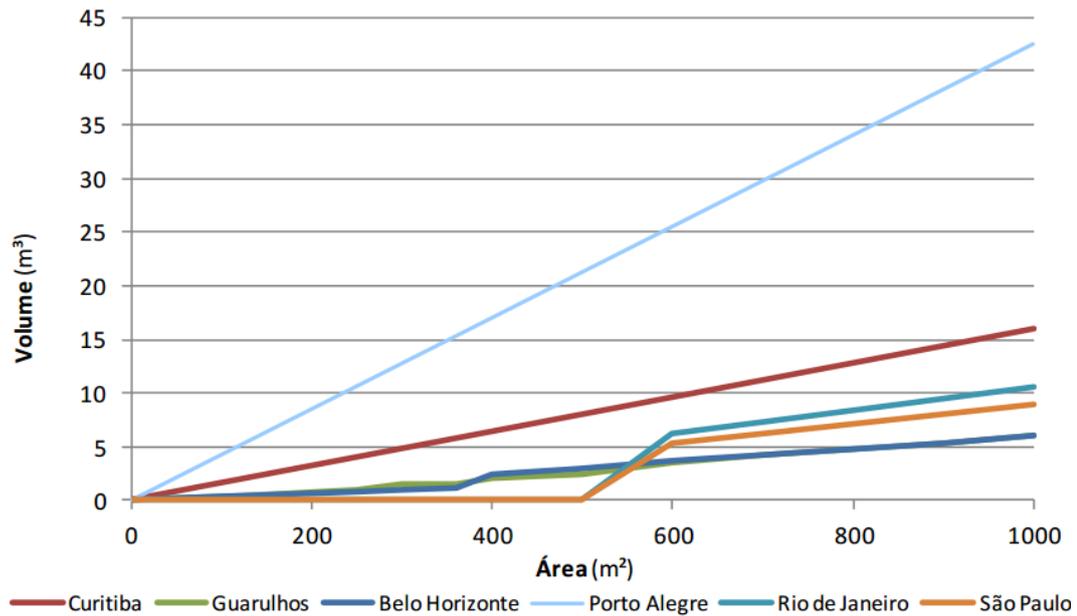
LEI MUNICIPAL	ASSUNTO
GUARULHOS (2000)	Código de obras tornou obrigatória a construção de reservatório de retenção nos lotes urbanos edificados. O volume mínimo de reservação é de 500 litros para lotes de 125 m ² , até 3.500 litros para lotes com áreas de 600 m ² . Acima desses valores multiplica-se o tamanho da área por 6 litros/m ² .
SÃO PAULO (2002)	A Lei Municipal nº 13.276/02 impõem aos empreendimentos com área impermeabilizada superior a 500 m ² a necessidade de construção de reservatórios para acumulação de água de chuva
RIO DE JANEIRO (2004)	Decreto Municipal nº 23.940/04 impõem aos empreendimentos com área impermeabilizada superior a 500 m ² a necessidade de construção de reservatórios para acumulação de água de chuva
PORTO ALEGRE (2006)	Decreto Municipal nº 15.371/06 define que toda ocupação que resulte em superfície impermeável deverá lançar na rede pública de água pluvial uma vazão máxima de 20,8 L/(s.ha).
CURITIBA (2007)	O Decreto Municipal nº 176/07 tornou obrigatória a construção de reservatórios de retenção para novos empreendimentos, ampliações ou reformas que impermeabilizarem área igual ou superior a 3.000 m ² e que apresentarem redução da taxa de permeabilidade de 25%. O decreto determina também o diâmetro do orifício de saída baseado no volume a ser armazenado.
NITERÓI (2009)	A Lei nº 2.630/2009, determina que as novas edificações, públicas ou privadas, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m ² deverão ser dotadas de reservatório de águas pluviais, podendo ser de acumulação ou de retardo.
BELO HORIZONTE (2010)	O Art. 50 da lei nº 9.959/10 define taxas de permeabilidade mínimas para cada zona de ocupação da cidade. Nesse artigo é permitido que as edificações impermeabilizem até 100% da área do terreno, desde que sejam construídas caixas de retenção de água pluvial de até 30L/m ² de terreno impermeabilizado que exceda o limite estabelecido em lei.
NOVA IGUAÇU (2011)	A Lei nº 4.092/2011, determina que os empreendimentos novos e localizados em terrenos com área superior a 500 m ² deverão implantar tanques de retenção destinada a retardar em duas horas a chegada das águas pluviais no sistema de drenagem, córregos e rios.
SANTOS (2012)	O Decreto Municipal nº 6.044/12, disciplina os requisitos para implantação dos sistemas de retenção de águas pluviais dispostos nos artigos 3.º e 43 da Lei Complementar nº 730, de 11 de julho de 2011 e no artigo 30 da Lei Complementar nº 729, de 11 de julho de 2011 que definem taxas de permeabilidade mínimas para cada zona de ocupação da cidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Drumond, Coelho & Moura, (2011) realizaram uma comparação entre as legislações descritas anteriormente das cidades de Belo Horizonte, Curitiba, Guarulhos, Porto Alegre, Rio de Janeiro e São Paulo. Foram determinados os volumes a serem retidos para áreas entre 125 m² e 1.000 m², por meio das fórmulas definidas em cada legislação. Foi verificado que, dentre as legislações comparadas, a da cidade de Porto Alegre é a mais restritiva, exigindo-se volumes de reservação

de água pluvial aproximadamente 7 (sete) vezes maiores do que as cidades de Belo Horizonte e Guarulhos, como pode ser observado no gráfico da Figura 9.

Figura 9 - Volumes a serem retidos nos lotes conforme as legislações municipais.



Fonte: Drumond, Coelho & Moura (2011).

No Estado de Pernambuco, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008 (IBGE, 2010) dos 185 municípios do Estado, apenas 14 deles declararam possuir o Plano Diretor Urbano (PDU).

Tabela 1 - Municípios de Pernambuco com instrumento legal regulador do serviço de manejo de águas pluviais em 2008.

Instrumento regulador do serviço de manejo de águas pluviais	Municípios	
	Unidades	%
Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais	4	2
Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano	14	8
Plano Diretor de Recursos Hídricos	1	1
Plano Diretor Integrado de Saneamento Básico	3	2
Outros	8	4
Total	27	15

Nota: O município pode ter mais de um tipo de instrumento legal regulador

Fonte: PNSB – 2008 (IBGE, 2010)

Segundo Tucci (2005), o desenvolvimento do Plano Diretor de Drenagem Urbana é realizado estabelecendo-se medidas não estruturais para áreas ocupadas e não ocupadas do município e elaborando-se um plano de controle de impactos nas sub-bacias urbanas da cidade.

A principal medida não estrutural utilizada é a legislação para controle de lançamentos de águas pluviais dos empreendimentos que alterem a condição natural do solo, que pode ser incorporada em leis de uso e ocupação do solo, planos diretores urbanos ou decretos municipais específicos.

O Quadro 3 mostra as principais iniciativas realizadas na área de drenagem urbana na cidade do Recife.

Quadro 3 - Iniciativas realizadas na cidade do Recife em drenagem urbana.

INICIATIVAS	ANO	ASSUNTO
Plano diretor de macrodrenagem da região metropolitana do Recife	1980	Define a equação de chuva intensa para a RMR com base nas estações de Olinda e do Curado, apresentando respectivamente 15 e 10 anos de registros consecutivos de dados.
Lei orgânica do município do Recife	1990	Define que os serviços de saneamento básico relativos ao abastecimento de água, coleta e disposições de esgotos e de resíduos sólidos, limpeza pública, drenagem e controle de vetores serão planejados, organizados, coordenados, executados e controlados de modo integrado ou unificado com o sistema de saneamento básico de âmbito metropolitano, observadas as legislações federal e estadual.
Código do meio ambiente da cidade do Recife	1996	Define que o serviço urbano de drenagem pluvial deve obedecer ao Plano Diretor de Drenagem do Município do Recife; além disso, expressa que na elaboração do Plano Diretor de Drenagem deverão ser observados: o percentual de Taxa de Solo Natural (TSN), mantido no interior dos lotes por zona, conforme definido na Luos; as áreas de recarga dos aquíferos; as Unidades de Conservação Municipais.
Lei de uso e ocupação do solo da cidade do Recife – LUOS	1996	Instituído pela Lei nº 16.176/96 – Define o zoneamento da cidade do Recife e estabelece o percentual de Taxa de Solo Natural (TSN).
Projeto de qualidade das águas e controle da poluição hídrica das bacias dos rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão (PQA)	1997	Identifica 24 áreas de alagamento. O estudo recomenda a adoção de tempos de retorno de 10 anos para a microdrenagem e de 20 anos para canais e cursos d'água.
Plano de gerenciamento da drenagem de águas pluviais e do esgotamento sanitário para a região metropolitana do Recife	2001	Apresenta horizonte de execução até 2020 e prevê o melhoramento da drenagem da cidade do Recife, priorizando 15 áreas críticas de inundação.
Projeto de lei Nº 06/2006	2006	Promove a revisão do plano Diretor da Cidade do Recife (PDCR). Determina que empreendimentos com áreas superiores a 5.000 m ² deverá apresentar projeto específico de absorção e retenção de águas pluviais, e empreendimentos com área impermeabilizada do lote superior a 50% da área total, deverá compensar mediante implantação de sistema que garanta a drenagem de 30 l/h.m ² de área impermeabilizada.
Lei Nº18.112/2015	2015	Lei do Telhado Verde, dispõe que os projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de 4 pavimentos e não-habitacionais com mais de 400m ² de área de coberta deverão prever a implantação de "telhado verde" para a sua aprovação e em lotes com área superior a 500m ² e acima de 25% de área impermeabilizada deverão ser executados reservatórios de águas pluviais.
Plano diretor de drenagem urbana do Recife	Em elaboração	Apontará soluções integradas para a cidade do Recife.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. ESTUDOS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO NA FONTE ATRAVÉS DOS MICRORRESERVATÓRIOS

Microrreservatórios, ou caixas de detenção ou retenção, são dispositivos de controle na fonte de águas pluviais desenvolvidos para compensar a perda da capacidade de armazenamento de terrenos com solos impermeabilizados. Sua função é reservar temporariamente as precipitações, retardar a velocidade do escoamento superficial e proporcionar o amortecimento de picos de cheias, de maneira que a vazão máxima de saída após a impermeabilização seja próxima a das condições naturais.

Segundo Drummond (2012), desde a década de 70 que microrreservatórios vem sendo objeto de estudo no Japão e na Austrália. Na década de 80, outros países como Alemanha e Suécia começaram a analisá-los, enquanto no Brasil os trabalhos relacionados ao assunto começaram a ser desenvolvidos na década de 90 e se concentraram nas universidades do Rio Grande do Sul (IPH/UFGRS), de Minas Gerais (UFMG) e de São Paulo (USP e UFSCar).

Tsuchiya (1978 *apud* AGRA, 2001) descreveu que no Japão os microrreservatórios já são obrigatórios há três décadas, uma vez que naquele país os problemas de cheias decorrentes da urbanização eram cada vez mais frequentes. Cerca de 62% destes reservatórios são residenciais, e ocupam cerca de 1 ou 2 % da superfície controlada.

Sugio *et al.* (1995) simularam a implantação de microrreservatórios para armazenamento de água precipitada em telhados, com área média de 138 m², em uma bacia de 3,54 km² atingida por inundações, na cidade de Miyazaki no Japão. Foram utilizadas fotografias aéreas para avaliar a impermeabilização das áreas e após as análises, concluiu-se que a construção de reservatórios duplos nas residências, com volumes variando de 12 a 20 m³, foi possível reduzir os picos de vazão em aproximadamente 60%.

De acordo com O'Loughlin *et al.* (1995), desde 1991 os microrreservatórios são implantados largamente na cidade de Sidney, na Austrália e, até o ano de 1995, o número de dispositivos construídos chegou a aproximadamente 3.500 unidades. Os

autores identificaram as principais vantagens e desvantagens na utilização de microrreservatórios. Como vantagens citaram:

- Restauração da capacidade de armazenamento perdida com o desenvolvimento;
- Não transferência dos problemas para jusante;
- A responsabilidade e o encargo dos problemas ficam a cargo do empreendedor;
- Os problemas são resolvidos na fonte, onde eles são gerados;
- Regras simples e efetivas podem ser desenvolvidas em modelos de estudos;
- Essa técnica pode ser uma das bases para manter a qualidade da água; e
- O aumento da aceitação ocorreu em todas as partes envolvidas com o assunto.

Os opositores aos sistemas afirmam que:

- A regulamentação é muitas vezes injusta e os critérios e métodos de projeto são normalmente muito simplistas;
- Sob certas condições hidrológicas, o armazenamento localizado em parte da bacia pode aumentar a vazão a jusante devido ao atraso dos hidrogramas;
- Manutenção é um problema, impondo encargos onerosos aos proprietários;
- Oferece poucas opções para redução de poluentes, especialmente os dissolvidos e aqueles ligados a partículas finas de sedimento; e
- É uma medida não econômica com custos para todas as partes, superiores aos benefícios.

Como conclusão os autores descrevem que a implantação de microrreservatórios é certamente uma opção para ser considerada na gestão do sistema de drenagem.

O'Loughlin *et al.* (1998), em uma continuação da avaliação da implantação de microrreservatórios em Sidney, descreveram que o uso desse tipo de controle na fonte tem se tornado um procedimento padrão no desenvolvimento urbano da cidade, reduzindo os questionamentos controversos.

Piel *et al.* (1999 *apud* Nakazone, 2005) realizaram um estudo em Seine Saint-Denis na França, sobre a implantação de 200 instalações de armazenamento de água pluvial durante um período de 20 anos e concluíram que a falta de manutenção é a principal causa para a insuficiência da performance dos dispositivos de controle e sua deterioração ao longo do tempo. Além disso, os autores verificaram que o custo médio das instalações é alto e que a integração dos dispositivos à paisagem urbana foi considerada secundária.

Duarte, Miguez & Mascarenhas, (2003) analisaram o impacto provocado por diferentes estágios de urbanização de um lote padrão de 360 m² na cidade de Rio de Janeiro e dimensionaram microrreservatórios para situações com 50%, 67% e 100% de impermeabilização. As vazões de pico após as impermeabilizações e sem a instalação de microrreservatórios foram 133% (50% imp.), 176% (67% imp.) e 234% (100% imp.) maiores que a vazão de pico com o terreno natural. Com o objetivo de manter as vazões de pico geradas nos lotes impermeabilizados igual ou inferior às vazões do lote não urbanizado, os autores simularam diferentes volumes de armazenamento e estruturas de descarga para a implantação de microrreservatórios. Os resultados que obtiveram a melhor eficiência no amortecimento das vazões de pico das três situações de impermeabilização são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados encontrados na simulação realizada por Duarte *et al.* (2003).

Lote 360 m ²	Microrreservatório		Eficiência no amortecimento das vazões de pico
	Volume (m ³)	Diâmetro do orifício de saída (mm)	
50% Impermeabilizado	5,50	33	98,30%
67% Impermeabilizado	8,00	32,5	101,28%
100% Impermeabilizado	12,00	33	98,54%

Fonte: Duarte, Miguez & Mascarenhas (2003)

Almeida (2005) realizou uma simulação do funcionamento de microrreservatórios em lotes de 1.000 m² na bacia do córrego Olhos D'água, em Belo Horizonte, que possui área de 299 ha. Foram comparadas duas alternativas de controle, uma com a instalação de um microrreservatório por lote e outra com a implantação de um reservatório de detenção único por parcela (constituída de 30 lotes), para diferentes escalas geográficas.

Buscou-se manter a vazão máxima de saída dos microrreservatórios próxima à vazão de pré-urbanização. O volume de armazenamento calculado para o microrreservatório foi de 10 m³, sua altura fixada em 1,0 m, pela necessidade de se prever a ligação com a rede pública e o diâmetro do descarregador utilizado foi de 70 mm. Os resultados das eficiências no amortecimento das vazões de pico dos dois sistemas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados das eficiências de amortecimento das alternativas.

Escala	Eficiência na manutenção das vazões de pico naturais (%)	
	Microrreservatórios nos lotes	Reservatório de detenção na parcela
Lote (1000 m ²)	114	-
Parcela (3 ha)	104	93
Sub-bacia (92,2 ha)	99	71
Macrobacia (299 ha)	69	100*

Obs: * Só foi possível utilizando as duas soluções em conjunto

Fonte: Almeida (2005).

5. METODOLOGIA

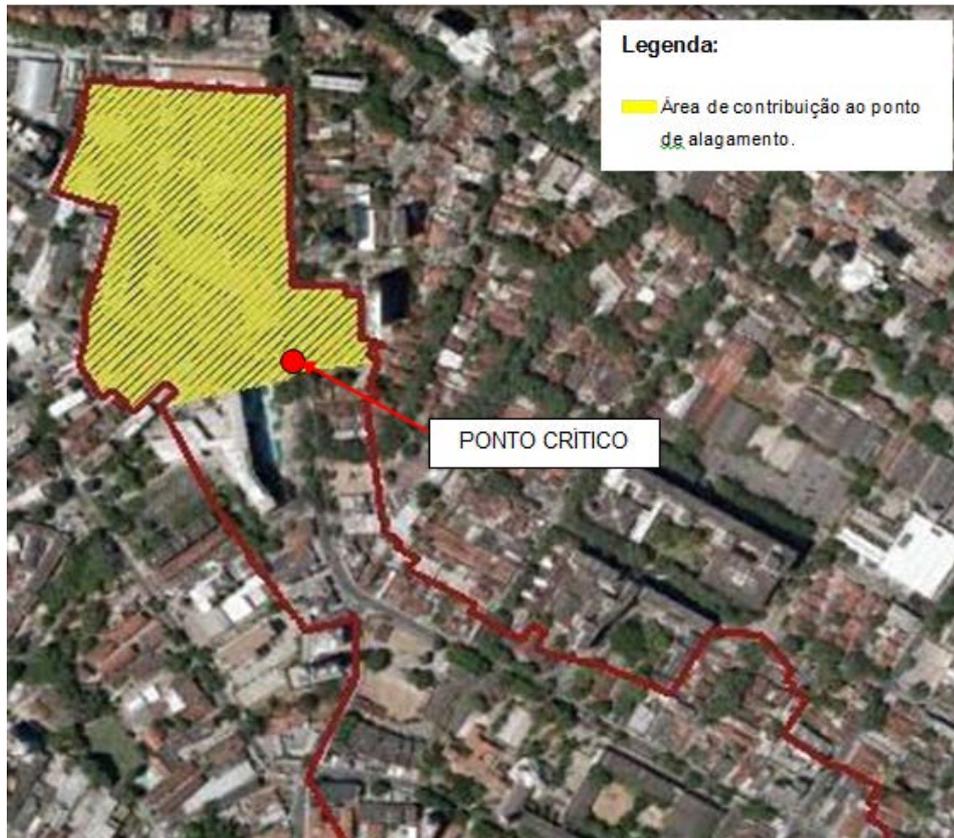
Como já mencionado, este trabalho baseia-se na aplicação da Lei Municipal Nº 18.112/2015, em uma área localizada no bairro da Soledade no município do Recife, tomado por base às informações levantadas no estudo de caso da citada área, realizado por Silva Junior (2015).

No tocante, Silva Junior (2015) realizou um estudo de alternativas compensatórias para o ponto crítico de alagamento na área em questão, considerando os resultados das simulações do Modelo Hidráulico-Hidrológico Storm Water Management Model (SWMM) para 02 possibilidades: adequação da rede de drenagem e implantação de reservatório de retenção.

Ainda com base nesse estudo, foram feitas simulações para recorrências de 2 e 5 anos, equivalentes aos eventos de chuva ocorridos na cidade em 17 de maio de 2013 e 25-26 de junho de 2014. Perpassada as etapas de simulação hidráulica-hidrológica, o citado estudo mostrou que a adequação da rede de drenagem não resolveria os problemas de alagamentos locais, apenas atenuaria e aumentaria a sobrecarga dos condutos à jusante do sistema modificado, enquanto o reservatório de retenção poderia resolver o problema dos alagamentos, simulados para um evento de dois anos.

Ao contrário do que foi proposto por Silva Junior (2015), em que se previu apenas a implantação de medidas estruturais na rede de drenagem local, o presente estudo avaliou a importância da aplicação da Lei Municipal como uma medida compensatória em drenagem urbana, na área de contribuição do ponto crítico estudado (Figura 10), verificando a redução dos alagamentos e comparando-o com os resultados obtidos pelo sobredito autor.

Figura 10 - Área de contribuição ao ponto de alagamento.



Fonte: Silva Junior (2015) – com adaptação do autor.

A partir dos dados obtidos no âmbito da dissertação de mestrado de Silva Junior (2015) e considerando a área de contribuição ao ponto de alagamento apresentada na Figura 10, foram identificados, cadastrados e quantificados todos os lotes localizados dentro da citada área, a partir do cadastro de imóveis da Prefeitura do Recife, disponibilizado pelo ESIG (Sistema de Informações Geográficas da Cidade). Isto porque, as intervenções estudadas neste projeto foram consideradas para cada lote, conforme define a Lei objeto deste estudo.

Para isso, foram utilizados recursos como mapas e imagens de satélite da cidade do Recife, além do auxílio do software AutoCAD 2015 para a identificação, cadastramento e quantificação dos lotes; e de visitas in loco para identificar o tipo de uso de cada lote (imóvel residencial ou comercial, e terrenos).

Uma vez identificados e caracterizados os lotes, a Lei estabelece que os mesmos estejam sujeitos à regulação quando apresentarem áreas superiores a 500 m² ou 0,05 ha e 25% da área impermeabilizada.

Assim, para verificar o impacto da implantação dos reservatórios especificados na Lei 18.112/2015 para o controle dos alagamentos da área estudada, os lotes foram analisados um a um, obtendo-se as suas respectivas áreas e os percentuais de superfícies permeáveis e impermeáveis (destacando as áreas de coberta), com auxílio do AutoCAD 2015.

Concluída esta etapa, foram calculados os reservatórios de retardo e de acumulação para cada lote, com base nas características físicas dos mesmos e nas premissas de dimensionamentos recomendadas pela Lei 18.112/2015.

A citada Lei estabelece que os reservatórios de águas pluviais possam ser:

- I. **Reservatórios de acumulação**, destinados ao acúmulo de águas pluviais para reaproveitamento com fins não potáveis, com captação exclusiva dos telhados;
- II. **Reservatórios de retardo**, destinados ao acúmulo de águas pluviais para posterior descarga na rede pública, captadas de telhados, coberturas, terraços, estacionamentos, pátios, entre outros.

No Art.4º desta Lei, são apresentadas as formulações necessárias para a obtenção da capacidade total dos reservatórios, na qual deverá ser calculada a partir da seguinte equação:

$$V = K \times A \times I \quad (1)$$

Em que:

V = Volume calculado do reservatório (m³);

K = Coeficiente de abatimento (adimensional);

A = Área total do lote (ha);

I = Intensidade da chuva de vazão média de cheias na cidade do Recife (m/h).

Ainda no Art.4º, também são apresentadas as premissas de cálculo para os 2 tipos de reservatórios adotados:

§ 1º - Para os **Reservatórios de Acumulação** devem ser considerados: K = 0,15; I = 0,06 m/h; prever um extravasor que deverá ser instalado em cota de modo

a permitir o vertimento quando o reservatório atingir 90% do volume calculado, de forma que esta água excedente seja direcionada para a infiltração em área de solo natural do lote.

§ 2º - Para os **Reservatórios de Retardo** devem ser considerados: $K = 0,25$; $I = 0,06$ m/h; o escoamento para o sistema público se dará através de orifício com vazão de restrição em função do coeficiente de escoamento de pré-urbanização. O modelo adotado para a determinação desta vazão é a fórmula Racional (Eq. 2) e o dimensionamento deste orifício deverá ser feito pela fórmula de Chézy/Manning (Eq. 3).

$$qr = Cr \times I \times A/360 \quad (2)$$

Em que:

qr – Vazão de restrição em m^3/s ;

I – Chuva de projeto = 0,06 m/h;

A – Área total do lote (ha);

Cr – Coeficiente de escoamento de pré-urbanização.

$$Q = (A^{5/3} \times S^{1/2}) / (n \times P^{2/3}) \quad (3)$$

Em que:

Q – Vazão (m^3/s);

n – Coeficiente de rugosidade de Manning;

A – Área molhada (m^2);

P – Perímetro molhado (m);

S – Declividade (m/m).

Para este trabalho, foi adotado o coeficiente de escoamento de pré-urbanização (Cr) igual ao coeficiente de escoamento superficial (runoff) do início do processo de urbanização do Recife, que era da ordem de 0,15 (EMLURB, 2013)

Quanto ao tipo de reservatório a ser adotado, a Lei deixa a escolha a critério do proprietário do lote. Neste estudo, para efeito de comparação da redução do volume de alagamento no ponto crítico estudado, foi dimensionado para cada lote que se enquadra na lei, os dois tipos de reservatórios exigidos, e na comparação, foram analisadas as seguintes possibilidades:

1. Todos os imóveis operando com reservatório de retardo.
2. Todos os imóveis operando com reservatório de acumulação.

A importância desta separação se dá pelas diferentes características de cada reservatório. O reservatório de retardo atenuará o pico do escoamento superficial originado dos lotes, por meio de uma vazão de restrição que será liberada para a rede pública de drenagem. E o reservatório de acumulação deverá verter para infiltração na área de solo natural remanescente do próprio lote. Diante destas especificidades, é possível verificar a eficiência na implantação dos mesmos, na redução da área de alagamento no ponto crítico estudado.

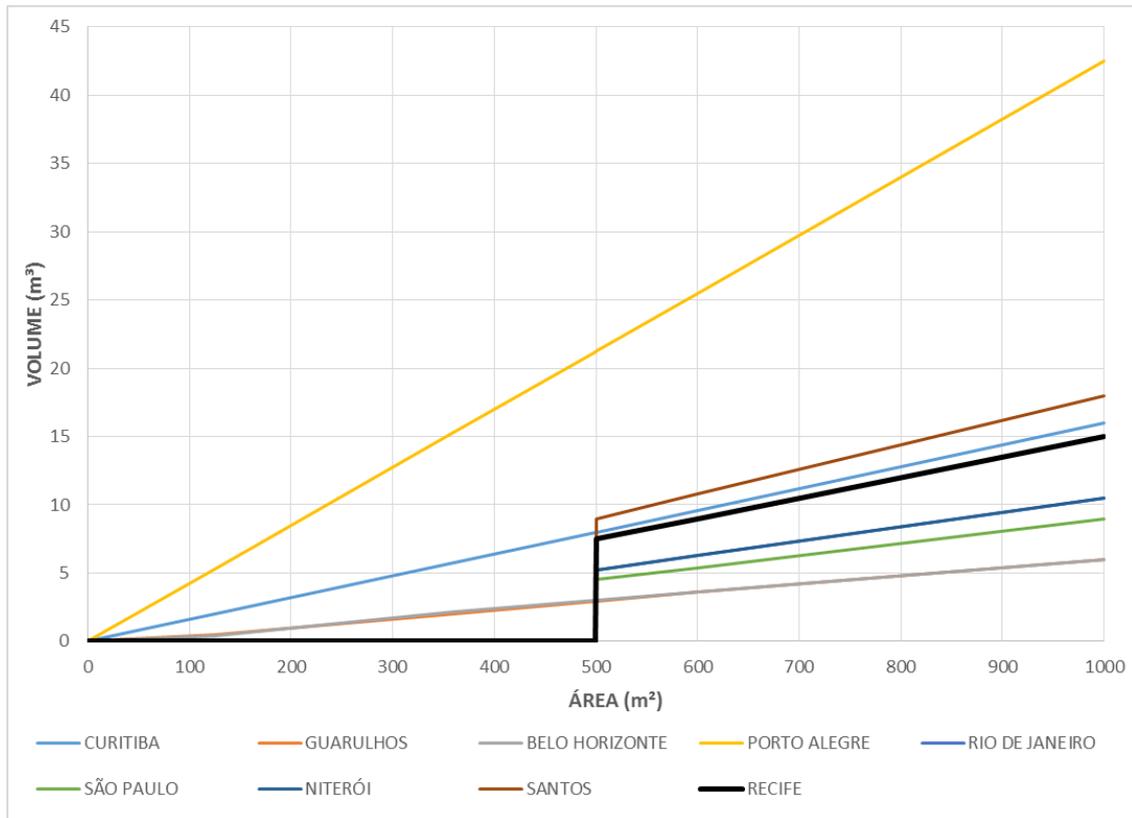
6. RESULTADOS

6.1. Análise comparativa da Lei 18.112/2015 com as legislações brasileiras de controle de escoamento na fonte.

Como já dito, apesar da sobredita Lei também tratar da implantação do telhado verde, neste trabalho foi analisado, apenas, o impacto da implantação dos microrreservatórios nos lotes inseridos na área de contribuição ao ponto de alagamento estudado.

Conforme apresentado no item 7, a lei fornece uma equação para o cálculo dos volumes dos reservatórios de retardo e de acúmulo. Para efeito de comparação com as legislações brasileiras acerca do controle de escoamento na fonte, descritas no item 5, foram determinados os volumes a serem retidos para áreas entre 125 m² e 1.000 m². Os critérios desta análise seguiram as premissas de comparação também realizada por Drumond, Coelho & Moura, (2011). O resultado desta comparação pode ser visualizado no gráfico da Figura 11.

Figura 11 - Volumes a serem retidos nos lotes conforme as legislações das cidades brasileiras.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura anterior, nota-se que a legislação da cidade de Porto Alegre é a mais restritiva dentre os municípios analisados, exigindo-se volumes de reservação aproximadamente 3 vezes maior do que o de Recife, por exemplo.

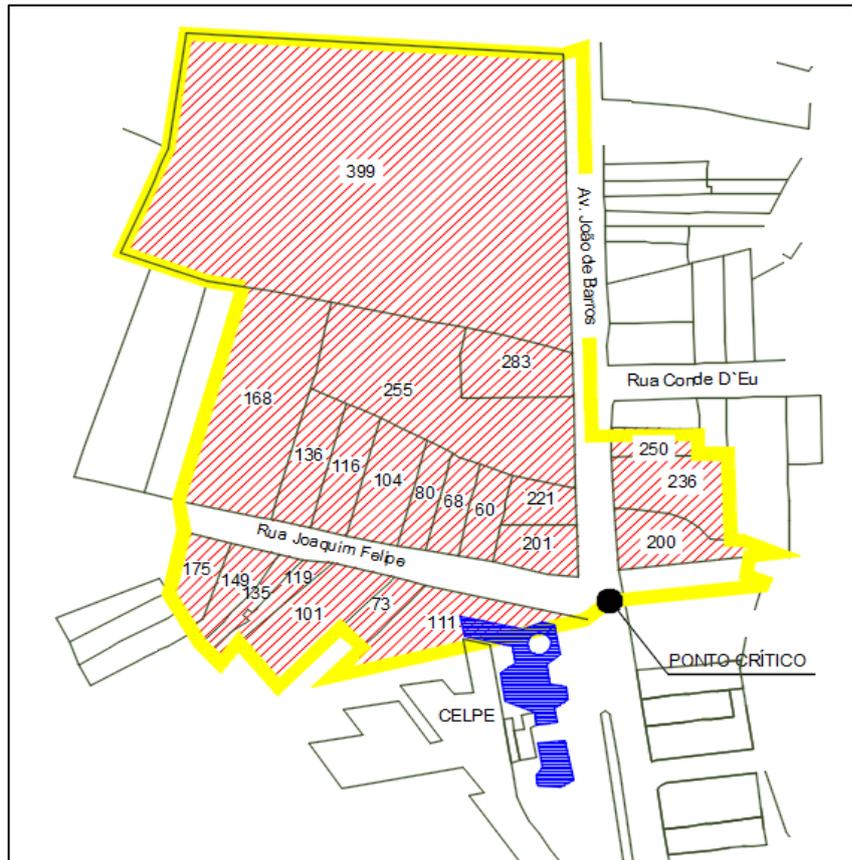
6.2. Aplicação da Lei na área de estudo.

A área de contribuição possui aproximadamente 4,68 ha, sendo que 4,13 ha são compostos por 22 lotes e 0,55 ha é formado por ruas, calçadas, avenidas e espaços públicos.

Entre os 22 lotes identificados, 6 lotes foram unificados e convertidos em 3 lotes (116-104, 80-68, 135-119), totalizando assim, 19 lotes. A Figura 12 mostra a disposição dos lotes inseridos na área de contribuição ao ponto de alagamento, com a numeração estabelecida pelo cadastro de imóveis da prefeitura do Recife. Já a

Tabela 4 apresenta a caracterização dos lotes situados na sobredita área, definindo a finalidade de uso dos mesmos.

Figura 12- Identificação dos lotes inseridos na área de contribuição ao ponto de alagamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 - Classificação dos lotes inseridos na área de contribuição ao ponto de alagamento

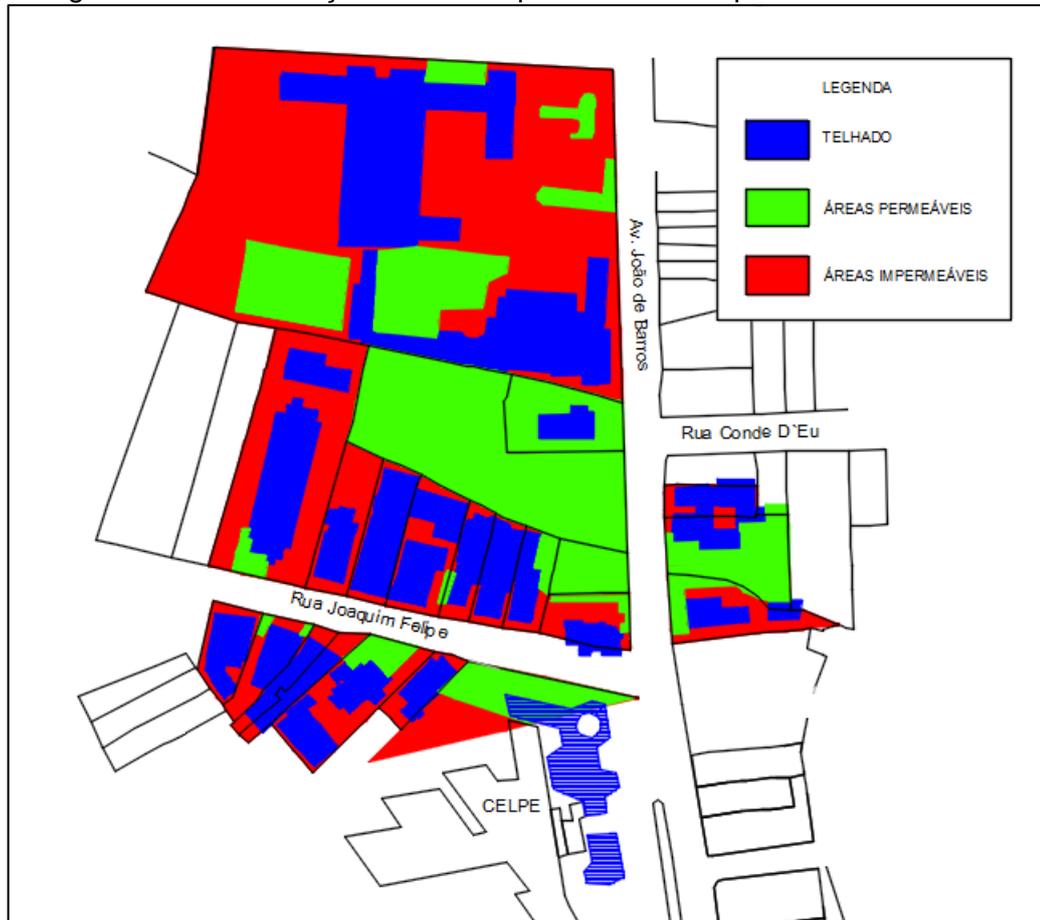
Caracterização dos lotes		
ID dos lotes	Nº de lotes	Utilização
283, 168, 201, 175	4	Edifícios residenciais multifamiliares
136, 116-104, 80-68, 60, 149, 135-119, 101, 73, 250, 236,	11	Edifícios comerciais
255, 221	2	Terrenos sem uso
111	1	Edifício da sede da Companhia Energética de Pernambuco
399	1	Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 13 apresenta o resultado do cadastramento dos lotes, ressaltando as áreas permeáveis e impermeáveis de cada lote, situado na área de contribuição ao ponto de alagamento. Também são apresentadas as áreas de cobertura das edificações existentes nos lotes. A Tabela 5 - Resumo das áreas dos lotes.

apresenta, com detalhes, as áreas e percentuais obtidos no cadastramento.

Figura 13 - Discretização das áreas permeáveis e impermeáveis nos lotes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Resumo das áreas dos lotes.

iD do lote	Áreas				Percentuais		Enquadramento às condicionantes da Lei 18.112/2015
	Total (ha)	Imperm. (ha)	Perm. (ha)	Coberta (ha)	Imperm. (%)	Perm. (%)	
399	1,89	1,60	0,29	0,51	85%	15%	OK
283	0,11	0,02	0,09	0,02	19%	81%	Não considerado
255	0,42	0,00	0,42	0,00	0%	100%	Não considerado
168	0,36	0,35	0,01	0,12	96%	4%	OK
136	0,09	0,09	0,00	0,03	100%	0%	OK
116-104	0,19	0,18	0,00	0,10	98%	2%	OK
80-68	0,10	0,10	0,00	0,07	100%	0%	OK
60	0,05	0,04	0,01	0,03	77%	23%	OK
221	0,05	0,00	0,05	0,00	0%	100%	Não considerado
201	0,06	0,06	0,01	0,02	87%	13%	OK
175	0,06	0,06	0,00	0,04	100%	0%	OK
149	0,06	0,05	0,00	0,03	93%	7%	OK
135-119	0,07	0,07	0,00	0,05	100%	0%	OK
101	0,14	0,11	0,02	0,06	83%	17%	OK
73	0,04	0,04	0,00	0,03	100%	0%	Não considerado
111	0,15	0,06	0,09	0,00	42%	58%	OK
250	0,04	0,04	0,00	0,02	100%	0%	Não considerado
236	0,13	0,05	0,08	0,04	38%	62%	OK
200	0,10	0,06	0,03	0,03	65%	35%	OK
TOTAIS	4,13	3,00	1,13	1,20	-	-	-
			MÉDIA		73%	27%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como visto na tabela acima, os lotes 283, 255 e 221 não estão enquadrados nas condicionantes da Lei, no que se refere à área impermeabilizada (menores que 25%), assim como os lotes 73 e 250, por possuírem áreas inferiores a 500 m².

Para o cálculo dos reservatórios especificados na Lei analisada, com finalidade de acumulação, as áreas dos telhados foram obtidas considerando que a captação do reservatório se dará exclusivamente pelo telhado, e, portanto, toda a área residual (composta pelo restante da área do lote) contribuirá normalmente, sem redução, para o sistema de drenagem pública.

Aplicando as equações de dimensionamento dos reservatórios apresentados no item de metodologia, encontraram-se os seguintes resultados considerando o funcionamento de acumulação e retardo (Tabela 6).

Tabela 6 - Volume dos reservatórios de acumulação e retardo.

ID do Lote	Reservatórios de Acumulação	Reservatórios de Retardo		
	Volume (m ³)	Volume (m ³)	Vazão de Restrição (m ³ /s)	Ø Orifício de saída (m)
399	169,90	283,16	0,47	0,72
168	32,58	54,31	0,09	0,39
136	8,23	13,72	0,02	0,23
116-104	16,79	27,98	0,05	0,30
80-68	9,37	15,62	0,03	0,24
60	4,91	8,18	0,01	0,19
201	5,79	9,64	0,02	0,21
175	5,34	8,91	0,01	0,20
149	5,12	8,54	0,01	0,20
135-119	6,40	10,67	0,02	0,21
101	12,46	20,77	0,03	0,27
111	13,56	22,59	0,04	0,28
236	11,69	19,49	0,03	0,26
200	8,68	14,46	0,02	0,24
TOTAIS	310,82	518,03	0,86	MÉDIA 0,28

Fonte: Elaborado pelo autor.

As condições hidrológicas da área de contribuição ao ponto de alagamento foi calculada por Silva Junior (2015), considerando um tempo de concentração de 15 minutos e as recorrências de 2 e 5 anos. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos relacionando as vazões máximas e volumes gerados com reduções verificadas com a utilização dos reservatórios de acumulação e retardo, considerando os períodos de retorno mencionados.

Tabela 7 - Síntese dos resultados obtidos

Parâmetros	Variáveis	TR: 2 anos	TR: 5 anos
Condições hidrológicas na área de montante ao ponto de alagamento	Tempo de concentração (min.)*	15	15
	Vazão máxima (m ³ /s)*	0,97	1,13
	Volume gerado (m ³)	874,26	1018,89
Reservatórios	Acumulação	36	31
	Retardo	11	24

Nota:* Valores extraídos do estudo de Silva Junior (2015).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Reservatórios de acumulação

Com base nas Tabelas 6 e 7, verificou-se que se todos os lotes considerados apresentassem um reservatório de acumulação, o volume total amortecido seria de 310 m³. Esse valor representa uma redução de 36% do volume gerado por um evento de 2 anos de recorrência, e 31% do volume gerado por um evento de 5 anos.

O tempo de concentração calculado, a partir da equação de Gundlach (1976) *apud* Fendrich (2002), foi de 18 minutos (aumento de 3 minutos) para os dois eventos.

Reservatórios de retardo

Com a implantação de reservatório de retardo nos lotes, as Tabelas 6 e 7 mostram que a vazão máxima de restrição gerada na área de montante ao ponto de alagamento é de 0,86 m³/s. Isso significa uma redução no pico de vazão na ordem de 11% para eventos de 2 anos de recorrência e 24% para eventos de 5 anos.

Para o tempo de concentração em função da variabilidade da impermeabilização, o valor calculado foi de 25 minutos com o uso dos reservatórios de retardo nos lotes, o que representa um aumento de 10 minutos.

Para atendimento da vazão de restrição, a Lei prevê o dimensionamento de um orifício de descarga associado a um extravasor. Em termos médios, verificou-se que, a partir das vazões de restrições calculadas em cada lote, o diâmetro médio adotado para os orifícios é da ordem de 0,30 m. Este orifício deverá ser ligado à rede de drenagem através de condutos e/ou tubulações com diâmetro equivalente a vazão de restrição do orifício acrescida da vazão máxima vertida no extravasor.

6.3. Determinação dos coeficientes de escoamento na área de contribuição ao ponto de alagamento com a aplicação dos reservatórios.

Com a aplicação dos reservatórios de retardo e acúmulo, teve-se a necessidade de verificar qual seria o “novo” coeficiente de escoamento (run off) considerando as duas situações na área de montante ao ponto de alagamento.

Nos estudos de Silva Junior (2015), o coeficiente de escoamento (C) médio adotado para esta área de contribuição foi de 0,86, característico de uma área com urbanização consolidada.

Reservatórios de acumulação

Para encontrar o novo coeficiente da área em estudo, com os reservatórios de acumulação nos lotes regulados pela lei, foi feita uma média ponderada entre a soma de todas as áreas dos telhados e a área remanescente, subtraindo da microbacia a área dos telhados. Para os telhados, o coeficiente adotado foi 0 (zero), pela premissa de que todo o volume precipitado na área do telhado será reservado para posterior utilização, sem contribuir de forma alguma para o sistema público, enquanto que nas áreas remanescentes, foi utilizado o mesmo encontrado por Silva Junior (2015), que no caso, equivale a 0,86.

A área da microbacia, conforme apresentado no item 6.2 é de 46.781,99 m² e a área total calculada dos telhados dos lotes foi de aproximadamente 12.000,00 m². Com isso, o valor médio calculado do coeficiente de escoamento superficial da área em estudo com os lotes de acumulação foi de 0,65, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Determinação do coeficiente de escoamento (C) médio da microbacia com reservatórios de acumulação.

Área total da microbacia (m ²)	Área total das cobertas (m ²)	Atot – Acob (m ²)	C médio	C coberta	C calculado
46781,99	12000,00	35541,57	0,86	0,00	0,65

Fonte: Elaborado pelo autor.

Reservatórios de retardo

Neste caso, fez-se uso do mesmo método adotado anteriormente, diferenciando apenas na obtenção do coeficiente interno de cada lote após a aplicação do reservatório de retardo.

Para os reservatórios de acumulação toda a área remanescente do lote, excluindo-se os telhados, contribuíam normalmente para o sistema público de drenagem, na concepção dos reservatórios de retardo é determinado que todo o lote passa a contribuir para o sistema público através de uma vazão restringida pelo coeficiente de pré-urbanização.

Fazendo-se então a média ponderada, usando 0,15 para o coeficiente de pré-urbanização dos lotes regulados e 0,86 para toda a área remanescente da bacia, o coeficiente médio final calculado foi de 0,34, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Determinação do coeficiente de escoamento (C) médio da microbacia com reservatórios de retardo.

Área total da microbacia (m ²)	Área total dos lotes (m ²)	Área remanescente da bacia (m ²)	C médio	C pré-urbanização	C calculado
46781,99	3435,59	12246,40	0,86	0,15	0,34

Fonte: Elaborado pelo autor

6.4. Considerações sobre o impacto do uso dos reservatórios no ponto de alagamento estudado.

Conforme Silva Junior (2015) na mesma área de estudo deste trabalho, foi feita uma análise de dois eventos ocorridos na cidade, o primeiro em 17 de maio de 2013, com tempo de retorno calculado em 5 anos, e o segundo ocorrido entre os dias 25 e 26 de junho de 2014, cujo tempo de retorno calculado para esse evento foi de 2 anos. Uma das alternativas estudadas foi a implantação de um reservatório de detenção no cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe.

Para o dimensionamento deste reservatório, o citado autor utilizou o método das chuvas definido por Baptista, Nascimento & Barraud. (2005), devido reduzida quantidade de parâmetros de entrada para a adoção de tal método, necessitando

basicamente, das curvas IDF/PDF relativas a longos períodos, e apresentado pelas equações 4, 5 e 6 a seguir.

$$DH_{m\acute{a}x} = M\acute{a}x.[P(D.T)-q_s.D] \quad (4)$$

Em que:

$DH_{m\acute{a}x}$ – Altura máxima a armazenar em m;

$P(D.T)$ – Precipitação máxima (mm);

q_s – Vazão específica (mm/min);

D – Duração da precipitação (min ou h).

$$q_s = Q_s/A_a \quad (5)$$

Em que:

q_s – Vazão específica (mm/min);

Q_s – Vazão de saída (restrição) (m³/s);

A_a – Área de drenagem efetiva (m²);

A_a – (área da bacia em m²)*C(coeficiente de escoamento pós-urbanização)

Logo o volume máximo de armazenamento será dado pela equação 6.

$$V_{m\acute{a}x} = DH_{m\acute{a}x}.A_a \quad (6)$$

Onde:

$V_{m\acute{a}x}$ – Volume máximo (m³);

Como parâmetros de entrada, Silva Junior (2015) adotou como tempo de retorno 2 e 5 anos (coincidente com os períodos de retorno dos eventos de simulação estudados naquele estudo), duração da chuva igual ao tempo de concentração médio da área de montante ao ponto crítico estudado (15 min) e coeficiente de escoamento superficial igual a 0,86.

Com isso, foi dimensionado o reservatório pelo método das chuvas, com resultados apresentados na Tabela 10, em seguida foi dimensionado o reservatório pelo mesmo método, porém, considerando a vazão de saída (Q_s) igual a capacidade de escoamento da galeria situada na área, com diâmetro de 0,40 m, com resultados expostos na Tabela 11.

Tabela 10 - Aplicação do método das chuvas, considerando a vazão de saída da área de montante pelo método racional (Baptista *et al*, 2005).

t (min)	Tr=2 anos		Tr=5 anos		Área de montante (ha)	Coef. De escoamento (C)	Qs(2 anos) (m³/s)	Qs(5 anos) (m³/s)	qs=Qs/Aa				Altura de água evacuada qs,t (mm)		Altura de água Armaz. P-qst (mm)		Volume a armazen. (m³)	
	I (mm/h)	P (D,T) (mm)	I (mm/h)	P (D,T) (mm)					Tr=2 anos		Tr=5 anos		Tr=2 anos	Tr=5 anos	f(t) Tr=2 anos	fft) Tr=5 anos	Tr=2 anos	Tr=5 anos
									(m/s)	(mm/min)	(m/s)	(mm/min)						
15	95,63	23,91	111,45	27,86	4,68	0,86	1,07	1,24	$2,66 \times 10^{-5}$	1,60	$3,10 \times 10^{-5}$	1,86	11,87	13,83	12,04	14,03	483,08	563,00

Fonte: Silva Junior (2015).

Tabela 11 - Aplicação do método das chuvas, considerando a vazão de saída da área de montante pelo método racional (Baptista *et al*, 2005).

t (min)	Tr=2 anos		Tr=5 anos		Área do conduto Ø0,40m (m²)	Velocidade máxima admissível no conduto (m³/s)	Q (m³/s)	qs=Qs/Aa		Altura de água evacuada qs,t (mm)	Altura de água Armaz. P-qst (mm)		Volume a armazen. (m³)	
	I (mm/h)	P (D,T) (mm)	I (mm/h)	P (D,T) (mm)				(m/s)	(mm/min)		f(t) Tr=2 anos	fft) Tr=5 anos	Tr=2 anos	Tr=5 anos
15	95,63	23,91	111,45	27,86	0,13	4,50	0,5338	$1,29 \times 10^{-5}$	0,78	11,64	12,27	16,23	506,60	669,91

Fonte: Silva Junior (2015).

De acordo com os valores obtidos por Silva Junior (2015) e considerando o evento mais crítico, referente ao dia 17 de maio de 2013 (TR: 5 anos), o método das chuvas apresentou um volume necessário de 669,91 m³, cuja vazão é restringida pela capacidade hidráulica máxima da galeria locada na área de contribuição e que liga ao reservatório proposto, com diâmetro de 0,40 m.

A partir desses resultados é possível fazer uma comparação prévia dos volumes armazenados pelos reservatórios de acumulação e retenção nos lotes inseridos na área de contribuição ao ponto de alagamento e que são regulados pela Lei 18.112/2015.

Para os reservatórios de acumulação, o volume total dos reservatórios foi de 310,82 m³ (Tabela 6), o que equivale a 46% do volume necessário para evitar o alagamento no evento estudado, já os reservatórios de retardo apresentaram um volume total de 518,03 m³ (Tabela 6), equivalente a 77% do volume necessário.

Para o ponto específico estudado, apenas o volume armazenado não seria suficiente para o controle do alagamento, devido a limitação da galeria existente em transportar essa vazão, portanto, mesmo com todos os lotes restringindo sua vazão em função do coeficiente de pré-urbanização, essa seria superior a capacidade do sistema existente, provocando alagamentos, mesmo que inferiores a condição atual.

De acordo com a Tabela 6 apresentada no item 6.2, a vazão de restrição de todos os lotes regulados pela legislação analisada, somados, equivale a 0,86 m³/s, já superando a capacidade de escoamento da galeria existente que é de 0,53 m³/s, de acordo com Silva Junior (2015).

Com isso fica evidente a necessidade de uma intervenção conjunta para solução do alagamento na área. Para isso, foi utilizado o método das chuvas para o dimensionamento de um novo reservatório a ser implantado no cruzamento da Avenida João de Barros com a Rua Joaquim Felipe. Só que desta vez, utilizando como parâmetro C (coeficiente de escoamento superficial) os valores correspondentes para a área de contribuição com os reservatórios de acumulação e de retardo.

Silva Junior (2015) adotou o valor de 0,86 como coeficiente de pós-urbanização. Com o uso dos reservatórios de acumulação, esse coeficiente passou

a ser de 0,65, e com os reservatórios de retardo nos lotes, o coeficiente calculado foi de 0,34.

Ainda segundo o autor, o volume calculado para o reservatório de detenção para um evento de 5 anos, utilizando o método das chuvas e com vazão de saída restringida pela capacidade de escoamento da galeria existente, foi de 669,91m³ nas condições atuais (Tabela 11).

Considerando a intervenção nos lotes com o uso dos microrreservatórios utilizando o mesmo método, o novo volume calculado para um mesmo evento com tempo de retorno de 5 anos, foi de 426,8 m³ com o uso de reservatórios de acumulação e 223,25 m³ utilizando reservatórios de retardo, o que equivalem a uma redução no volume armazenado no reservatório de retardo de 33,3% e 66,6% respectivamente. Os resultados são apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Aplicação do método das chuvas com reservatórios de acumulação.

t (min)	Tr=2 anos		Tr=5 anos		Área de montante (ha)	Coef. De escoamento (C)	Qs (2 anos) (m³/s)	Qs (5 anos) (m³/s)	qs=Qs/Aa				Altura de água evacuada qs,t (mm)		Altura de água Armaz. P-qst (mm)		Volume a armazen. (m³)	
	I (mm/h)	P (D,T) (mm)	I (mm/h)	P (D,T) (mm)					Tr=2 anos		Tr=5 anos		Tr=2 anos	Tr=5 anos	f(t) Tr=2 anos	fft Tr=5 anos	Tr=2 anos	Tr=5 anos
									(m/s)	(mm/min)	(m/s)	(mm/min)						
15	95,63	23,91	111,45	27,86	4,68	0,65	0,81	0,94	$2,66 \times 10^{-5}$	1,60	$3,10 \times 10^{-5}$	1,86	11,87	13,83	12,04	14,03	366,21	426,80

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 13 - Aplicação do método das chuvas com reservatórios de detenção.

t (min)	Tr=2 anos		Tr=5 anos		Área de montante (ha)	Coef. De escoamento (C)	Qs (2 anos) (m³/s)	Qs (5 anos) (m³/s)	qs=Qs/Aa				Altura de água evacuada qs,t (mm)		Altura de água Armaz. P-qst (mm)		Volume a armazen. (m³)	
	I (mm/h)	P (D,T) (mm)	I (mm/h)	P (D,T) (mm)					Tr=2 anos		Tr=5 anos		Tr=2 anos	Tr=5 anos	f(t) Tr=2 anos	fft Tr=5 anos	Tr=2 anos	Tr=5 anos
									(m/s)	(mm/min)	(m/s)	(mm/min)						
15	95,63	23,91	111,45	27,86	4,68	0,34	0,42	0,49	$2,66 \times 10^{-5}$	1,60	$3,10 \times 10^{-5}$	1,86	11,87	13,83	12,04	14,03	191,56	223,25

Fonte: Elaborado pelo autor

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De uma maneira geral, observa-se que, para a área estudada, o uso de reservatórios de retenção em nível de lote, previstos na Lei Municipal Nº 18.112 (RECIFE, 2015), apresenta-se como uma das possibilidades para a redução dos picos de cheia e conseqüentemente alagamentos, mostrando também que pode servir como um acumulador de águas pluviais para posterior uso.

Segundo a citada Lei, os reservatórios para acumulação ou retardo das águas pluviais poderão ser construídos na área de solo natural, correspondente em até 10% desta área. Com a adoção desta técnica, evita-se o bombeamento imediato da água de drenagem dos prédios situados na Rua Joaquim Felipe, no momento em que está chovendo.

Além das medidas indicadas, outras também são necessárias, como o controle efetivo da urbanização, evitando a impermeabilização excessiva das poucas áreas de solo exposto ou com vegetação, existentes na área de contribuição ao ponto de alagamento.

Como esperado, o uso dos reservatórios provocaram uma forte redução no coeficiente de escoamento superficial. A redução mais expressiva é observada com a implantação de reservatórios de retardo. Como consequência desta redução, verificou-se um aumento no tempo de concentração da microbacia.

Os resultados mostraram que os reservatórios de retardo apresentam maior eficiência para a redução no volume de alagamento, quando comparado com os reservatórios de acumulação. Porém, diante da obrigatoriedade estabelecida pela Lei, em que são considerados apenas os lotes acima de 500 m², o impacto provocado pela sua implantação pode não ser muito significativo para áreas densas com lotes reduzidos.

Devido a insuficiência em escoar a vazão de restrição máxima dos lotes pelo sistema de drenagem existente, apenas os reservatórios previstos na lei não resolveria o problema do alagamento para eventos com tempo de retorno de até 5 anos. Quando verificou-se a solução conjunta, com o uso dos microrreservatórios de retardo nos lotes combinados com um reservatório de retenção abaixo da via funcionando simultaneamente, apresentou resultado satisfatório, enquanto que a

solução com microrreservatórios de acumulação somado ao reservatório de retenção na rua exigiria um volume 100% maior do que o uso dos reservatórios de retardo.

A equação fornecida pela Lei 18.112 (RECIFE, 2015) para o dimensionamento do orifício de restrição dos reservatórios de retardo não é adequada para restringir vazão, a fórmula de Chézy/Manning é recomendada para uso em condutos livres dimensionados como canais, resultando em diâmetros muito grandes que permitirá o escoamento de vazões muito acima da permitida pela lei, com isso se tem a necessidade de uma revisão na equação fornecida para o dimensionamento do orifício, evitando prejuízos na aprovação de projetos.

8. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar estudos para avaliar o impacto da implementação do telhado verde nas edificações, em conjunto com os reservatórios de acumulação e/ou retardo.
- Simular os resultados apresentados em modelos Chuva-Vazão, considerando as alternativas estudadas (reservatórios de retardo /acumulação) e incluindo a implantação do telhado verde.

REFERÊNCIAS

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

ALMEIDA, V. A. **Avaliação da eficiência de sistemas alternativos de drenagem urbana de águas pluviais**. 139 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

BAPTISTA, M.B., NASCIMENTO, N. de O. e BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 1. Ed. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p

BELO HORIZONTE: Lei Nº 9.959 de 20 de julho de 2010. **Altera as leis nº 7.165/96 - que institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte - e nº 7.166/96 - que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município -, estabelece normas e condições para a urbanização e a regularização fundiária das Zonas de Especial Interesse Social, dispõe sobre parcelamento, ocupação e uso do solo nas Áreas de Especial Interesse Social, e dá outras providências**. Belo Horizonte, 20 jul. 2010.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Brasília: Senado, 1997. p.15.

BRASIL. Lei 10.527 de 10 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Brasília: Senado, 2001. p.17.

BRASIL. Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências**. Brasília: Senado, 2007. p.20.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2005, 2ed., p. 302.

CURITIBA. Decreto 176 de 20 de março de 2007. **Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias**. Curitiba, 29 mar. 2007

DRUMOND, P. P., COELHO, M. M. L. P., MOURA, P. M. **Análise do volume de reservação de águas pluviais em lotes: comparação do caso de Belo Horizonte**

com outras cidades brasileiras. Publicado nos anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Maceió, 2011.

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

DUARTE, R. X. M., MIGUEZ, M., MASCARENHAS, F. **Modelação matemática de controle de cheias urbanas com uso de Reservatórios de lote.** Publicado nos anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba, 2003.

EMLURB. **Relatório de Andamento do RAP - Caracterização da Área de Influência Direta – AID.** In: Estudo elaboração dos estudos de concepção para gestão e manejo de águas pluviais e drenagem urbana do Recife. (Versão concedida em visita técnica). Recife, out. 2013.

FENDRICH, R. **Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana.** Curitiba, 2002 . 499 p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

GUARULHOS. Lei 5.617 de 09 de novembro de 2000. **Código de obras do município de Guarulhos.** Guarulhos, 09 nov. 2000.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)** – 2008. IBGE: Rio de Janeiro,2010. 219p.

NAKAZONE, L. M. **Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais:** a experiência da CDHU, 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2005.

NASCIMENTO, N. de O., BAPTISTA, M.B. **Técnicas compensatórias em águas pluviais.** In: Righetto, A. M. (coord.). Manejo de águas pluviais urbanas. Rio de Janeiro: ABES, 2009. cap. 4, p. 148-197

NITERÓI. **Lei n° 2.630, de 7 de janeiro de 2009.** Disponível em: <http://www.ofluminense.com.br/ArquivosExternos/Arq670.pdf>. Acesso em: 6 mai. 2016.

NOVA IGUAÇU. **Lei n° 4.092, de 28 de junho de 2011.** Disponível em: http://pt.wikisource.org/wiki/Lei_Municipal_de_Nova_Igua%C3%A7u_4092_de_2011. Acesso em: 6 mai. 2016.

O'LOUGHLIN, G., BEECHAM, S., LEES, S., ROSE, L., NICHOLAS, D. **Onsite Stormwater Detention System in Sydney.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN STORM DRAINAGE - NOVATECH, 2, 1995, Lyon. [*Anais elet-rônico...*] Lyon: AIDIS, 1995. 1 CD-ROM

O'LOUGHLIN, G., HUYEN, V., BEWSHER, D., LEES, S., **Refining on-site stormwater detention practice in Sydney**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN STORM DRAINAGE - NOVATECH, 3, 1998, Lyon. [*Anais eletrônico...*] Lyon: AIDIS, 1998. 1 CD-ROM

PERNAMBUCO: Lei 11426, de 17 de janeiro de 1997. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos, institui e Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Recife, 17 jan. 1997.

PERNAMBUCO: Lei 11427, de 17 de janeiro de 1997. **Dispõe sobre a conservação e a proteção das águas subterrâneas no Estado de Pernambuco e dá outras providências**. Recife, 17 jan. 1997

PERNAMBUCO. Lei nº 12.984, de 30 de dezembro de 2005: **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências**. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/legislacao/lei_das_aguas_n_12984_de_30_de_dezembro_de_2005.pdf. Acesso em: 06 mai. 2015

PERNAMBUCO: Lei nº 15.630, de 29 de outubro de 2015: **Torna obrigatória a instalação de sistema de captação de água de chuva para tratamento e reutilização da água empregada na lavagem de veículos pelos estabelecimentos comerciais que prestem este serviço e dá outras providências**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=305501>. Acesso em: 22 jul. 2016

PERNAMBUCO: Lei nº 14.572, de 27 de dezembro de 2011: **Estabelece normas para o uso racional e reaproveitamento das águas nas edificações do Estado de Pernambuco e dá outras providências**. Disponível em: <http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&numero=14572&complemento=0&ano=2011&tipo=&url=>. Acesso em: 22 jul. 2016

PIEL, C., PEREZ, I., MAYTRAUD, T. **Three examples of temporary stormwater catchments in dense urban areas; a sustainable development approach**. Water Science and Technology, v. 39, n 2, p. 25-32, 1999.

PORTO ALEGRE. Decreto 15.371 de 17 de novembro de 2006. **Regulamenta o controle da drenagem urbana**. Porto Alegre, 17 de nov. 2006

RECIFE. Lei nº 18.112, de 12 de janeiro de 2015: **Institui sobre a obrigatoriedade de instalação do “telhado verde”, e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais em novas edificações no Recife**. Disponível em: <http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>. Acesso em: 05 mai. 2015.

RECIFE. CÂMARA MUNICIPAL DO RECIFE. **Relatório do Substitutivo do Projeto de Lei Nº 06/2006** - Plano Diretor. Recife, agosto 2008.

_____. Lei Orgânica do Município do Recife (LOMR) - 04 de abril de 1990: **Decreta e promulga a lei orgânica municipal do Recife**. Disponível em: <http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/organica/>. Acesso em: 05 mai. 2016

_____. Lei de uso e ocupação do solo da cidade do Recife (LOUS) de 30 de janeiro de 1997: **Dispõe sobre as condições de Uso e Ocupação do Solo na Cidade do Recife e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.recife.pe.gov.br/pr/leis/luos/index.html>. Acesso em: 05 mai. 2016.

_____. Lei nº 16.176, de 09 de abril de 1996: **Estabelece a Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife**. Disponível em: <http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/16176/>. Acesso em: 06 de maio de 2016.

_____. Plano Diretor de Recife (PDCR)- Lei nº 17511, de 29 de dezembro de 2008: **Promove a revisão do plano Diretor do Município do Recife**. Disponível em: <http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/17511/>. Acesso em: 06 mai. 2016.

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. **Manejo de águas pluviais urbanas**. In: Righetto, A. M. (coord.). Manejo de águas pluviais urbanas. Rio de Janeiro: ABES, 2009. cap. 1, p. 19-73

RIO DE JANEIRO. Decreto 23.940 de 30 de janeiro de 2004. **Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem**. Rio de Janeiro, 30 de jan. 2004.

SANTOS: Decreto nº 6.044, de 10 de janeiro de 2012: **Disciplina os requisitos para implantação dos sistemas de retenção de águas pluviais, e dá outras providências**. Santos, 10 jan. 2012.

SÃO PAULO (SP). Lei 13.276 de 04 de janeiro de 2002. **Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes edificadas ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500,00m² (quinhentos metros quadrados)**. São Paulo, 04 de jan. 2002.

SILVA JUNIOR, M. A. B. **Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE**. Recife: UPE. 2015. 153 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife.

SRHE (Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos): **Plano estratégico de recursos hídricos e saneamento do estado de Pernambuco. 2008**

SUDERHSA. **Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba**. Relatório Final – Volume 3, Tomo 3.2, 2002.

SUGIO, S., DEGUCHI, C., KUNITAKE, M. SUHARYANTO, A., YAMAKAWA, Y. 1995. **Use of house storage to decrease and delay te peak point in stormwater discharge from small urbanized basin**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN STORM DRAINAGE, 2., 1995, Lyon. NOVATECH, 1995. Lyon: Graie. P. 437-444.

TASSI, R. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana.** 2002. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

TSUCHIYA, A. **Evaluation of on-site stormwater detention methods in urbanized areas.** In: HELLIWELL, P. R. Urban Storm Drainage. London: Pentech Press, 1978. p. 470-478.

TUCCI, C.E.M., 1995 **Enchentes urbanas** in: Drenagem Urbana, cap. 1 Editora da Universidade, ABRH

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos.** Porto Alegre: EdUFRGS, 2000.

TUCCI, C. E. M., **Gestão de Inundações Urbanas**, 1 ed. Porto Alegre: Unesco, 2005. p. 273

TUCCI, C.E.M., **Águas urbanas. Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p.1-16, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana.** In: Curso de gestão de águas pluviais. Apresentação em PowerPoint. São Paulo, 10 de agosto de 2013.

WALESH, S. G., **Urban Surface Water Management.** New York, NY: Wiley, 1989.

WRIGHT, L. and HEANEY, J.P. (2001). **Design of Distributed Stormwater Control and Reuse Systems**, Chap. 11 in Mays. L.W., Ed. Stormwater Collection Systems Design Handbook, McGraw-Hill, New York, p. 11.1-11.49.