

# ANÁLISE DA DRENAGEM URBANA DE FORTALEZA

## ESTUDOS TEMÁTICOS E SETORIAIS



**Prefeitura de Fortaleza**  
Instituto de Planejamento de Fortaleza



Fortaleza, Ceará  
Julho de 2015

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA  
INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DE FORTALEZA - IPLANFOR  
FUNDAÇÃO CEARENSE DE PESQUISA E CULTURA -FCPC

**PROJETO:  
ANÁLISE DA DRENAGEM URBANA DE FORTALEZA**

**Autores**

Francisco de Assis de Souza Filho  
Carla Beatriz Costa de Araújo

**RELATÓRIO FINAL**

**FORTALEZA /CE  
Abril de 2016**

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	6
1.1	Objetivos.....	7
2	EVOLUÇÃO DA DRENAGEM URBANA .....	8
3	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA .....	11
3.1	Medidas não estruturais .....	14
3.2	Medidas estruturais .....	14
4	ANÁLISE DO SISTEMA ATUAL DRENAGEM URBANA EM FORTALEZA.....	22
5	SOLUÇÕES PARA DRENAGEM URBANA EM FORTALEZA.....	27
5.1	Lagoas.....	27
5.2	Pontos de Alagamentos, Canalizações e Lagoas Aterradas.....	28
5.2.1	Praças .....	29
5.2.2	Construção de Microreservatórios .....	31
5.2.3	Construção de Bacias de Detenção .....	34
5.2.4	Construção de Bacias de Infiltração.....	39
5.2.5	Construção de Canais.....	40
5.2.6	Construção de Poços .....	43
5.3	Corredores de transporte.....	44
5.3.1	Valas.....	44
5.3.2	Trincheiras .....	45
5.3.3	Pavimento Permeável.....	46
5.4	Bacias de Vizinhança.....	48
6	DIRETRIZ PRELIMINAR DE LOCALIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES ORIENTADO PELO PLANO MESTRE FORTALEZA 2040 .....	50
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
ANEXO A – PROPOSTA PARA DECRETO .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

A cidade de Fortaleza hoje sofre com graves problemas acarretados pelas inundações que ocorrem nos períodos chuvosos, causadas não somente pela intensidade das chuvas, mas, principalmente, pela ineficiência ou inexistência de um sistema de drenagem que transporte as vazões geradas no escoamento superficial.

A ocupação das áreas da cidade de Fortaleza, assim como na maioria dos grandes centros urbanos, ocorreu de forma desordenada e sem que existisse planejamento, com isto, as margens dos rios foram ocupadas, os cursos naturais dos rios e riachos foram sendo alterados e, algumas lagoas foram aterradas. Tantas mudanças no escoamento natural das águas de chuva intensificam a magnitude dos picos de cheias e aumentam a velocidade de escoamento.

As infraestruturas de macro e micro drenagem da cidade foram e ainda são, em sua maior parte, desenvolvidas segundo a concepção clássica dos sistemas de drenagem urbana, com base nos preceitos higienistas, que segundo Baptista et. al (2005) preconizam a evacuação rápida das águas pluviais, por meio da utilização de condutos, preferencialmente subterrâneos, funcionando por gravidade. Porém, ao se retirar das áreas urbanizadas as águas de drenagem pluvial o mais rapidamente possível, transferem-se para jusante os problemas de inundações. Dentre as outras falhas da concepção clássica podem ser citadas (BAPTISTA et. al, 2005):

- Novas áreas urbanizadas têm tendência a provocar inundações mais frequentes em áreas de urbanização mais antigas;
- Com isto, novas obras devem ser realizadas a jusante, gerando mais custos;
- A canalização dos cursos de água gera na população uma falsa ideia de segurança quanto a inundações, o que gera ocupação de áreas ribeirinhas, principalmente pela população de baixa renda;
- Em geral, as soluções clássicas não contemplam problemas de qualidade de água;
- As soluções clássicas conduzem, muitas vezes, a situações irreversíveis que limitam os outros usos presentes ou futuros da água em meio urbano, como por exemplo, a construção de galerias impossibilita o uso dos cursos d'água para lazer.

Outra abordagem para solução dos problemas de drenagem urbana foi sendo desenvolvida a partir de 1970, principalmente na Europa e na América do Norte, que são os *sistemas compensatórios ou alternativos* de drenagem urbana e se opõem ao conceito de evacuação rápida das águas pluviais, baseiam-se na infiltração e retenção das águas precipitadas, acarretando uma diminuição no volume de escoamento superficial, bem como o rearranjo temporal das vazões (BAPTISTA et. al, 2005; MOURA, 2004).

Quando os sistemas compensatórios são adequadamente concebidos, eles podem exercer um importante papel na melhoria da qualidade das águas pluviais. Estes sistemas podem assumir múltiplas formas, podendo ser utilizados em diferentes escalas, desde pequenas parcelas, até o projeto de sistemas de drenagem para cidades inteiras, podem também ser facilmente integrados ao meio ambiente, permitindo usos diversos pela população, como por exemplo: áreas de estacionamento, áreas para a prática de esportes, áreas de parques ou de lazer inundáveis (MOURA, 2004).

O planejamento de curto, médio e longo prazo da cidade de Fortaleza deve contemplar estratégias para o sistema de drenagem que visem neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para qualidade de vida e a preservação ambiental. Para isto todos os projetos de infraestrutura e mobilidade urbanas devem ser pensados em conjunto com as soluções para os problemas de drenagem urbana, visando principalmente a utilização de técnicas compensatórias.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é apresentar recomendações para a gestão de águas de chuvas do município de Fortaleza com base nas propostas urbanísticas e de mobilidade do Plano Fortaleza 2040.

Especificamente pretende-se:

- ✓ Apresentar as principais técnicas compensatórias em drenagem urbana;
- ✓ Apresentar recomendações para macro e micro drenagem, técnicas compensatórias e aproveitamento de águas de chuva para a cidade de Fortaleza;
- ✓ Apresentar soluções com base nas propostas urbanísticas e de mobilidade do Plano Fortaleza 2040;

## 2 EVOLUÇÃO DA DRENAGEM URBANA

O desenvolvimento das cidades sempre esteve profundamente ligado aos cursos d'água. Desde as primeiras aglomerações, a sociedade era formada por pequenos núcleos e sua localização era preferencialmente junto aos cursos d'água, pois a disponibilidade hídrica favorecia o suprimento para consumo e higiene da população (TUCCI, 2007; BAPTISTA et. al, 2005).

Ao longo dos anos houve diferentes formas de se tratar as águas urbanas (Tabela 1). Até o século XX, o principal desafio nas cidades era evitar a proliferação de doenças, pois, os efluentes da própria população contaminavam suas fontes de abastecimento de água, criando condições ideais de proliferação de doenças infecciosas. Ainda no século XIX houve um grande aumento das aglomerações urbanas, sem o incremento necessário em infraestrutura de controle da presença de água nas cidades (pluviais e servidas). Como consequência ocorreu grandes epidemias de cólera e tifo na Europa. Nesta mesma época houve desenvolvimento da microbiologia e epidemiologia, onde foi evidenciado o papel sanitário das águas pluviais na transmissão de diversas doenças (TUCCI, 2007; BAPTISTA et. al, 2005).

A partir do século XX estes aspectos sanitários foram potencializados, decorrentes do movimento higienista surgido na Europa ainda no século XIX, que preconizava como medida de saúde pública a eliminação sistemática das águas paradas ou empoçadas nas cidades e dos dejetos domésticos. O conceito de evacuação rápida para longe surge nesta época, onde foram desenvolvidos dispositivos de canalização subterrânea das águas urbanas e estabelecidas as primeiras relações quantitativas entre a precipitação e escoamento para dimensionamento das obras (SILVEIRA, 1998).

Na fase higienista conseguiu-se o abastecimento de água de fontes seguras e a coleta de esgoto, sendo o despejo realizado a jusante (sem tratamento) do manancial da cidade, evitando as doenças e os seus efeitos, mas acabaram simplesmente transferindo os impactos para jusante (TUCCI, 2007).

Em 1970 inicia-se a fase corretiva das águas urbanas com a aprovação do “Clean Water Act” (Lei de água limpa) nos Estados Unidos. Nesta legislação definiu-se que todos os efluentes deveriam ser tratados com a melhor tecnologia disponível para recuperação e conservação dos rios. Realizaram-se grandes investimentos em tratamento de esgoto, recuperando em parte a qualidade da água dos sistemas. Com isto, conseguiu-se melhorar as condições ambientais, evitar a proliferação de doenças e a deterioração de fontes de

abastecimento. Nesta época, verificou-se ainda que era insustentável continuar a construção de obras de drenagem que aumentassem o escoamento, como a canalização de rios naturais. Foram revisados os procedimentos que eram adotados e utilizados sistemas de amortecimento em detrimento de canalização (TUCCI, 2007).

Desde os anos 1990, os países de Europa e América do Norte têm investido no desenvolvimento de uma política de desenvolvimento sustentável urbano baseado no tratamento das águas pluviais, conservação do escoamento pluvial e tratamento dos efluentes em nível terciário (retirada de nitrogênio e fósforo). A base do desenvolvimento sustentável é a implementação da urbanização, preservando os caminhos naturais do escoamento e priorizando a infiltração (TUCCI, 2007).

Tabela 1 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas

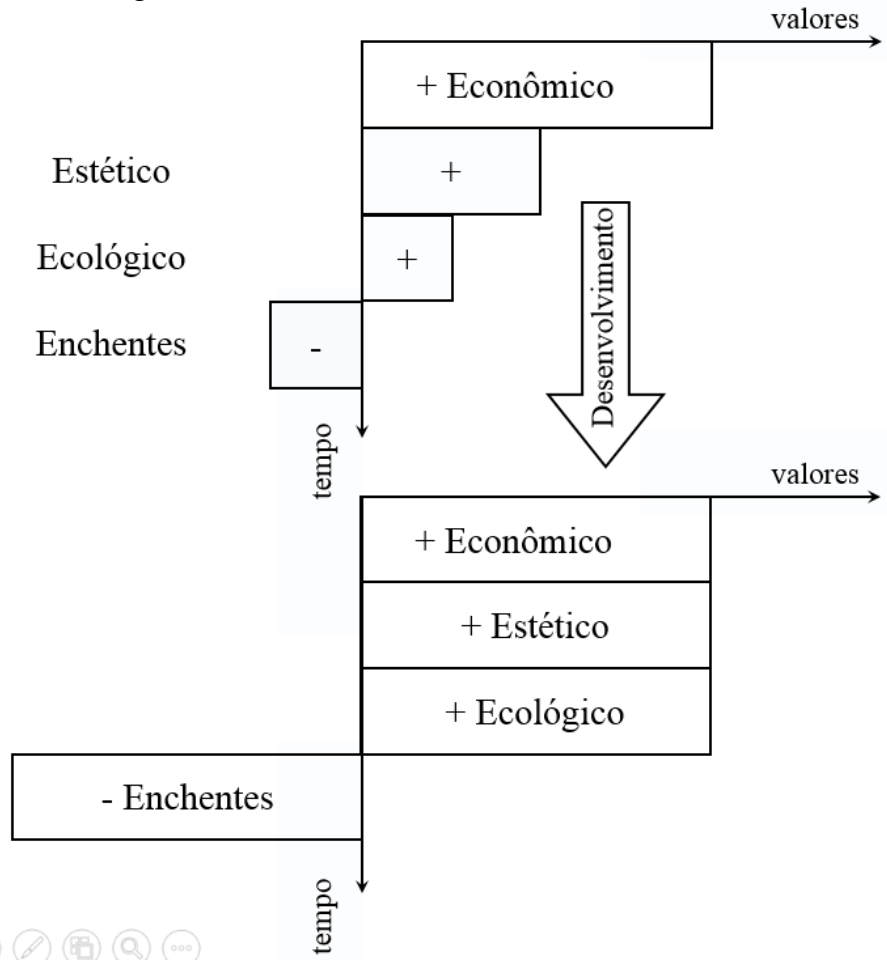
<b>Fase</b>	<b>Características</b>	<b>Consequências</b>
Pré-higienista: até início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: antes de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Fonte: Tucci, 2007

Na Figura 1 mostra-se que há uma mudança de importância nos vários projetos de recursos hídricos urbanos em função do nível de desenvolvimento. Em níveis mais baixos de desenvolvimento a prioridade é dada ao abastecimento doméstico. Outros elementos como drenagem urbana e estético, ou mesmo aspectos ambientais apresentam baixo nível de prioridade. As cheias urbanas, em função do baixo nível de desenvolvimento causam menores danos. Quando o país ou a região alcançam um nível econômico e social todos os aspectos passam a ter grande importância (BRAGA, 1998).



Figura 1- O valor dos recursos hídricos em áreas urbanas



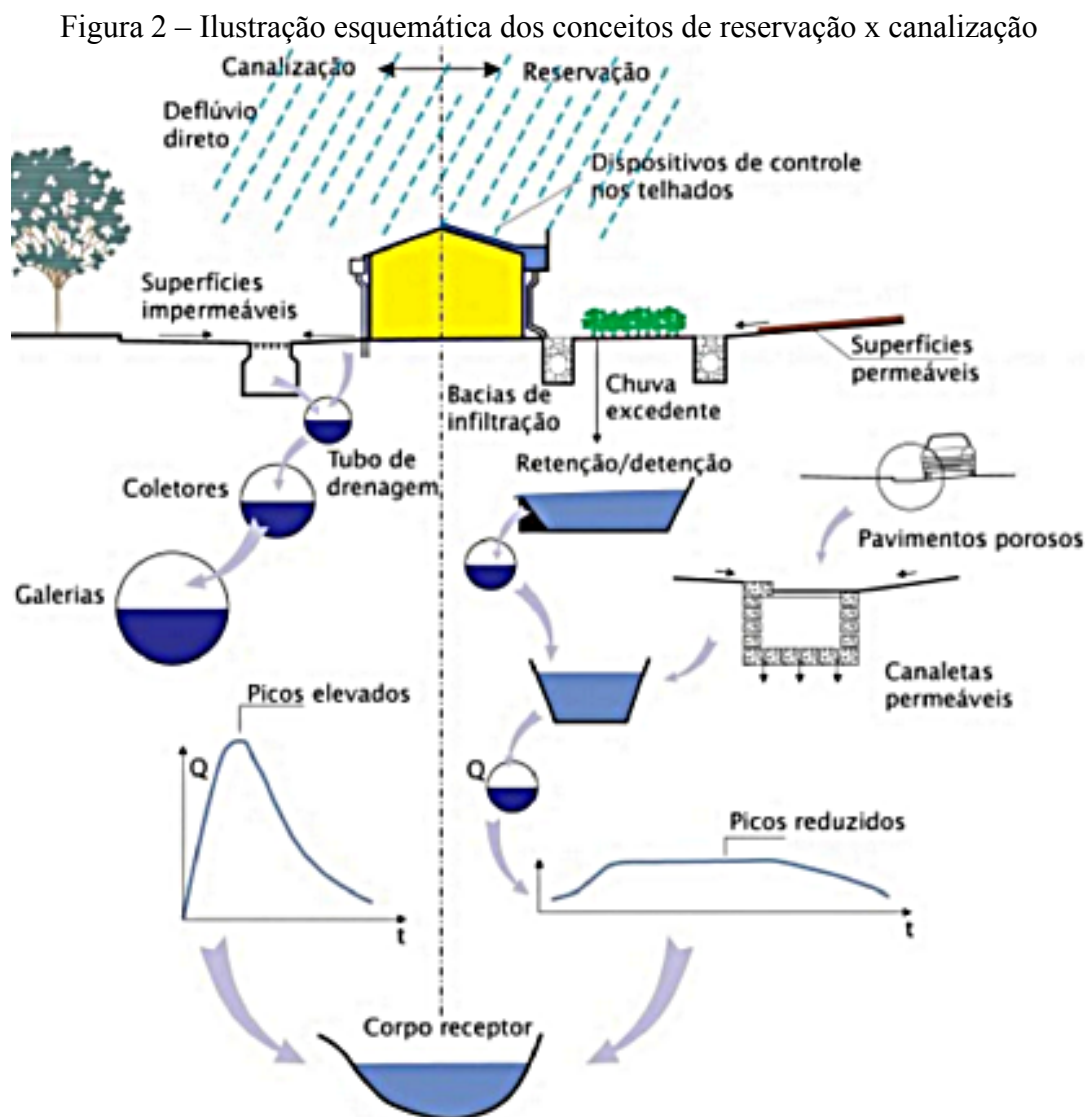
Fonte: UNESCO, 1992 *apud* Braga, 1998

No Brasil, o crescimento da população nos últimos anos trouxe uma conseqüente demanda por obras de infraestrutura, cujo elevado custo dificultou sua implementação, segundo Braga (1998), este elevado custo de infraestrutura na área de drenagem urbana se deveu a utilização de um enfoque na mitigação dos impactos ao invés de atuar nas causas dos problemas de inundação.

Segundo Silveira (1998), a visão exclusivamente mecanicista da circulação das águas e esgotos no espaço urbano não é mais admissível no mundo moderno que deseja um saneamento com maior respeito pelo meio ambiente. Porém, conforme descrito por Tucci (2007), o Brasil infelizmente está ainda na fase higienista em razão de falta de tratamento de esgoto, transferência de inundação na drenagem e falta de controle dos resíduos sólidos.

### 3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA

As técnicas compensatórias são focadas em ações na contenção da água na própria bacia adotando medidas globais e localizadas de forma combinada e complementar. Na Figura 2 é apresentada uma ilustração dos principais dispositivos empregados seguindo as técnicas de drenagem compensatória, e os seus efeitos na redução de picos de deflúvio, comparadas a concepção clássica, ou higienista, que envolve somente obras de canalização. Na Tabela 2 são mostradas as principais características de cada um dos conceitos de drenagem, observa-se que aplicabilidade para grandes centros urbanos de medidas convencionais é difícil implementação. Outro aspecto importante é a manutenção, como as galerias são de difícil acesso a manutenção torna-se difícil e acaba sendo realizada com pouquíssima frequência.



Fonte: Canholi, 2005

Tabela 2 – Características dos projetos de reservação x canalização

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

Fonte: Canholi, 2005

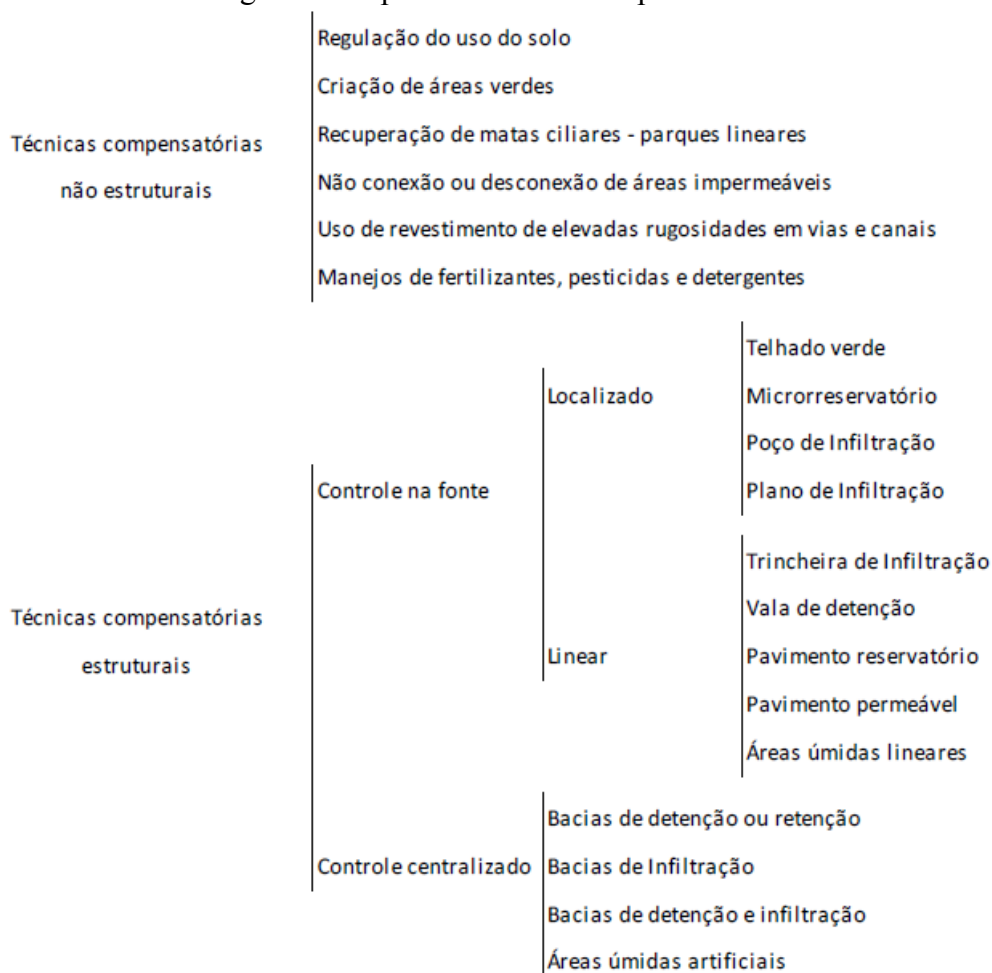
A utilização de técnicas compensatórias de drenagem diferencia-se do uso das redes de drenagem pela necessidade absoluta de se tratar da questão das águas pluviais e de seu manejo ao mesmo tempo em que se elabora o projeto de ordenamento urbano (BAPTISTA et. al, 2005). Desta forma, existe a necessidade de uma abordagem integrada.

A abordagem integrada vincula a prevenção dos riscos (inundação, saúde pública, poluição, etc) ao projeto de ordenamento territorial. Devendo haver uma interação entre *o projeto urbanístico da cidade* e a gestão de águas pluviais, potencializando os aspectos que podem levar a valorização de soluções que atendem simultaneamente aos objetivos do empreendimento urbanístico e os de adequado tratamento das águas pluviais, e respeitando impostas por cada um dos lados (BAPTISTA et. al, 2005).

Segundo Baptista et. al (2005) os exemplos bem sucedidos de implantação de soluções compensatórias têm em comum o fato de que a questão das águas pluviais foi considerada de forma simultânea ao projeto de urbanização.

Existe uma grande diversidade de técnicas compensatórias, conforme apresentado na Figura 3. As técnicas de controle de enchentes, que podem ser agrupadas em estruturais e não-estruturais, apesar de conceitualmente diferentes, dificilmente estão dissociadas, devendo, dentro da visão de conjunto de toda a bacia, ser compatibilizadas com o esperado desenvolvimento urbano (TUCCI, 2002). Segundo Canholi (2005), em um planejamento consistente de ações de melhoria e controle dos sistemas de drenagem urbana, deve ser prevista uma combinação adequada de recursos humanos e materiais, e um balanceamento harmonioso entre medidas estruturais e não estruturais.

Figura 3 – Tipos de técnicas compensatórias



Fonte: Baptista et. al (2005)

### **3.1 Medidas não estruturais**

As medidas não estruturais são aquelas em que se procura diminuir os danos e/ou as consequências das inundações, que não sejam por meio de obras, através da melhor convivência da população com as cheias por meio da introdução de normas, regulamentos e programas. Podem ser citados manuais de drenagem de águas superficiais urbanas, zoneamento de áreas de inundação, disciplinamento do uso e ocupação do solo, previsão e alerta de inundação, seguros contra inundação, conscientização da população para manutenção dos dispositivos de drenagem, educação ambiental, dentre outros (CANHOLI, 2005; TUCCI, 2001a).

Através da delimitação das áreas sujeitas a inundações em função do risco, é possível realizar um zoneamento e respectiva regulamentação para a construção, ou obras de proteção individual (instalação de comportas, portas-estanches, etc) para serem incluídas em construções existentes. Pode-se ainda destinar áreas da cidade para construção de praças, parques, etc (CANHOLI, 2005).

Os seguros contra inundação permitem a obtenção de uma proteção/compensação econômica para as perdas decorrentes das cheias aos proprietários de imóveis localizados em áreas de várzea, que podem ser calculados a partir da determinação dos riscos associados às cheias.

Os sistemas de previsão e alerta funcionam através de obtenção de dados em tempo real, e de transmissão a um centro de análise, que acione agentes individuais e/ou coletivos em caso de enchentes, a fim de minimizar as perdas. Segundo Canholi (2005), estes sistemas visam evitar o fator surpresa, que muitas vezes provoca vítimas fatais grandes prejuízos pelo alagamento de vias, aprisionamento de veículos, inundações de edificações e de equipamentos.

As ações para regulamentação do uso e ocupação do solo tem como objetivo a prevenção contra fatores de ampliação dos deflúvios, representados pela impermeabilização intensiva da bacia de drenagem e pela ocupação das áreas ribeirinhas inundáveis, estes fatores acabam sobrecarregando a capacidade natural de armazenamento e escoamento da calha dos rios (CANHOLI, 2005).

### **3.2 Medidas estruturais**

As medidas estruturais compreendem as obras de engenharia, são medidas que modificam o sistema de drenagem, evitando os prejuízos decorrentes das inundações,

podendo estar relacionadas à infiltração e percolação das águas, ao armazenamento e ao aumento da eficiência do escoamento (TUCCI e GENZ, 1995).

Em relação as medidas estruturais têm-se:

a) Valas de Infiltração

São dispositivos de drenagem lateral, com ou sem dispositivo de percolação, em geral utilizados em ruas e estacionamentos, que permitem aumentar a recarga do lençol freático e reduzir o escoamento superficial (MARQUES, 2006). A Figura 4 mostra exemplos de valas de infiltração.

Figura 4 – Exemplos de valas de infiltração



Fonte: Canholi, 2005

### b) Poços de Infiltração

Os poços de infiltração (Figura 5) são utilizados para drenar áreas de alguns milhares de metros quadrados, podendo ser implementados em regiões de solo pouco permeável nas camadas mais superficiais e de grande permeabilidade nas camadas mais profundas, podendo ser associados a trincheiras de retenção ou valetas (AZZOUT, 1994 *apud* SOUZA, 2002). Apresenta baixo custo de implantação, boa integração com o meio urbano, sem grandes restrições relacionadas à topografia. Necessita de manutenção regular, já que as superfícies de infiltração podem colmatar ao longo do tempo (CASTRO, 2002).

Figura 5– Poço de Infiltração

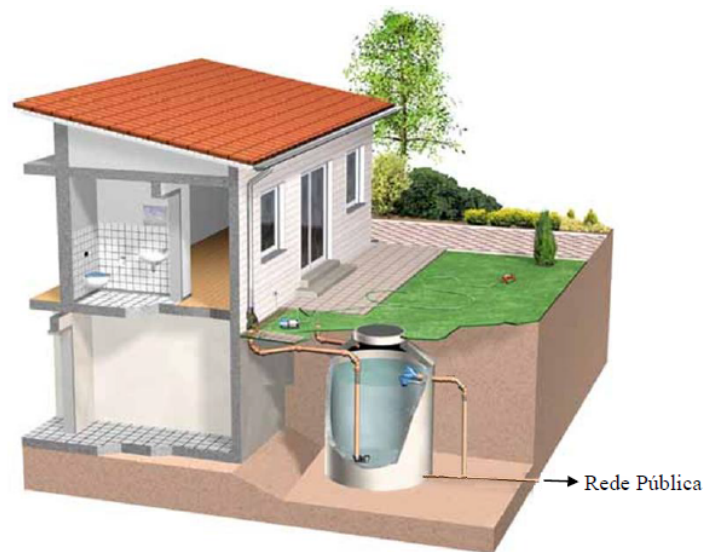


Fonte: Lucas et. al, 2015

### c) Microreservatórios de lote

São dispositivos que proporcionam o recolhimento das águas de escoamento superficial, culminando em um amortecimento das vazões ao longo do tempo. O custo de manutenção, segundo Moura (2004), envolve limpeza semestral e recuperação eventual das alvenarias, e a vida útil estimada por este autor para a estrutura é de 30 anos. Na Figura 6 é apresentado um esquema do funcionamento dos microreservatórios.

Figura 6 - Croqui do funcionamento do sistema de drenagem residencial com microreservatório enterrado



Fonte: Drumond, 2012

d) Pavimentos permeáveis

Dispositivos hidráulicos que permitem a redução do escoamento em passeios, estacionamentos, quadras de esporte e vias com tráfego pouco intenso. Promove redução das vazões de pico, e redução dos diâmetros das tubulações a jusante, mas apresenta risco de poluição do aquífero subjacente, necessitando também de manutenção regular, já que as superfícies de infiltração podem colmatar ao longo do tempo (CASTRO, 2002). Na Figura 7 apresenta-se locais onde foi implementado este tipo de solução.

Figura 7 – Pavimento permeável



Fonte: Canholi, 2005

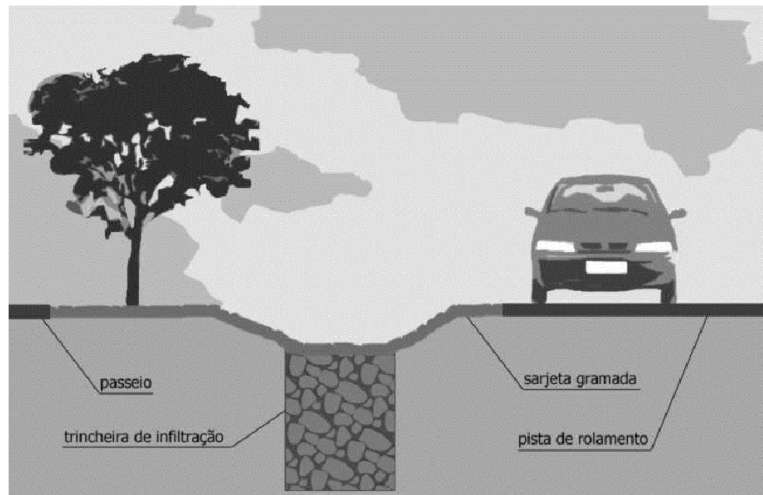


e) Trincheiras de Infiltração

São medidas de controle local de drenagem, cujo princípio de funcionamento é o armazenamento temporário das águas até que a infiltração completa das mesmas no solo se processe (SOUZA, 1999 *apud* MARQUES, 2006). Tecnicamente, as trincheiras são valetas preenchidas por material granular com porosidade alta, e revestidas por geotêxtil.

As trincheiras de infiltração (Figura 8) são de execução simples, aceitando diversos tipos de material granular, reduzem as vazões de pico, escoadas a jusante, mas exigem manutenção frequente, em razão da possibilidade de colmatção e são de monitoramento difícil quanto ao desempenho e ao funcionamento (CASTRO, 2002).

Figura 8 - Esquema indicativo da utilização das trincheiras de infiltração.



f) Bacias de Detenção

São obras de drenagem urbana com a finalidade de estocar temporariamente (ou infiltrar) as águas de chuva, para reduzir os volumes de escoamento (MARQUES, 2006). Podem ser divididas em: (i) Bacias de retenção (para reservação temporária da água); (ii) Bacias de infiltração (para infiltração de toda a água nelas recolhida – volume de escoamento a jusante nulo); e (iii) Bacias de retenção e infiltração (combinação das características das anteriores, que proporcionam um rearranjo temporal das vazões e uma redução no volume de escoamento).

As bacias de detenção têm um efeito paisagístico interessante para áreas urbanas, permitem a decantação do particulado sólido em suspensão, e os volumes de água nelas acumulado pode ser usado para irrigação ou para reserva de incêndio. Demandam, no

entanto, grandes áreas para sua implantação, e têm o risco de proliferação de insetos e das afecções a eles associadas na área de implantação da bacia.

A Figura 9 mostra uma bacia de retenção aberta, com equipamentos públicos, localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Figura 9 - Bacia de retenção aberta com equipamentos públicos em Belo Horizonte-MG



Fonte: Souza (2002)

g) Telhados armazenadores

Armazenam provisoriamente as águas de chuva que caem sobre os telhados, limitando os volumes de água escoados através de dispositivos de regulação de vazão, recomendados para telhados com declividade entre 0 e 5% (AZZOUT *et al.*, 1994 *apud* MARQUES, 2006). Este tipo de medida não exige investimento muito alto, tem boa integração com o meio urbano, mas é de difícil aplicação no país, em razão do fato de a maioria dos telhados ter grande declividade e de problemas com a estanqueidade e a capacidade das estruturas dos próprios telhados de suportarem esta carga extra.

h) Canalização

Medida estrutural intensiva para aumentar a eficiência de escoamento, aumentando a seção do rio, diminuindo a rugosidade e aumentando a declividade do fundo (TUCCI e GENZ, 1995). Podem, no entanto, ser negativamente afetados pela presença de resíduos sólidos, e apresentam restrições financeiras para a utilização em regiões de grande declividade (CASTRO, 2002).

Cada técnica de drenagem compensatória tem funções e efeitos diferentes, conforme apresentado na Tabela 3. A escolha será feita com base nos efeitos desejados e nas restrições à implantação e operação de técnicas, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 3 – Funções e Efeitos das Principais Medidas Compensatórias

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

Fonte: Restrepo, 2010

Tabela 4 – Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas

Técnica	Restrições à implantação e operação das técnicas					
	Permeabilidade do solo	Declividade	Proximidade ao lençol	Proximidade ao leito rochoso	Restrições ao uso do solo	Aporte de sólidos
Bacia de detenção	+	+	+	++	+++	++
Bacia de infiltração	+++	+	+++	+++	+++	+++
Valas e valetas de detenção	+	++	+	++	++	++
Valas e valetas de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+++
Pavimentos porosos	++	+++	++	+	+	+++
Revestimentos permeáveis	++	+++	++	+	+	+++
Trincheiras de detenção	+	++	++	++	++	+
Trincheiras de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+
Poços de infiltração	+++	+	+++	+++	+	+
Telhados armazenadores	+	+	+	+	+	+
Reservatórios individuais	+	+	++	++	+	+

Legenda: +++: grande importância, ++: média importância, +: importância pequena ou nula

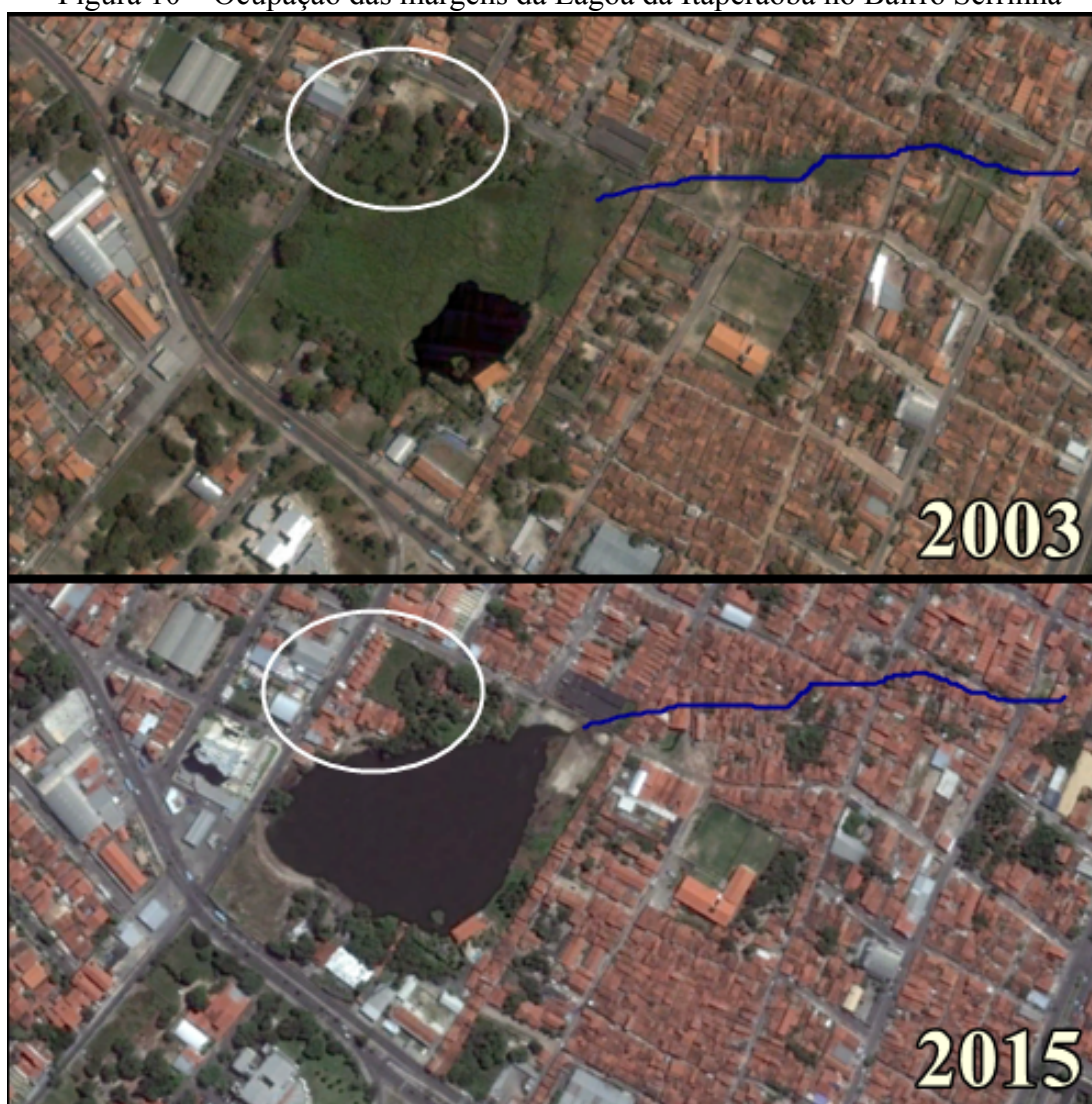
Fonte: Baptista et. al, 2005

#### 4 ANÁLISE DO SISTEMA ATUAL DRENAGEM URBANA EM FORTALEZA

A cidade de Fortaleza, fundada em 13 de abril de 1726, desenvolveu-se as margens do Rio Pajeú, ao longo dos anos houve um crescimento acelerado e em sua grande parte de forma desordenada, intensificando os problemas acarretados pelas águas pluviais.

Ao realizar-se uma análise através do Google Earth, verificando-se os últimos doze anos, pode-se observar a intensificação de ocupações em áreas de risco a inundação em alguns pontos da cidade (Figura 10 e Figura 11). Boa parte das famílias que ocupam estes espaços possuem um baixo poder aquisitivo, sujeitando-se a morar nessas áreas.

Figura 10 – Ocupação das margens da Lagoa da Itaperaóba no Bairro Serrinha



Fonte: Adaptado do Google Earth

Na Figura 10 observa-se que foram construídas casas às margens da Lagoa da Itaperóba, que fica localizada no Bairro Serrinha, é possível observar também que o sangradouro da lagoa e a área do riacho, que fica a jusante da lagoa, foi ocupada por edificações. O mesmo ocorre nas margens de um riacho no Bairro Cajazeiras, apresentado na Figura 11.

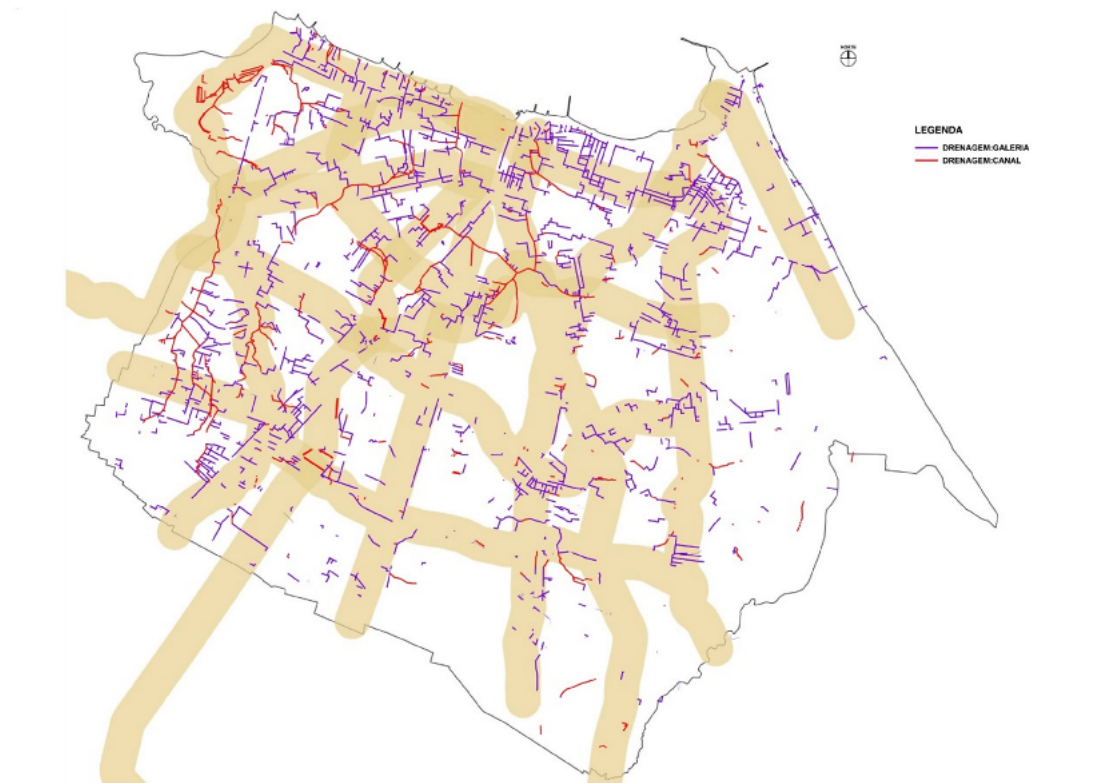
Figura 11– Ocupação das margens de um riacho no Bairro Cajazeiras próximo ao Castelão



Fonte: Adaptado do Google Earth

Assim como na maior parte do Brasil, conforme citado anteriormente, as soluções adotadas para mitigar os problemas das águas pluviais seguem ainda os preceitos higienistas, com construção de galerias, retificações de canais, transferindo os problemas para jusante. Na Figura 12 apresentam-se as áreas da cidade de Fortaleza que possuem galerias e canais para drenagem das águas pluviais.

Figura 12 – Mapa da drenagem de Fortaleza



Fonte: Plano Mestre Fortaleza 2040 – Urbanismo e Mobilidade

As galerias de drenagem transportam não apenas as águas de chuva, mas, o lixo acumulado nas ruas, levando a poluição dos corpos d'água. Além disto, muitas edificações lançam ilegalmente o esgoto nas galerias de drenagem, o fato ocorre principalmente em áreas desprovidas de sistema de esgotamento sanitário, onde moradores chegam a deteriorar as infraestruturas para introduzir no sistema seus despejos sanitários sem qualquer tratamento. Boa parte da poluição nas praias de Fortaleza ocorre despejo de esgoto no mar, que algumas vezes, acaba sendo transportado nas infraestruturas de drenagem.

A Prefeitura Municipal de Fortaleza tem investido em projetos para drenagem urbana, como o DRENURB – Programa Municipal de Drenagem Urbana de Fortaleza,

onde vários bairros foram e estão sendo beneficiados com infraestruturas de drenagem, como as que estão apresentadas nas Figuras 13, 14 e 15, porém todas configuram-se como soluções dos sistemas clássicos de drenagem, sem que haja o emprego de qualquer técnica compensatória.

Outro aspecto importante é que a execução de galerias, muitas vezes, requer grandes intervenções, abertura de grandes valas, necessitando de intervenções no tráfego, podendo também haver problemas de interferência com concessionárias (fibra ótica, abastecimento de água, etc.), tornando a execução deste tipo de obra praticamente inviável em bairros como o Centro.

Figura 13 – Obra do Programa DRENURB



Fonte: DRENURB

Figura 14 – Obra do Programa DRENURB



Fonte: DRENURB



Figura 15 – Obra do Programa DRENURB



Fonte: DRENURB

## 5 SOLUÇÕES PARA DRENAGEM URBANA EM FORTALEZA

Neste momento onde está sendo estruturado o planejamento de longo prazo da cidade deve-se pensar em soluções de infraestruturas e instrumentos legais que contemplem técnicas compensatórias de drenagem urbana, através da delimitação de áreas para emprego destas técnicas, e principalmente, aproveitando as propostas urbanísticas e de mobilidade da cidade.

Foram levantadas diversas ações e medidas compensatórias de drenagem que podem ser integradas as propostas do Plano Fortaleza 2040, levando-se em consideração também o custo do emprego de todas essas técnicas.

Na Tabela 5 apresenta-se os tipos de ocupações e quais são as medidas que podem ser implementadas, visando a sustentabilidade e a integração entre as soluções e a utilização dos espaços.

Tabela 5 – Resumo: Ocupação x Ação/Medida

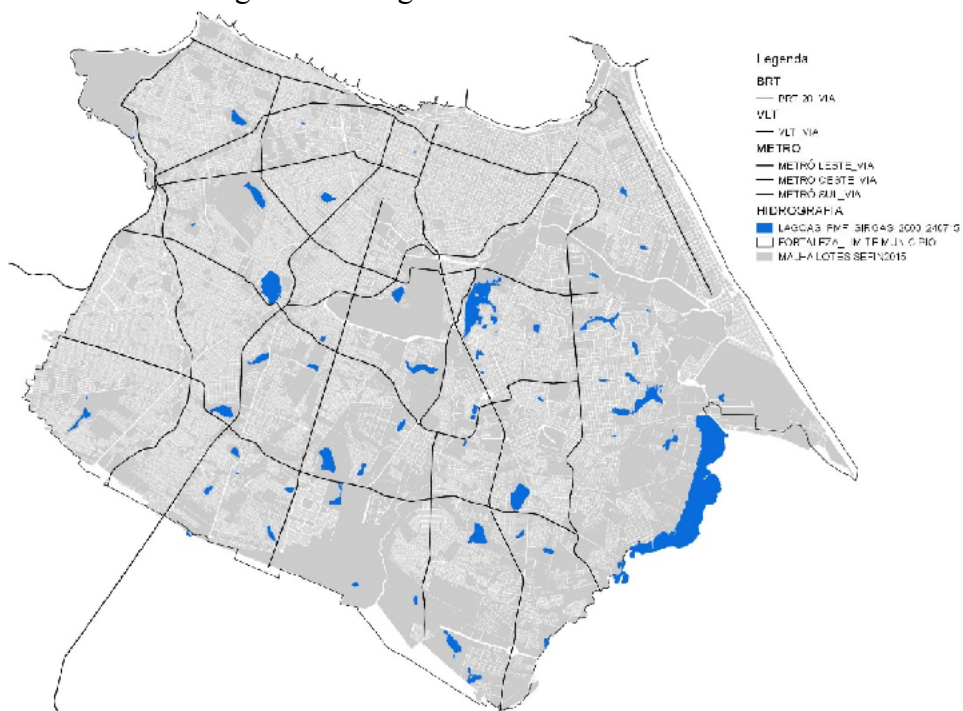
OCUPAÇÃO	AÇÃO/MEDIDA
Lagoas	Bacia de detenção/retenção
Rios/Riachos	Melhoria das condições de escoamento dos rios e riachos
Corredores de Transporte	Valas de infiltração e utilização de pavimentos permeáveis nos passeios
Bacias de Vizinhaça	Pavimento permeável
Praças	Bacia de detenção/retenção
Lotes de casas	Áreas de infiltração e reservatórios
Parques	Obras lineares de infiltração

### 5.1 Lagoas

As lagoas da cidade (Figura 16) podem ser utilizadas com bacias de detenção ou retenção, visando principalmente o amortecimento de cheias e a diminuição do volume de escoamento.

A Lagoa do São Gerardo (Figura 17) é faz parte da Obra do Canal do Alagadiço do DRENURB. Neste projeto a lagoa foi recuperada e funciona como uma bacia de amortecimento de cheias.

Figura 16 – Lagoas da cidade de Fortaleza



Fonte: Plano Mestre Fortaleza 2040 – Urbanismo e Mobilidade

Figura 17 – Vista da Lagoa do Alagadiço no Bairro São Gerardo

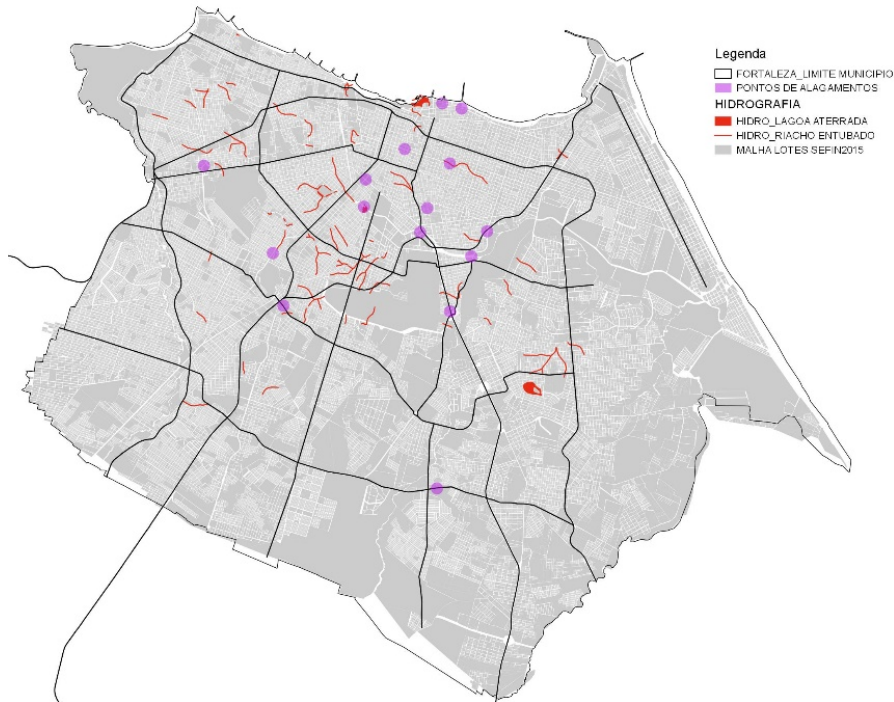


Fonte: <http://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/infraestrutura/prefeitura-de-fortaleza-entrega-obra-de-urbanizacao-de-lagoa-no-bairro-sao>

## 5.2 Pontos de Alagamentos, Canalizações e Lagoas Aterradas

Para os pontos de alagamento da cidade (Figura 18) podem ser utilizadas diferentes técnicas compensatórias, devendo-se analisar qual ou quais são as mais viáveis técnica e economicamente.

Figura 18 - Pontos de Alagamentos, Canalizações e Lagoas Aterradas



Fonte: Plano Mestre Fortaleza 2040 – Urbanismo e Mobilidade

### 5.2.1 Praças

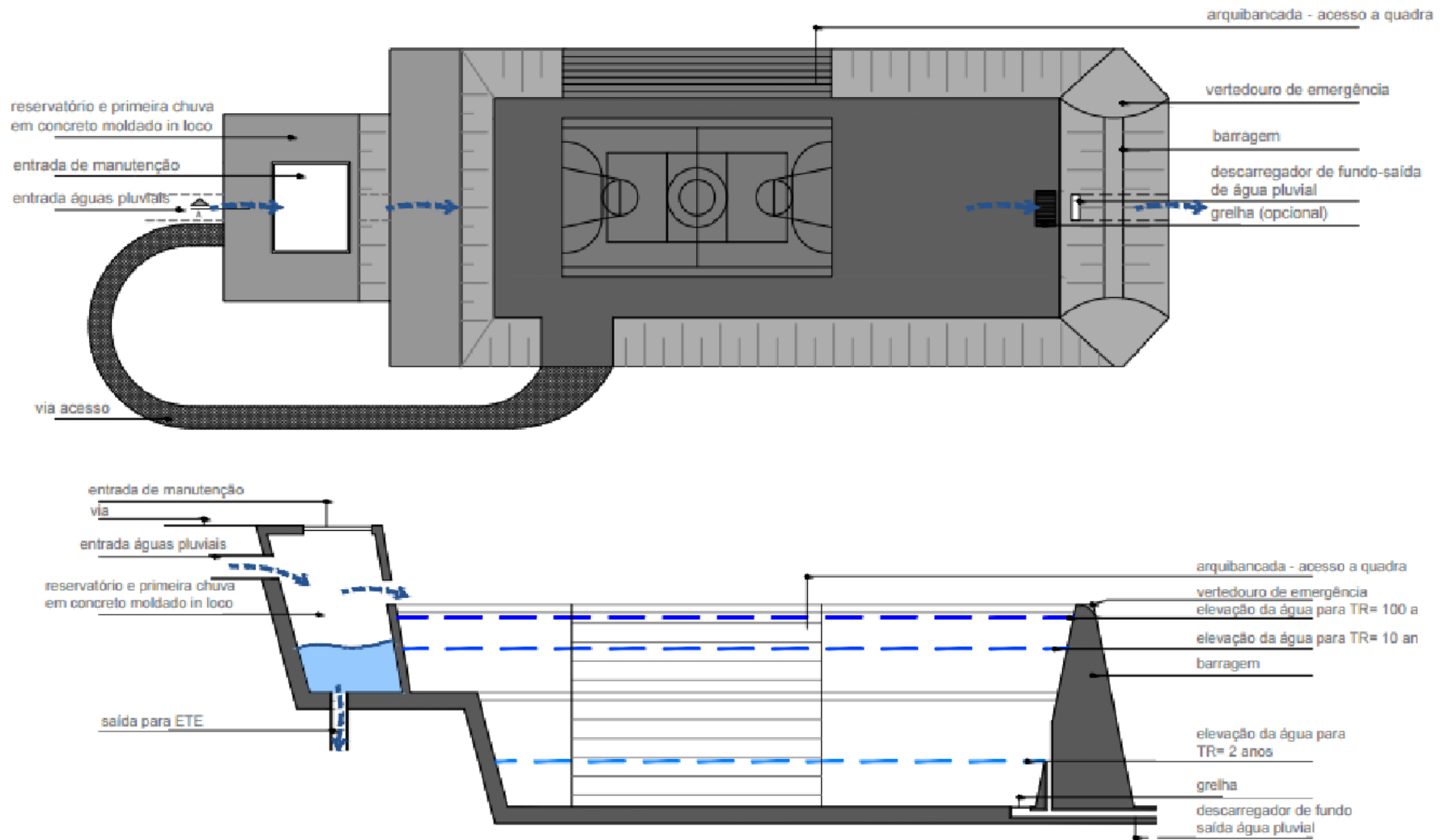
Uma das soluções pode ser a construção e/ou adaptação de praças para que funcionem como bacias de retenção (Figura 19). Na Figura 20 apresenta-se um projeto padrão que pode ser implementado quando se tem disponibilidade de espaço e que funciona harmoniosamente com o projeto urbanístico. Neste projeto existe até um reservatório para as primeiras chuvas, caso as águas que cheguem sejam muito poluídas.

Figura 19 - Pontos de Alagamentos, Canalizações e Lagoas



Fonte: [http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF\\_Reservatorios %20Deten\\_web.pdf](http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf)

Figura 20 – Exemplo de projeto de praça adaptada para funcionar como uma bacia de detenção



Fonte: [http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF\\_Reservatorios%20Deten\\_web.pdf](http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf)

## 5.2.2 Construção de Microreservatórios

A construção de microreservatórios pode ser uma solução individual para as edificações. Belo Horizonte, Guarulhos, São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Porto Alegre são exemplos de cidades que preveem em sua legislação a construção de reservatórios de retenção para novos empreendimentos, com o objetivo de ter dispositivos para compensar a perda da capacidade de armazenamento de terrenos com solos impermeabilizados.

Segundo Moura (2004), a 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.

Utilizando a equação de chuva de Fortaleza para um período de retorno de 2 anos, o tempo de concentração igual a 5 minutos e levando em conta que inicialmente a área impermeabilizada inicialmente seria nula, foi possível determinar os volumes de retenção dos microreservatórios para diferentes tamanhos lotes na cidade e para diferentes taxas de impermeabilização; objetivando compensar a perda da capacidade de armazenamento gerada pela impermeabilização do solo.

Analisando os resultados na Figura 21 e na Tabela 6 observa-se que a construção de reservatórios com capacidade entre 3 m<sup>3</sup> e 5 m<sup>3</sup> resolve boa parte dos problemas de escoamento gerados pela impermeabilização do solo.

Figura 21 – Volume do reservatório de retenção para lotes com diferentes graus de impermeabilização

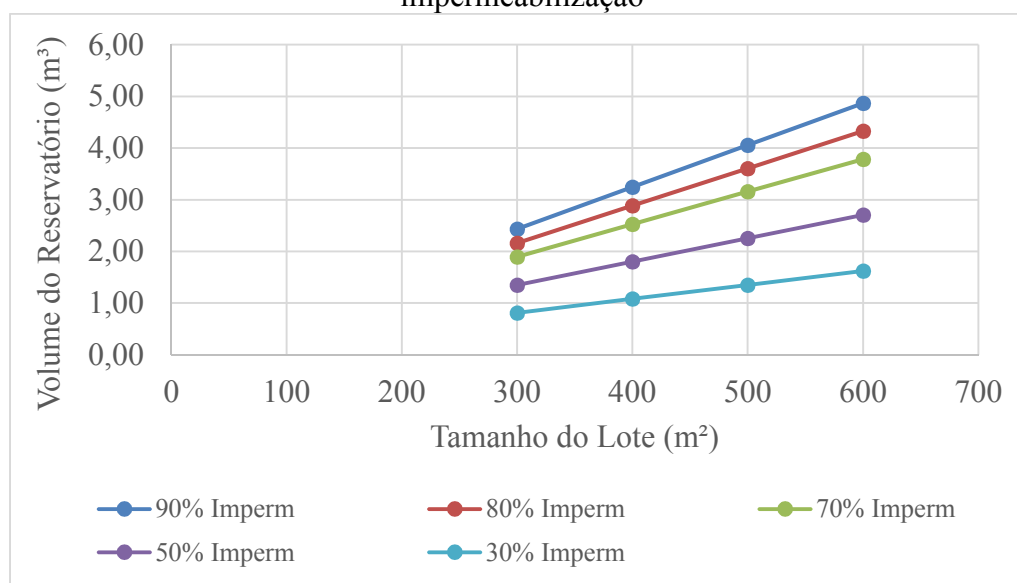
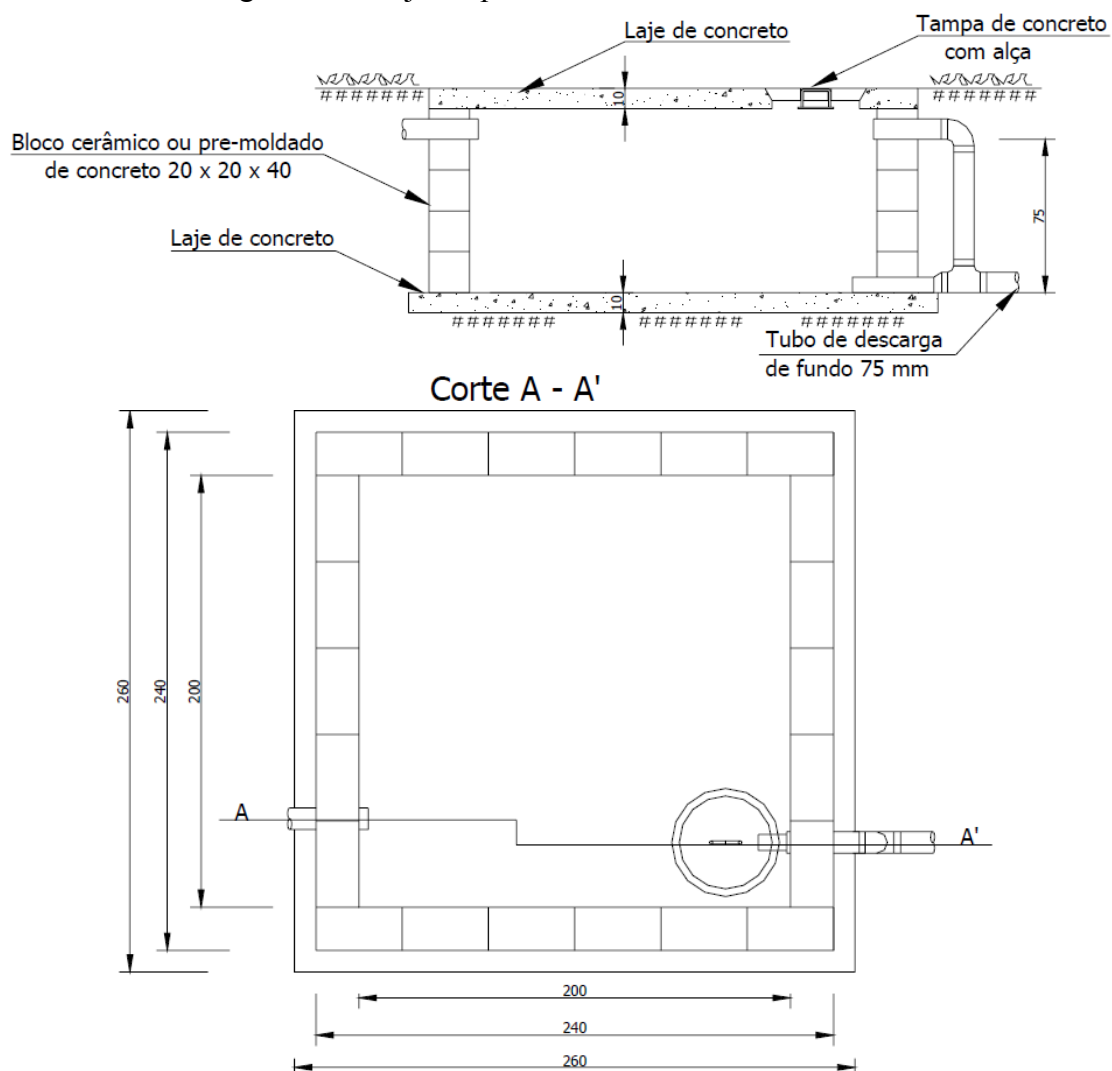


Tabela 6 - Volume do reservatório de retenção para lotes com diferentes graus de impermeabilização

Tamanho Lote (m <sup>2</sup> )	Volume reservatório (m <sup>3</sup> )				
	90% Imperm	80% Imperm	70% Imperm	50% Imperm	30% Imperm
300	2,43	2,16	1,89	1,35	0,81
400	3,25	2,89	2,52	1,80	1,08
500	4,06	3,61	3,16	2,25	1,35
600	4,87	4,33	3,79	2,71	1,62

Moura (2004) apresenta um modelo de microreservatório de lote em seu trabalho (Figura 22). Neste caso o reservatório apresenta uma capacidade de 3 m<sup>3</sup>, no mesmo trabalho são apresentados os quantitativos do projeto, o que possibilita estimar um orçamento.

Figura 22 - Projeto tipo de micro reservatório de lote



Fonte: Belo Horizonte (2000) apud Moura (2004)

Utilizando os quantitativos do trabalho de Moura (2004) e as composições de custo da Tabela SINAPE-CE com desoneração de Dezembro de 2015 e sem BDI foi feita a estimativa de custo do reservatório de 3 m<sup>3</sup> (Tabela 7), observa-se que seu custo de execução não é alto. Utilizando o mesmo trabalho e determinando os quantitativos foi possível determinar os custos para reservatórios de 4 m<sup>3</sup> (Tabela 8) e 5 m<sup>3</sup> (Tabela 9), neste caso foram alteradas somente as dimensões em planta, estes reservatórios também não apresentaram grandes valores para sua implementação.

Tabela 7 – Custo de execução de um reservatório com capacidade de 3 m<sup>3</sup>, com dimensões em planta de (2x2) m e 0,75 m de altura

<b>Tipo de serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Escavação manual	m <sup>3</sup>	31,05	6,76	209,90
Laje de fundo e cobertura	m <sup>2</sup>	56,48	12,52	707,13
Alvenaria	m <sup>2</sup>	58,24	8,8	512,51
Tubulação	m	34,14	1,2	40,97
<b>Total</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			<b>1.470,51</b>

Tabela 8 – Custo de execução de um reservatório com capacidade de 4 m<sup>3</sup>, com dimensões em planta de (2,3x2,3) m e 0,75 m de altura

<b>Tipo de serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Escavação manual	m <sup>3</sup>	31,05	8,41	261,13
Laje de fundo e cobertura	m <sup>2</sup>	56,48	15,7	886,74
Alvenaria	m <sup>2</sup>	58,24	10	582,40
Tubulação	m	34,14	1,2	40,97
<b>Total</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			<b>1.771,23</b>

Tabela 9 – Custo de execução de um reservatório com capacidade de 5 m<sup>3</sup>, com dimensões em planta de (2,6x2,6) m e 0,75 m de altura

<b>Tipo de serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Escavação manual	m <sup>3</sup>	31,05	10,24	317,95
Laje de fundo e cobertura	m <sup>2</sup>	56,48	19,24	1086,68
Alvenaria	m <sup>2</sup>	58,24	11,2	652,29
Tubulação	m	34,14	1,2	40,97
<b>Total</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			<b>2.097,88</b>

Com base nos levantamentos realizados foi possível determinar equações de custo de execução do reservatório em função do m<sup>3</sup> (Figura 23 e Figura 24). Com estas equações é possível estimar o custo de execução de reservatórios com capacidades diferentes das que foram apresentadas.



Figura 23 – Equação de custo da execução de um microreservatório de lote para a cidade de Fortaleza

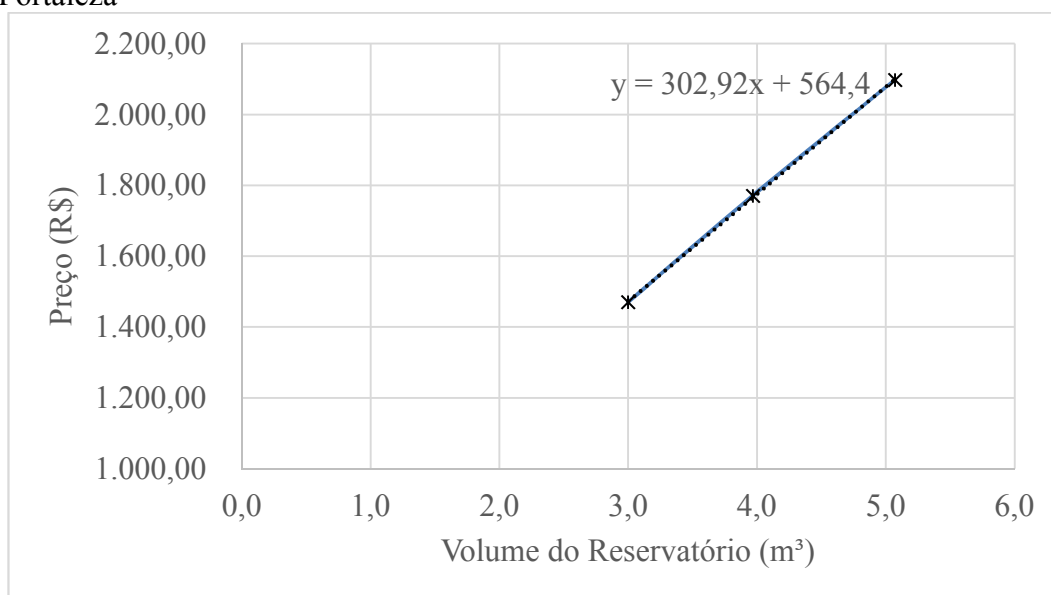
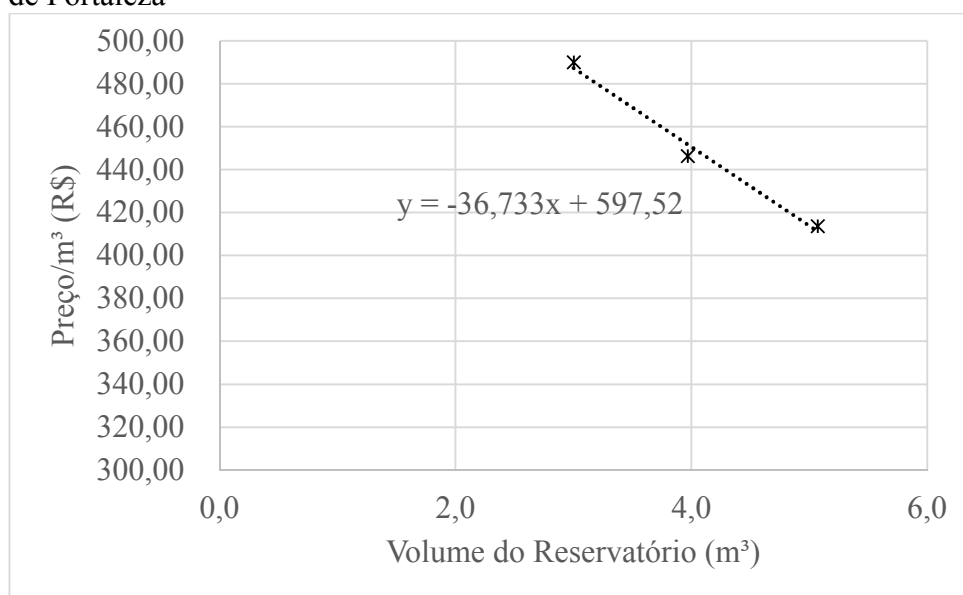


Figura 24 – Equação de custo por m³ da execução de um microreservatório de lote para a cidade de Fortaleza



### 5.2.3 Construção de Bacias de Detenção

Serão apresentadas três tipos de bacias de detenção e seus respectivos custos de implementação por m³, utilizando os quantitativos do trabalho de Moura (2004) e as composições de custo da Tabela SINAPE-CE com desoneração e sem BDI de Dezembro de 2015, são elas:

- Bacias de retenção abertas gramadas (Figura 25): Segundo Moura (2004), este tipo de bacia é implantado a partir de escavação ou aproveitando a topografia natural do terreno. Tais bacias possuem uma boa inserção ambiental, podendo ser utilizadas para outras funções. Na Tabela 10 apresenta-se o custo de implementação do projeto por m<sup>3</sup> e na Figura 26 o projeto tipo de uma bacia de retenção gramada.

Figura 25 - Fotografia de bacia de retenção gramada

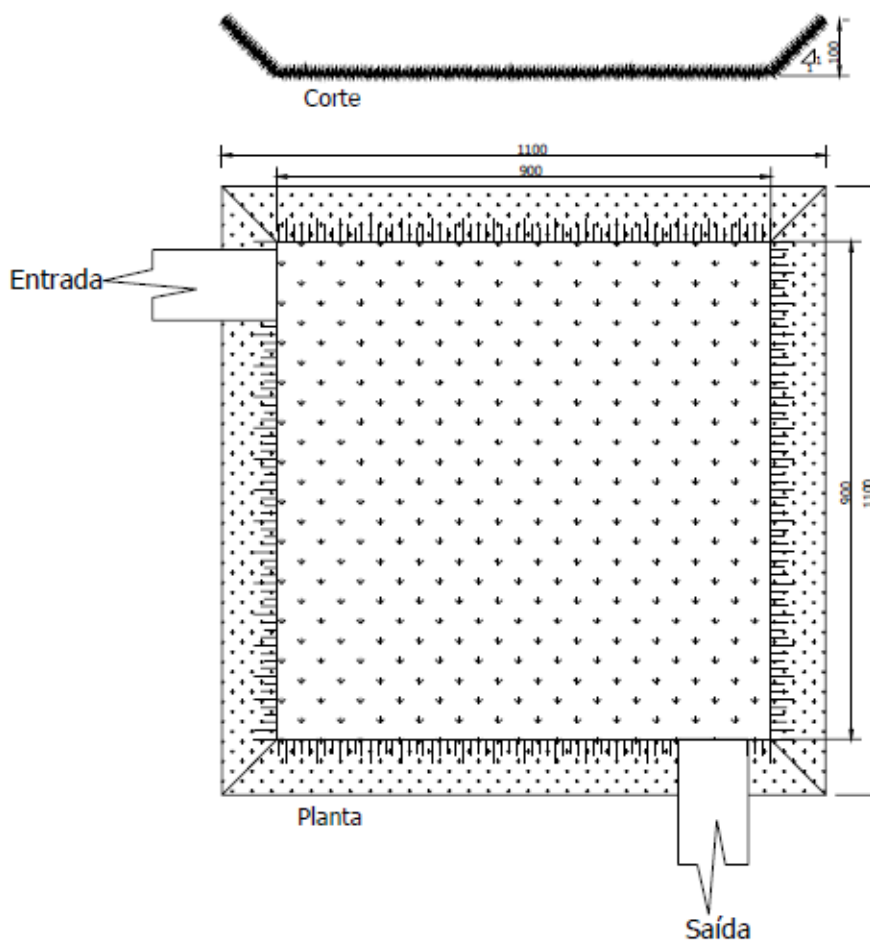


Fonte: Moura, 2004

Tabela 10 – Custo de implantação de uma bacia aberta gramada por m<sup>3</sup>

<b>Tipo de serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Desmatamento	m <sup>2</sup>	0,38	1	0,38
Escavação mecânica	m <sup>3</sup>	2,5	1,2	3,00
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	15,6	19,34
Compactação	m <sup>2</sup>	4,05	1	4,05
Impermeabilização	m <sup>2</sup>	28,24	1,4	39,54
Gramma	m <sup>2</sup>	11,07	1,2	13,28
<b>Total</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			<b>79,59</b>

Figura 26 - Projeto-tipo de bacia de detenção aberta gramada



Fonte: Moura, 2004

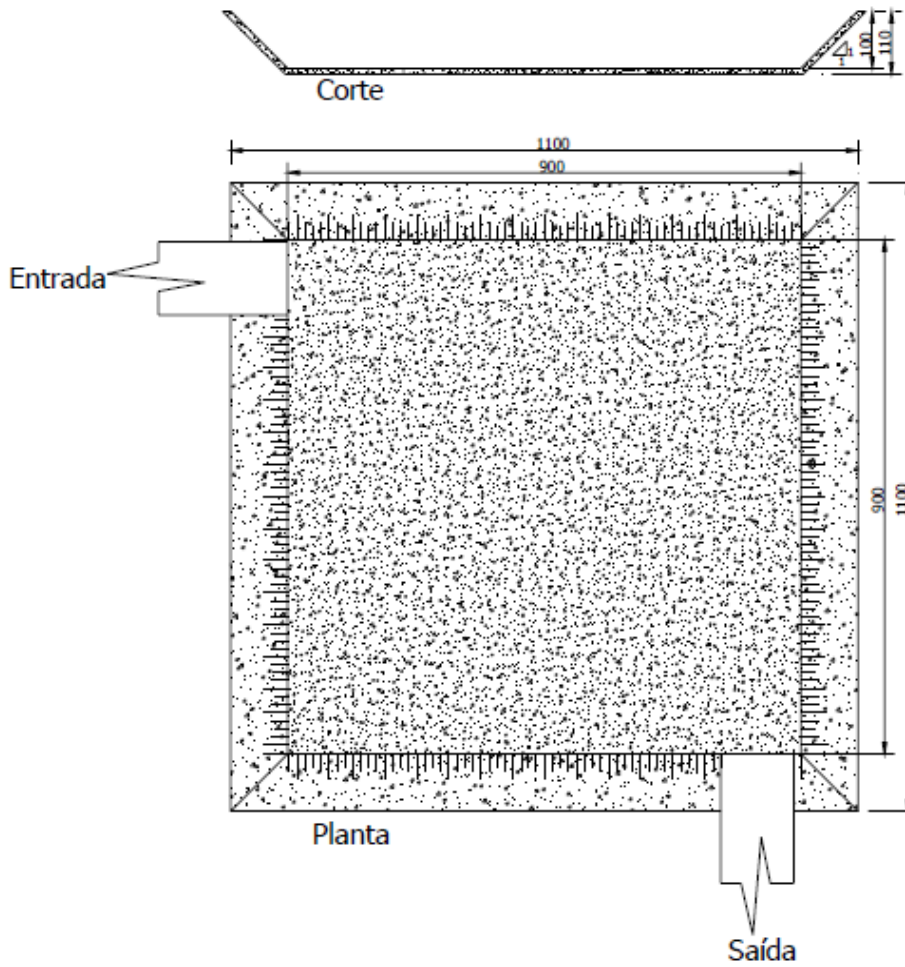
- Bacias de detenção abertas com revestimento de concreto (Figura 27): Segundo Moura (2004), as bacias de detenção revestidas em concreto possuem o fundo e os taludes revestidos em concreto. Normalmente, durante o período de estiagem permanecem secas, sendo todo o seu volume utilizado para armazenamento de água. Na Figura 28 o apresenta-se o projeto tipo de uma bacia de detenção revestida com concreto e na Tabela 11 apresenta-se o custo de implementação do projeto por m<sup>3</sup>.

Figura 27 - Fotografia de bacia de detenção com revestimento em concreto



Fonte: Moura (2004)

Figura 28 - Projeto-tipo de bacia de detenção aberta com revestimento em concreto



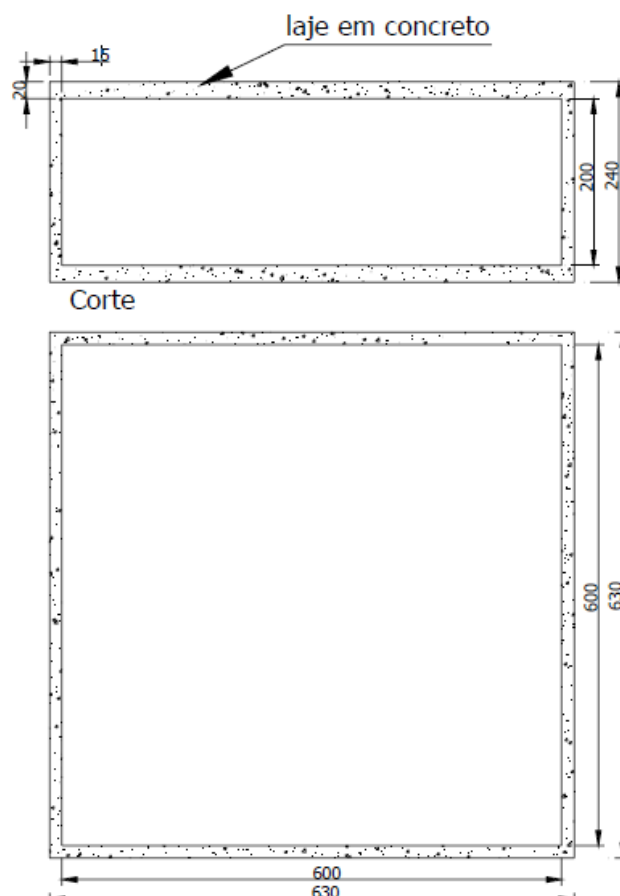
Fonte: Moura (2004)

Tabela 11 – Custo de implantação de uma bacia de retenção em concreto por m<sup>3</sup>

Tipo de serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo total (R\$)
Desmatamento	m <sup>2</sup>	0,38	1	0,38
Escavação mecânica	m <sup>3</sup>	2,5	1,2	3,00
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	15,6	19,34
Compactação	m <sup>2</sup>	4,05	1	4,05
Impermeabilização	m <sup>2</sup>	28,24	1,4	39,54
Concreto	m <sup>3</sup>	205,88	1,2	247,06
<b>Total</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			<b>313,37</b>

- Bacias de retenção enterradas: Segundo Moura (2004), estas bacias não ocupam espaços, não disputando assim, locais com outros tipos de uso, porém este tipo de bacia necessita de grandes escavações para sua implantação e, normalmente, de bombas para retirar a água armazenada. Na Figura 29 o apresenta-se o projeto tipo de uma bacia enterrada e na Tabela 12 apresenta-se o custo de implementação do projeto por m<sup>3</sup>.

Figura 29 - Projeto-tipo de bacia de retenção enterrada



Fonte: Moura (2004)

Tabela 12 – Custo de implantação de uma bacia de retenção enterrada por m<sup>3</sup>

<b>Tipo de serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Desmatamento	m <sup>2</sup>	0,38	1	0,38
Escavação mecânica	m <sup>3</sup>	2,5	1,2	3,00
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	15,6	19,34
Compactação	m <sup>2</sup>	4,05	0,5	2,03
Impermeabilização	m <sup>2</sup>	28,24	1,4	39,54
Concreto para revestimento	m <sup>3</sup>	205,88	0,4	82,35
Concreto para laje	m <sup>3</sup>	334,39	0,4	133,76
Armação	kg	7,64	13,4	102,38
Fôrma	m <sup>2</sup>	43,85	1	43,85
<b>Total</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			<b>426,62</b>

#### 5.2.4 Construção de Bacias de Infiltração

A construção de bacias de infiltração, como a mostrada na Figura 30, requer um custo de implementação de R\$ 70,03 por m<sup>3</sup> (Tabela 13), orçamento com base no projeto tipo da Figura 28, nos quantitativos desenvolvidos por Moura (2004) e nas composições de custo da Tabela SINAPE-CE com desoneração e sem BDI de Dezembro de 2015.

Figura 30 - Fotografia de bacia de infiltração



Fonte: Moura (2004)

Tabela 13 – Custo de implantação de uma bacia de infiltração por m<sup>3</sup>

<b>Tipo de serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Desmatamento	m <sup>2</sup>	0,38	1	0,38
Escavação mecânica	m <sup>3</sup>	2,5	1,2	3,00
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	15,6	19,34
Grama	m <sup>2</sup>	11,07	1,4	15,50
Geotêxtil	m <sup>2</sup>	16,62	1,4	23,27
Brita com Compactação	m <sup>3</sup>	85,36	0,1	8,54
<b>Total</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			<b>70,03</b>

### 5.2.5 Construção de Canais

O ideal é que os canais sejam revestidos por materiais permeáveis, serão apresentadas três tipos canais e seus respectivos custos de implementação por m<sup>2</sup>, utilizando os quantitativos do trabalho de Moura (2004) e as composições de custo da Tabela SINAPE-CE de Dezembro de 2015, são eles:

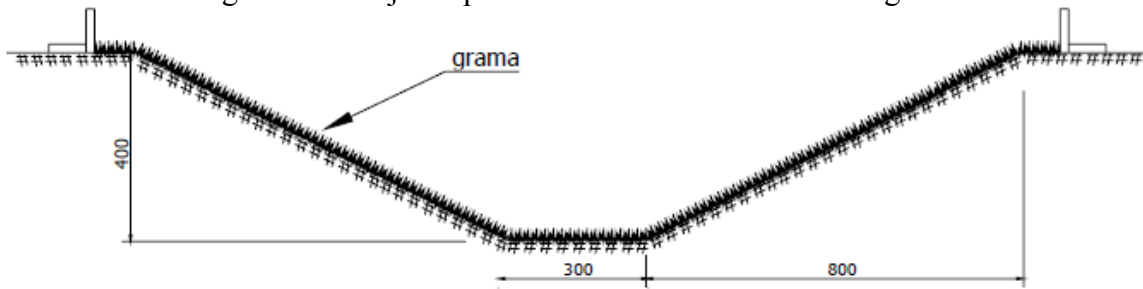
- Canais com revestimento vegetal (Figura 31): Para seção tipo apresentada na Figura 32 foi obtido um custo de R\$ 91,50 por metro quadrado (Tabela 14).

Figura 31– Canal com revestimento vegetal



Fonte: Moura (2004)

Figura 32 - Projeto tipo de canal com revestimento vegetal



Fonte: Moura (2004)

Tabela 14 - Custo de execução de canal com revestimento vegetal por m<sup>2</sup>

Tipo de serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo total (R\$)
Escavação	m <sup>3</sup>	2,5	29,56	73,90
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	384,28	476,51
Gramma	m <sup>2</sup>	11,07	20,88	231,14
Geotêxtil	m <sup>2</sup>	16,62	20,88	347,03
Concreto	m <sup>3</sup>	334,39	0,6	200,63
Armação	kg	7,64	42,6	325,46
Fôrma	m <sup>2</sup>	43,85	4	175,40
<b>Total</b>				<b>1.830,07</b>
<b>Total por m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>			<b>91,50</b>

- Canais em enrocamento: Para seção tipo apresentada na Figura 33 foi obtido um custo de R\$ 207,70 por metro quadrado (Tabela 15).

Figura 33 - Projeto tipo de canal com revestimento vegetal



Fonte: Moura (2004)



Tabela 15 - Custo de execução de canal em enrocamento por m<sup>2</sup>

Tipo de serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo total (R\$)
Escavação	m <sup>3</sup>	2,5	29,56	73,90
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	384,28	476,51
Enrocamento	m <sup>3</sup>	122,37	20,88	2555,09
Geotêxtil	m <sup>2</sup>	16,62	20,88	347,03
Concreto	m <sup>3</sup>	334,39	0,6	200,63
Armação	kg	7,64	42,6	325,46
Fôrma	m <sup>2</sup>	43,85	4	175,40
<b>Total</b>				<b>4.154,02</b>
<b>Total por m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>			<b>207,70</b>

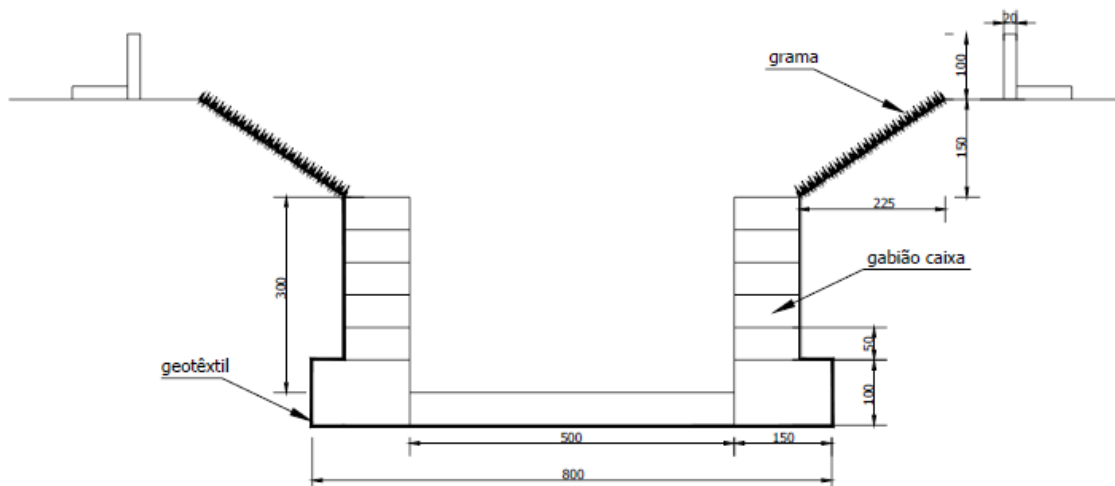
- Canais em gabião caixa (Figura 34): Para seção tipo apresentada na Figura 35 foi obtido um custo de R\$ 310,10 por metro quadrado (Tabela 16).

Figura 34 – Canal em gabião caixa



Fonte: Moura (2004)

Figura 35 - Projeto tipo de canal em gabião caixa



Fonte: Moura (2004)

Tabela 16 - Custo de execução de canal em gabião caixa por m<sup>2</sup>

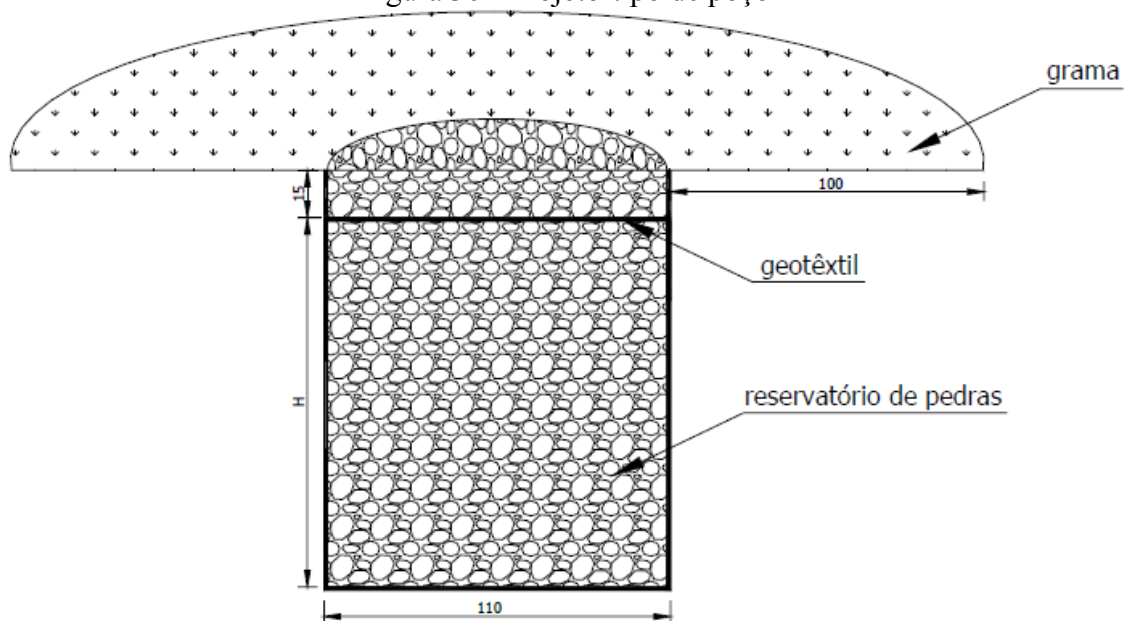
Tipo de serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo total (R\$)
Escavação	m <sup>3</sup>	2,5	25,48	63,70
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	331,24	410,74
Gabião	m <sup>3</sup>	300,04	10,5	3150,42
Concreto	m <sup>3</sup>	333,39	0,6	200,03
Fôrma	m <sup>2</sup>	43,85	4	175,40
Gramma	m <sup>2</sup>	11,07	5,41	59,89
Armação	kg	7,64	42,6	325,46
Geotêxtil	m <sup>2</sup>	16,62	16	265,92
<b>Total</b>				<b>4.651,56</b>
<b>Total por m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>			<b>310,10</b>

### 5.2.6 Construção de Poços

Segundo Moura (2004), as principais vantagens de utilização dos poços são a possibilidade de sua boa integração com o traçado urbano, podendo até mesmo não ser identificados e a realimentação do lençol subterrâneo, além do pequeno custo fundiário para implantação.

A construção de poços, requer um custo de implementação de R\$ 234,18 (Tabela 17), orçamento com base no projeto tipo da Figura 36, nos quantitativos desenvolvidos por Moura (2004) e nas composições de custo da Tabela SINAPE-CE de Dezembro de 2015.

Figura 36 - Projeto-tipo de poço



Fonte: Moura (2004)

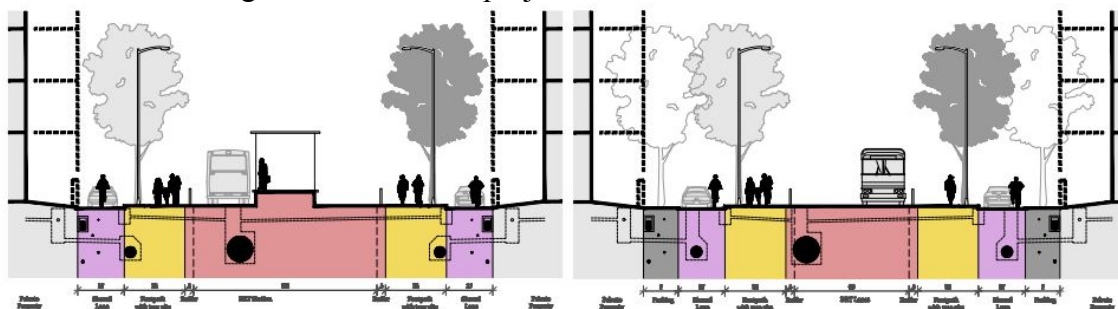
Tabela 17 - Custo de execução de poços

Tipo de serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo total (R\$)
Escavação manual	m <sup>3</sup>	31,05	1	31,05
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	13	16,12
Reaterro	m <sup>3</sup>	31,79	1	31,79
Material de preenchimento	m <sup>3</sup>	79,22	1	79,22
Geotêxtil	m <sup>2</sup>	16,62	3,84	63,82
Gramma	m <sup>2</sup>	11,07	1,1	12,18
<b>Total</b>	<b>m<sup>3</sup></b>			<b>234,18</b>

### 5.3 Corredores de transporte

Para os corredores de transporte (Figura 37) podem ser utilizadas diversas técnicas de drenagem compensatória, destacam-se valas, trincheiras e utilização de pavimentos permeáveis.

Figura 37 – Parte do projeto de mobilidade Fortaleza 2010

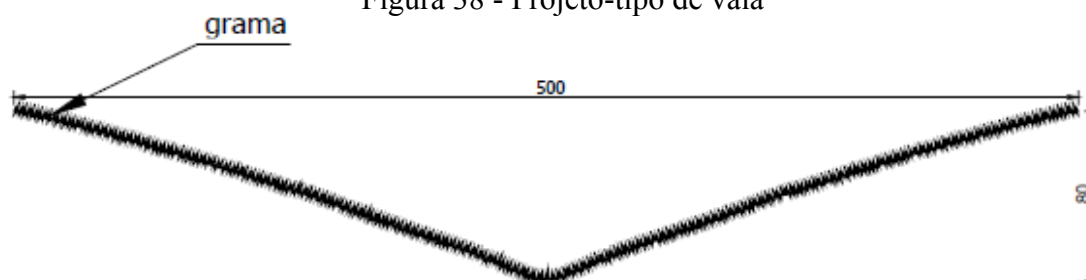


Fonte: Plano Mestre Fortaleza 2040 – Urbanismo e Mobilidade

#### 5.3.1 Valas

A construção de valas, requer um custo de execução de R\$ 95,36 (Tabela 18) por metro, orçamento com base no projeto tipo da Figura 38, nos quantitativos desenvolvidos por Moura (2004) e nas composições de custo da Tabela SINAPE-CE com desoneração e sem BDI de Dezembro de 2015.

Figura 38 - Projeto-tipo de vala



Fonte: Moura (2004)

Tabela 18 - Custo de execução de valas

<b>Tipo de serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Escavação mecânica	m <sup>3</sup>	2,5	2	5,00
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	26	32,24
Gramma	m <sup>2</sup>	11,07	5,25	58,12
<b>Total</b>	<b>m</b>			<b>95,36</b>

### 5.3.2 Trincheiras

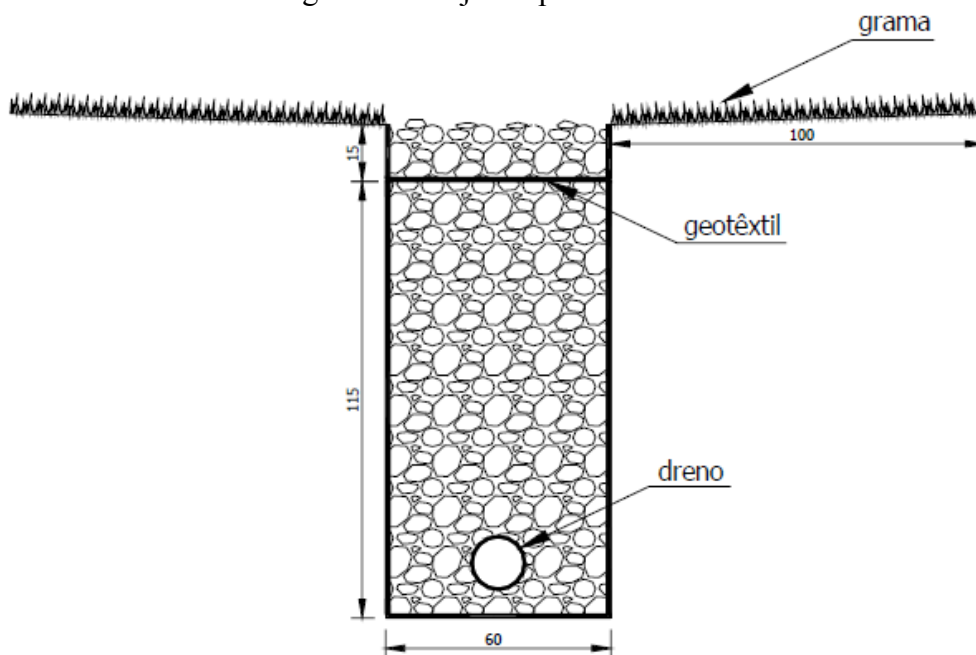
As principais vantagens da construção de trincheiras (Figura 39) são: baixo custo, possibilidade de uma boa integração ambiental e a realimentação do lençol subterrâneo. Para executar um metro de trincheira com base no projeto tipo da Figura 40 são necessários R\$ 246,06 (Tabela 19).

Figura 39 – Trincheira de infiltração



Fonte: Moura (2004)

Figura 40- Projeto-tipo de trincheira



Fonte: Moura (2004)

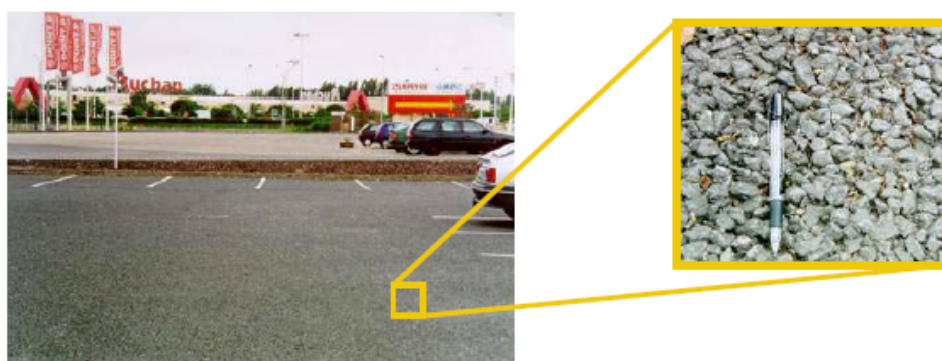
Tabela 19 - Custo de execução de trincheiras por metro linear

Tipo de serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo total (R\$)
Escavação mecânica	m <sup>3</sup>	2,5	1	2,50
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	13	16,12
Reaterro	m <sup>3</sup>	31,79	1	31,79
Material de preenchimento	m <sup>3</sup>	79,22	1	79,22
Geotêxtil	m <sup>2</sup>	16,62	3,84	63,82
Gramma	m <sup>2</sup>	11,07	1,1	12,18
Dreno	m	36,76	1,1	40,44
<b>Total</b>	<b>m</b>			<b>246,06</b>

### 5.3.3 Pavimento Permeável

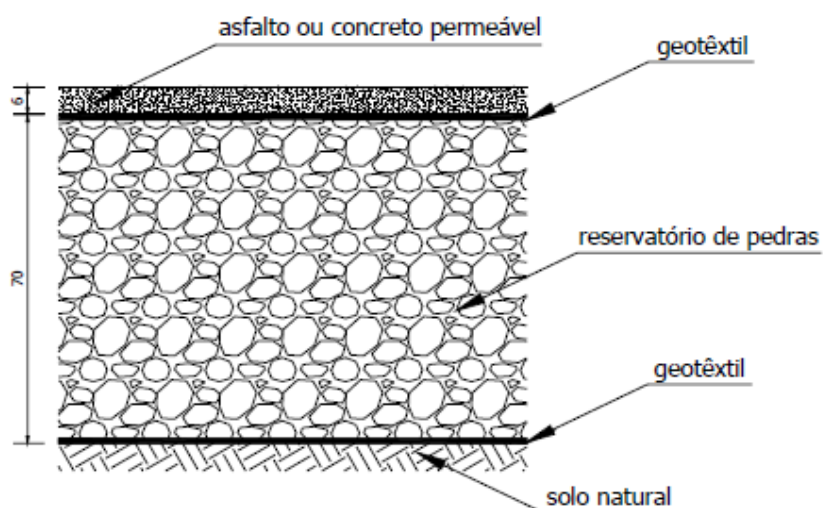
Foram analisados os custos de dois tipos de pavimentos permeáveis: concreto poroso e asfalto poroso (Figura 41). O orçamento foi elaborado com base no projeto indicado na Figura 42. Observa-se que o pavimento de concreto poroso apresenta um custo de execução um pouco maior que o do asfalto poroso (Tabelas 20 e 21).

Figura 41 – Pavimento permeável



Fonte: Moura (2004)

Figura 42 – Projeto tipo de pavimento permeável



Fonte: Moura (2004)

Tabela 20 - Custo de execução de pavimento permeável com concreto poroso por m<sup>2</sup>

Tipo de serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo total (R\$)
Escavação	m <sup>3</sup>	2,5	0,76	1,90
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	9,88	12,25
Camada de base e compactação	m <sup>3</sup>	85,36	0,7	59,75
Geotêxtil	m <sup>2</sup>	16,62	2	33,24
Concreto poroso	m <sup>2</sup>	273,89	0,06	16,43
Compactação do concreto	m <sup>3</sup>	4,05	0,08	0,32
<b>Total</b>	<b>m<sup>2</sup></b>			<b>123,90</b>

Tabela 21 - Custo de execução de pavimento permeável com asfalto poroso por m<sup>2</sup>

Tipo de serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo total (R\$)
Escavação	m <sup>3</sup>	2,5	0,76	1,90
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	9,88	12,25
Camada de base e compactação	m <sup>3</sup>	85,36	0,7	59,75
Geotêxtil	m <sup>2</sup>	16,62	2	33,24
Asfalto poroso	m <sup>2</sup>	116,37	0,06	6,98
Compactação do asfalto	m <sup>3</sup>	4,05	0,08	0,32
<b>Total</b>	<b>m<sup>2</sup></b>			<b>114,45</b>

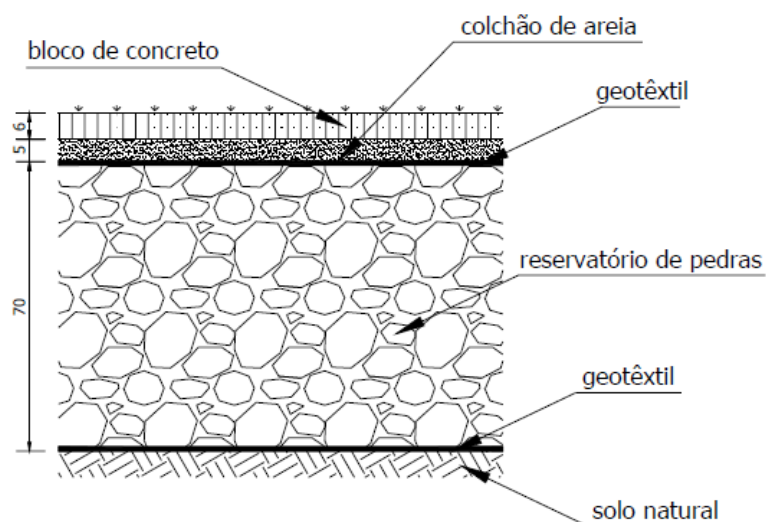
#### 5.4 Bacias de Vizinhança

Para as bacias de vizinhança pode-se fazer a utilização também pavimento permeável. Neste caso foi orçado um pavimento com blocos de concreto conforme indicado na Figura 43 e no projeto tipo apresentado na Figura 44. O custo por metro quadrado para execução deste projeto é de R\$ 146,22 (Tabela 22).

Figura 43– Pavimento de blocos de concreto



Figura 44 – Projeto tipo de pavimento com blocos de concreto



Fonte: Moura (2004)

Tabela 22 - Custo de execução de pavimento de blocos de concreto por m<sup>2</sup>

<b>Tipo de serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Escavação	m <sup>3</sup>	2,5	0,76	1,90
Transporte	m <sup>3</sup> x km	1,24	9,88	12,25
Camada de base e compactação	m <sup>3</sup>	85,36	0,65	55,48
Geotêxtil	m <sup>2</sup>	16,62	2	33,24
Blocos de concreto	m <sup>2</sup>	37,08	1	37,08
Colchão drenante	m <sup>3</sup>	49,08	0,06	2,94
Gramma	m <sup>2</sup>	11,07	0,3	3,32
<b>Total</b>	<b>m<sup>2</sup></b>			<b>146,22</b>

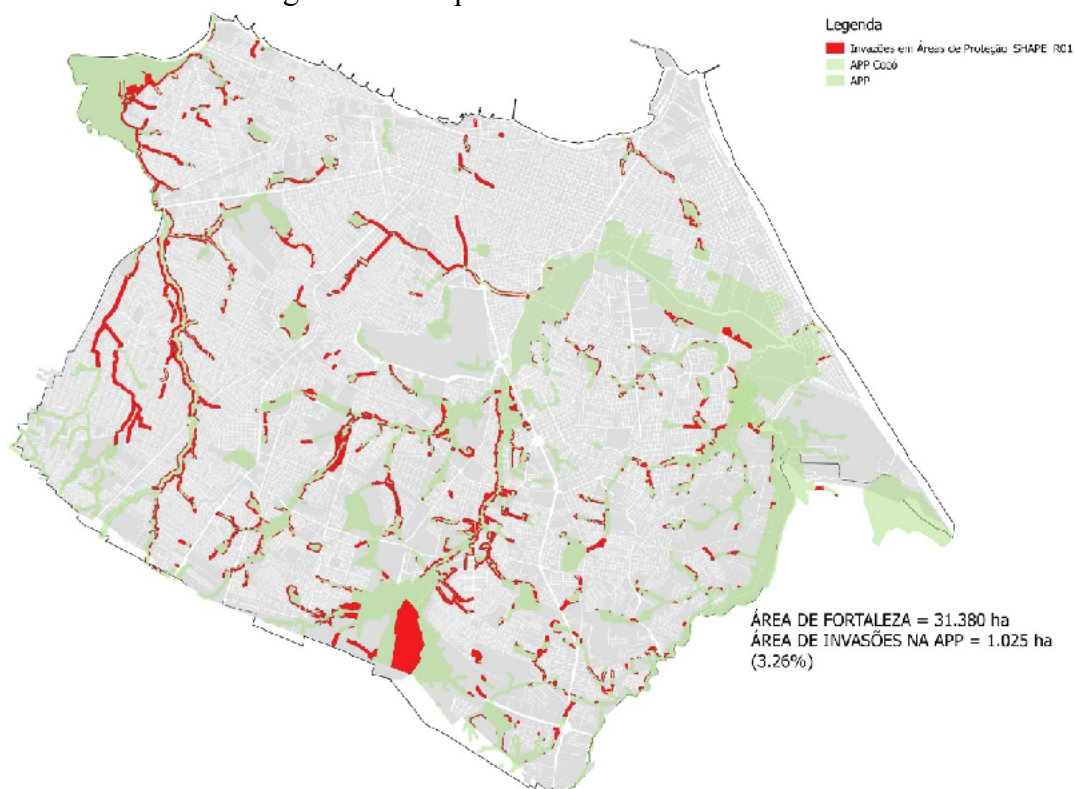


## 6 DIRETRIZ PRELIMINAR DE LOCALIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES ORIENTADO PELO PLANO MESTRE FORTALEZA 2040

Seguindo as orientações e levantamentos do Plano Mestre Fortaleza 2040 foi feita uma discriminação das intervenções para drenagem urbana utilizando medidas compensatórias que podem ser adotadas nas áreas apresentadas:

- i. Áreas de preservação permanente: conforme indicado no mapa da Figura 45, existem 31.380 hectares de áreas de preservação permanente em Fortaleza, destes 1.025 hectares estão ocupados por invasões. Estas áreas podem ser utilizadas como:
  - a) Bacias de retenção/infiltração;
  - b) Urbanização/criação de parques nos principais rios para fins de ocupação com lazer.

Figura 45 – Mapa das invasões em áreas de APP



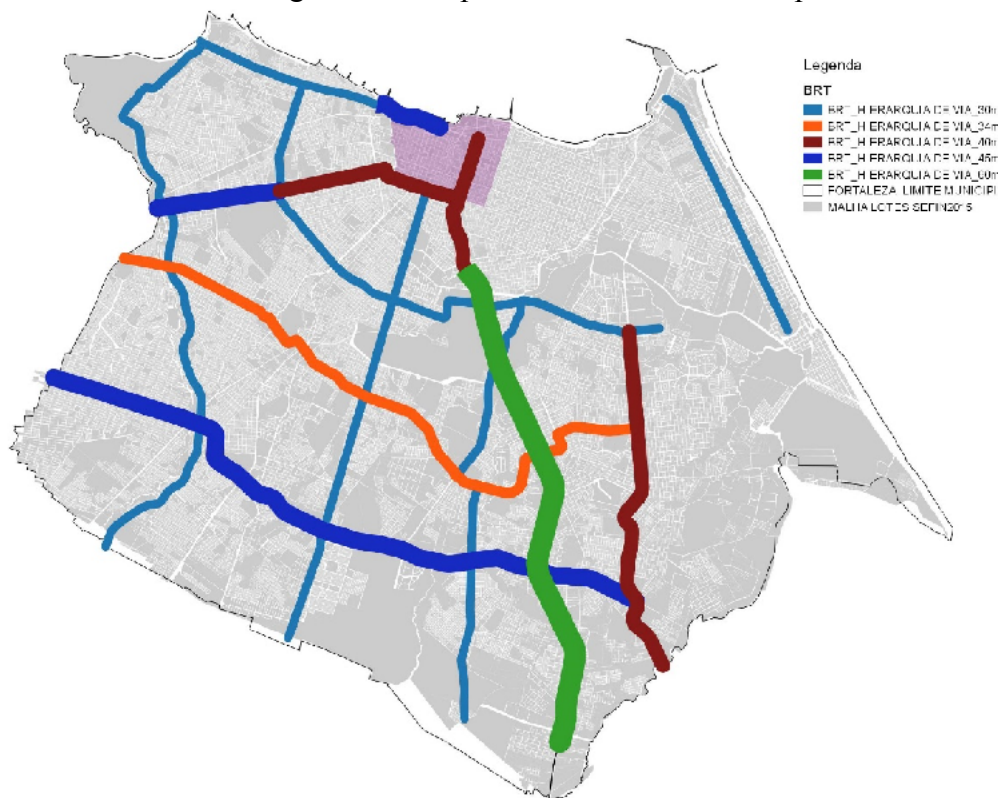
Fonte: Plano Mestre Fortaleza 2040 – Urbanismo e Mobilidade

- ii. Áreas de corredores de urbanização orientado para o transporte público: no mapa da Figura 46 verifica-se que serão diversas áreas que sofrerão um

processo de urbanização voltado para a mobilidade urbana, praticamente toda a cidade sofrerá intervenções neste setor. Nestes locais podem ser implementadas as seguintes medidas:

- a) Bacias de infiltração;
- b) Valas e valetas de detenção;
- c) Valas e valetas de infiltração;
- d) Revestimentos permeáveis;
- e) Trincheiras de infiltração;
- f) Utilização de reservatórios individuais em residências próximas aos corredores de transporte.

Figura 46 – Mapa dos corredores de transporte



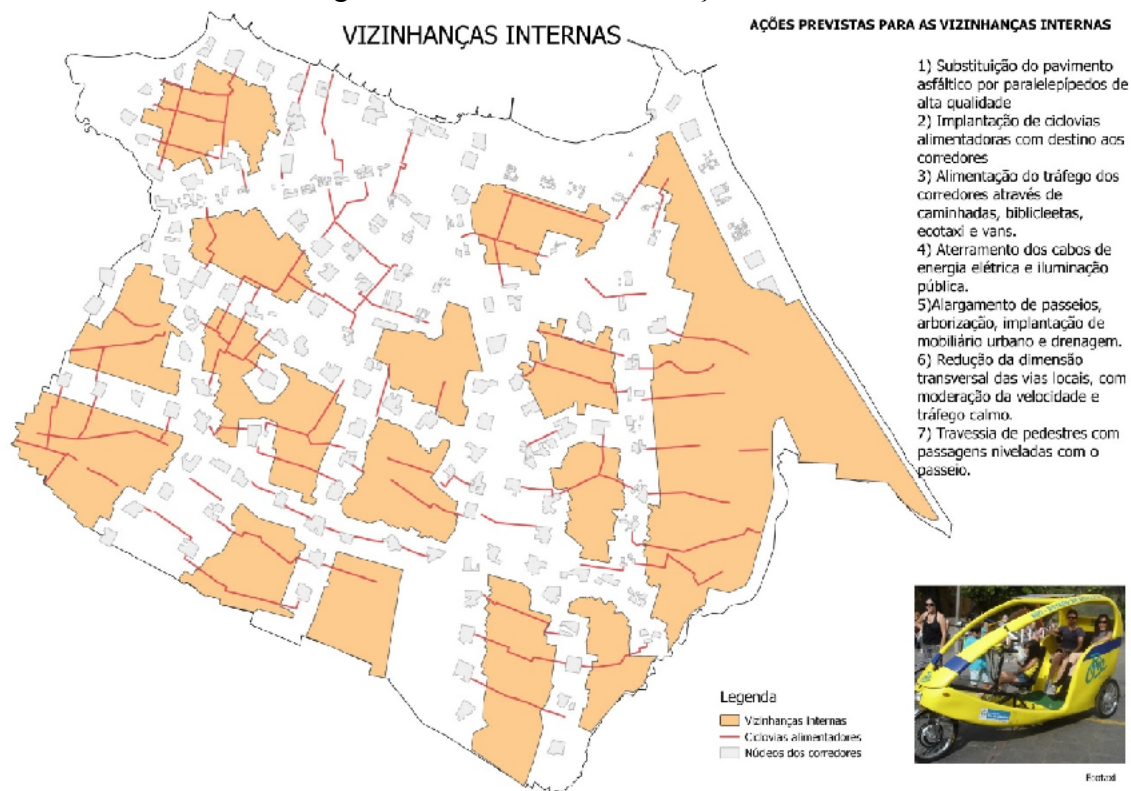
Fonte: Plano Mestre Fortaleza 2040 – Urbanismo e Mobilidade

- iii. Áreas das redes de vizinhança interna e sistemas alimentadores dos corredores de urbanização: no mapa da Figura 47 as redes de vizinhança interna que funcionarão de forma integrada com os corredores de

transporte. Nestes locais diversas são as medidas que podem ser empregadas:

- a) Bacias de retenção e/ou infiltração;
- b) Valas e valetas de retenção;
- c) Valas e valetas de infiltração;
- d) Pavimentos porosos;
- e) Revestimentos permeáveis;
- f) Trincheiras de infiltração;
- g) Poços de infiltração;
- h) Utilização de reservatórios individuais.

Figura 47 – Redes de vizinhança interna



Fonte: Plano Mestre Fortaleza 2040 – Urbanismo e Mobilidade

- iv. Áreas de praças: as diversas áreas de praças da cidade podem ser utilizadas não apenas como áreas de lazer, mas como bacias de retenção e/ou infiltração;

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste relatório foram apresentadas as principais técnicas compensatórias em drenagem urbana, fazendo-se uma análise da evolução da drenagem no mundo e como os países desenvolvidos tratam os problemas da gestão de águas urbanas, levantando-se ainda as principais características de cada uma das técnicas.

Analisando-se as propostas de urbanização e de mobilidade que estão sendo trabalhadas no Plano Fortaleza 2040, observa-se que é possível implementar grande parte das técnicas compensatórias, fazendo com que os equipamentos não tenham fins somente urbanísticos e/ou de mobilidade, mas que funcionem também como mecanismos de controle das águas pluviais.

No Anexo A apresenta-se ainda uma proposta de decreto com base nos trabalhos de Tucci (2001b) para regulamentação da drenagem urbana, o texto foi elaborado para a cidade de Porto Alegre, porém, pode servir de base para o desenvolvimento de propostas parecidas para a cidade de Fortaleza.

As soluções apresentadas, em geral, não possuem altos valores para implementação e podem funcionar até mesmo em áreas de grande densidade habitacional e ocupação urbana, onde infraestruturas clássicas tem difícil execução.

A cidade de Fortaleza tem caminhado em direção ao desenvolvimento, porém devemos trabalhar com soluções sustentáveis e na perspectiva de longo prazo, a gestão de águas urbanas também ser pensada neste mesmo sentido, aliando os diferentes projetos afim de otimizar as soluções.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BRAGA, B. P.F. **Controle de Cheias Urbanas em Ambiente Tropical**, in: Drenagem Urbana – Gerenciamento, Simulação e Controle. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ABRH, Porto Alegre, 1998.

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

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

DRUMOND, P. P.. **Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG: Avaliação hidráulica e hidrológica**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 203p., 2012.

LUCAS, A. H., SOBRINHA, L. A., MORUZZI, B. M., BARBASSA, A. P. Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil. **Revista Engenharia Sanitária**. vol.20 no.1 Rio de Janeiro Jan./Mar. 2015.

MARQUES, C. E. B.. **Proposta de Método para a Formulação de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 153p., 2006.

MOURA, P. M. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 164p., 2004.

RESTREPO, J. S. 2010. **Avaliação da infiltrabilidade de um perfil de solo tropical**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM - 188 /10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 134 p.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Hidrologia Urbana no Brasil**, in: Drenagem Urbana – Gerenciamento, Simulação e Controle. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ABRH, Porto Alegre, 1998.

SOUZA, V. C. B. **Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 151p., 2002.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 7, nº1, Jan-Mar, 2002.

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

TUCCI, C. E. M.. **Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C. E. M. (org.) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2 ed., EDUSP, Editora da UFRG, ABRH, Porto Alegre, p.805-847, 2001a.

TUCCI, C. E. M.. **Elementos para controle da drenagem urbana**. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. da M.(org.) *Avaliação e controle da drenagem urbana*. 2 ed., EDUSP, Editora da UFRG, ABRH, Porto Alegre, p.421-437, 2001b.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F.. **Controle do impacto da urbanização**. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T.. (Org.) *Drenagem Urbana*. 2 ed., EDUSP, Editora da UFRG, ABRH, Porto Alegre, p.277-347, 1995.

## ANEXO A – PROPOSTA PARA DECRETO

Regulamenta o controle da drenagem urbana

O Prefeito Municipal de ....., usando de suas atribuições legais e tendo em vista os artigos 97 e 135 da Lei ... de ..... de .... e considerando que:

- Compete ao poder público prevenir o aumento das inundações devido à impermeabilização do solo e canalização dos arroios naturais;

- O impacto resultante da impermeabilização não produz o aumento de frequência da inundação, piora da qualidade da água e transporte de material sólido, degradando o ambiente urbano;

- Deve ser responsabilidade de cada empreendedor urbano a manutenção das condições prévias de inundação nos arroios da cidade, evitando transferir para o restante da população o ônus da adequada compatibilização da drenagem urbana;

- A preservação da capacidade de infiltração das bacias urbanas é prioridade para a conservação ambiental dos arroios e rios que compõem a macrodrenagem, além dos rios receptores do escoamento da cidade de \_\_\_\_\_.

*Art 1º* Toda edificação que resulte em superfície impermeável, aprovado pelo poder público municipal, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de pluviais igual a 20,8 l/(s.ha).

*Parágrafo 1* A vazão máxima de saída é calculada multiplicando a vazão específica pela área total do terreno no qual se insere a edificação.

*Parágrafo 2.* A água precipitada sobre o terreno não pode ser drenada diretamente para ruas e sarjetas, excetuando o previsto no parágrafo 3º deste artigo.

*Parágrafo 3.* As áreas de recuo poderão drenar o escoamento de até 20% da sua superfície diretamente para a sarjeta das ruas, descontando a área drenada da área total do terreno referida no parágrafo 1.

*Art. 2º* Todo novo parcelamento do solo deverá prever na sua implantação o limite de vazão máxima específica disposto no artigo 1º deste decreto.

*Art. 3º* A manutenção das condições de pré-desenvolvimento no lote ou no parcelamento do solo devem ser demonstrados ao DEP (Departamento de Esgoto Pluvial) através de estudo hidrológico específico.

*Parágrafo 1º* : Quando a área for menor que 100 hectares e o controle adotado utilizado pelo empreendedor for o reservatório, o volume necessário do reservatório é determinado através de:

$$v = 4,25 \text{ AI}$$

onde  $v$  é o volume por unidade de área de terreno em  $\text{m}^3/\text{hectare}$  e  $\text{AI}$  é a área impermeável da área edificada em %.

*Parágrafo 2º* O volume necessário para áreas superiores a 100 hectares devem ser realizados com estudo hidrológico específico, com precipitação de projeto com probabilidade de 1(uma) em 10 (vezes) em qualquer ano.

*Parágrafo 3º* Serão consideradas áreas impermeáveis todas as superfícies que não permitem a infiltração da água para o subsolo, como existente antes da construção.

*Parágrafo 4º* Pavimentos permeáveis poderão ser considerados como áreas permeáveis desde que atendido o previsto no parágrafo 3º.

*Art 4º* Na edificação dos lotes, resultante do parcelamento a partir deste decreto, a área impermeável deve ser menor ou igual a prevista para o lote e para o seu sistema viário prevista no projeto de drenagem do parcelamento aprovado de acordo com os artigos 2 e 3.

*Art. 5º* Após a aprovação por parte da Prefeitura, do projeto de drenagem urbana da edificação ou do parcelamento é vedada qualquer impermeabilização adicional de superfície.

*Parágrafo Único:* A impermeabilização poderá ser realizada se houver retenção do volume adicional gerado.

*Art. 6º* Está vedada edificação que cubra trecho do sistema público de drenagem pluvial, mesmo em trecho de propriedade privada.

*Art. 7º* Para novo parcelamento do solo deverá ser preservada a faixa de domínio dos arroios urbanos, de acordo com o código florestal, como prevê o art. 134 § 4º da lei Municipal ---- de ----- 1999.

*Parágrafo Único:* a área correspondente a faixa de domínio somente poderá ser incluída no percentual de área pública se na referida faixa for implementado um parque linear de acordo com definições da SMAM Secretaria de Meio Ambiente.