

## ESTUDO DE CASO: PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE PORTO ALEGRE/RS

Daniel G. Allasia<sup>1</sup>; Rutinéia Tassi<sup>1</sup>; Marllus G. F. P. das Neves<sup>1</sup>;  
Adolfo O. N. Villanueva<sup>1</sup>; Carlos E. M. Tucci<sup>1</sup> & Marcus A. S. Cruz<sup>2</sup>

**Resumo** - Os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrUs) têm como objetivo tratar a drenagem como parte da infra-estrutura urbana, buscando um desenvolvimento harmônico entre a ocupação do espaço pela população e as redes de drenagem. Na cidade de Porto Alegre foram elaborados até o presente momento PDDrUs de seis bacias hidrográficas. Além dos PDDrUs das bacias, fazem parte do trabalho a avaliação do Sistema de Proteção Contra Enchentes e um Manual de Drenagem Urbana. Em uma primeira fase, entregue em dezembro de 2000, foram estudadas as bacias dos arroios Moinho, Areia e Almirante Tamandaré. Mais recentemente, em dezembro de 2002 foram completados os volumes do PDDrU correspondentes às bacias dos arroios Cavallhada, Capivara e Passo das Pedras. Neste artigo são apresentados, de forma sucinta, os principais procedimentos utilizados para a identificação dos problemas nas seis bacias estudadas, as soluções propostas, e finalmente uma análise de custos.

**Abstract** - The Urban Drainage Master Plans (PDDrUs in Portuguese) has the objective of treating the drainage as part of the urban infrastructure, looking for a harmonic development among the occupation of the space by population and the drainage nets. In the city of Porto Alegre were elaborated until the present PDDrU's of six catchments. Besides catchment's PDDrUs, make part of the work the evaluation of the Against Inundations Protection System and a Manual of Urban Drainage. In a first phase, give in December of 2000, were studied the basins of Moinho, Areia and Almirante Tamandaré streams. More recently, in December of 2002 where finished the volumes of PDDrU corresponding to the basins of Cavallhada, Capivara and Passo das Pedras streams. In this paper are presented, in a brief way, the main procedures used for the identification of the problems in the six studied catchments, the proposed solutions, and finally a costs analysis.

**Palavras-chave** - drenagem, urbana, planos diretores.

---

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal de Rio Grande do Sul – Av. Bento Gonçalves 9500 - UFRGS, Caixa Postal 15029, CEP 91501-970, Porto Alegre. hidrologia@gmx.net.

<sup>2</sup> Departamento de Esgotos Pluviais – Av. Lima e Silva, 972 - Cidade Baixa - POA/RS - mascruz@pop.com.br

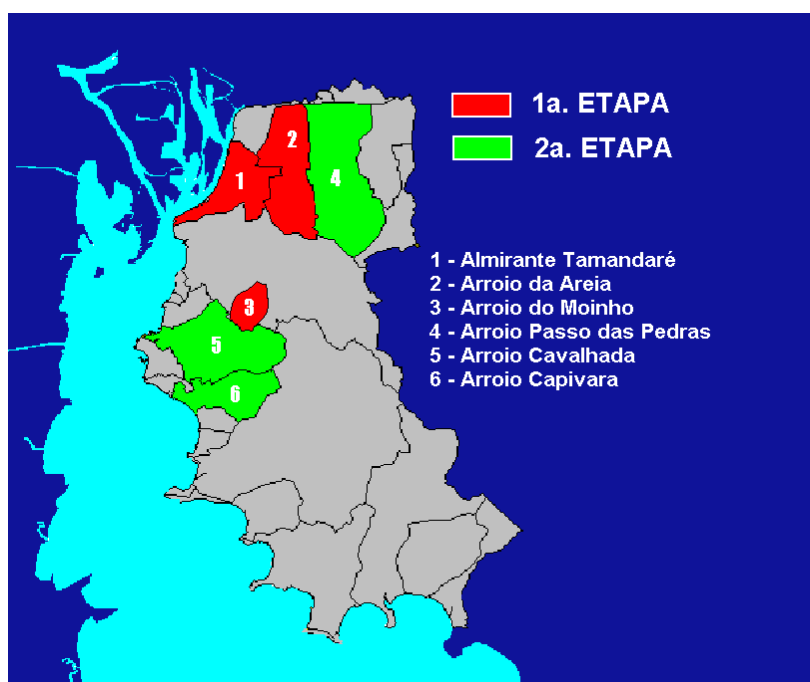
## INTRODUÇÃO

Os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrUs) tornaram-se grandes aliados dos planejadores e gestores da drenagem urbana. Um dos principais objetivos de um PDDrU é tratar a drenagem como parte da infra-estrutura urbana, buscando um desenvolvimento harmônico com a ocupação do espaço pela população.

A forte evidência da necessidade de um tratamento integrado do planejamento da drenagem urbana e o desenvolvimento das cidades é vista pelo grande número de países desenvolvidos, que adotaram ou estão adotando este tipo de planejamento. Nos Estados Unidos, este processo foi aplicado através de um programa nacional desenvolvido pela EPA (*Environmental Protection Agency*) que obriga todas as cidades com mais de 100 mil habitantes a estabelecer um programa de BMPs (*Best Management Practices*). As BMPs envolvem o controle da qualidade e quantidade das águas urbanas, e são implementadas pelo município, através de ações estruturais e não-estruturais. Na França, são utilizados os Comitês de Bacia como um fórum básico para a tomada de decisão quanto às metas a serem atingidas pelos municípios. Na Austrália, podem ser citados o plano de bacia do Upper Parramatta River Catchment Trust (UPRCT, 1994), que a exemplo das BMPs tenta tratar e dispor da melhor forma possível as águas urbanas.

Na América do Sul podem ser citados os exemplos das cidades de Buenos Aires, Lanús e Resistencia na Argentina, que estão em fase de elaboração dos referidos Planos. No Brasil as cidades de Curitiba, Caxias do Sul, e Porto Alegre já estão usando os resultados dos PDDrUs para o planejamento das bacias urbanas. Especificamente na cidade de Porto Alegre foram elaborados até o presente momento PDDrUs de seis bacias hidrográficas. Além dos PDDrUs das bacias, fazem parte do trabalho a avaliação do Sistema de Proteção Contra Enchentes e um Manual de Drenagem Urbana. Em uma primeira fase, entregue em dezembro de 2000, foram estudadas as bacias dos arroios Moinho, Areia e Almirante Tamandaré. Mais recentemente, em dezembro de 2002 foram entregues os volumes do PDDrU correspondentes às bacias dos arroios Cavalhada, Capivara e Passo das Pedras.

Neste artigo são apresentados, de forma sucinta, os principais procedimentos utilizados para a identificação dos problemas nas seis bacias estudadas (figura 1), as soluções propostas, e finalmente uma análise de custos.



**Figura 1** – Localização das bacias estudadas.

## **METODOLOGIA UTILIZADA.**

### **Levantamento cadastral**

Inicialmente foi realizado um exaustivo processo de levantamento cadastral, a partir de cadastros fornecidos pelo Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) da cidade de Porto Alegre. Foram identificados todos os trechos das redes de macrodrenagem (com diâmetro maior ou igual a 80 cm) e todos os trechos onde a drenagem é realizada em canais abertos ou ainda em seções naturais dos arroios. Todas as seções e declividades foram levantadas a partir do cadastro, ou através de topografia; complementarmente foram realizadas visitas de campo, em fase inicial de trabalho, para identificar possíveis discrepâncias entre cadastro e real situação.

O produto deste trabalho foi a malha da rede de drenagem pluvial a ser simulada de forma integrada.

### **Definição de cenários e tempos de retorno de análise**

Para quantificar a situação das redes de drenagem, e propor medidas de controle para um horizonte futuro, foi necessário a escolha de cenários de planejamento. Assim, os cenários utilizados no estudo foram os seguintes:

**Cenário 1: Atual** : representa as condições de urbanização atual, e foi obtido de acordo com estimativas demográficas e imagens de satélite;

**Cenário 2: Projeções de População pelas Zonas de Tráfego Interno do Município:** obtido a partir do Plano Diretor Setorial de Transporte Coletivo do Município de Porto Alegre (Macrozonas

de Transporte), que prevê o desenvolvimento da cidade em zonas de transporte, e dá condições de ocupação para o ano de projeto de 2013. Este cenário representa um *cenário tendencial*. Este cenário foi utilizado somente na elaboração do PDDrU das bacias da segunda fase.

***Cenário 3: Projeção do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA):*** o PDDUA fornece as diretrizes e condicionantes para a ocupação urbana da cidade, e a partir do mesmo foi possível estabelecer dados de ocupação máxima *permitida*.

Conhecidas as densidades demográficas de cada bacia para cada cenário de ocupação, estes valores foram relacionados com porcentagem de área impermeável (Tucci, 1993), a partir da qual foi possível associar a um valor de CN (*curve number*).

Os tempos de retorno (TR) utilizados para a realização do diagnóstico das condições das atuais redes de drenagem foram de 2, 5 e 10 anos. O TR de 10 anos foi utilizado para o dimensionamento dos reservatórios e redes de drenagem para os cenários futuros.

### **Simulação e diagnóstico**

A bacia hidrográfica foi simulada em duas fases. Na primeira fase, foi utilizada o modelo hidrológico de transformação chuva-vazão IPHS1 (IPH, 1998) com os algoritmos da Curva Número (SCS) para estimar a precipitação efetiva e o método de Clark para a propagação do escoamento na bacia. A redes de macrodrenagem foi simulada com um modelo hidrodinâmico de redes (Villanueva, 1990, Ramseyer, 1996, Neves, 2000).

A verificação dos resultados foi realizada em forma qualitativa em todos os casos, devido a inexistência de dados hidrológicos. A verificação qualitativa significa estimar as áreas de alagamento a partir dos resultados obtidos no modelo, e em função destas, verificar que realmente o previsto aconteça na bacia.

Após a realização do diagnóstico das atuais condições da rede de drenagem, foram previstas alternativas não estruturais (zonificação, controle na fonte, etc.) e duas possíveis alternativas estruturais para o de controle dos excessos hídricos resultantes dos problemas decorrentes da urbanização atual e futura. As alternativas estruturais propostas contemplam desde a medida tradicionalmente adotada, ou seja, a ampliação das redes de drenagem (Alternativa I), até uma alternativa mais sustentável sob o ponto de vista de bacia, que é a implantação de reservatórios de detenção e ampliação de redes quando necessário (Alternativa II).

Para tal estudo, considerou-se que as redes de macrodrenagem devem ser dimensionadas de forma a não permitir alagamento para uma chuva com até 10 anos de TR. Da mesma forma, os reservatórios foram dimensionados para não extravasarem para uma chuva com esta mesma recorrência.

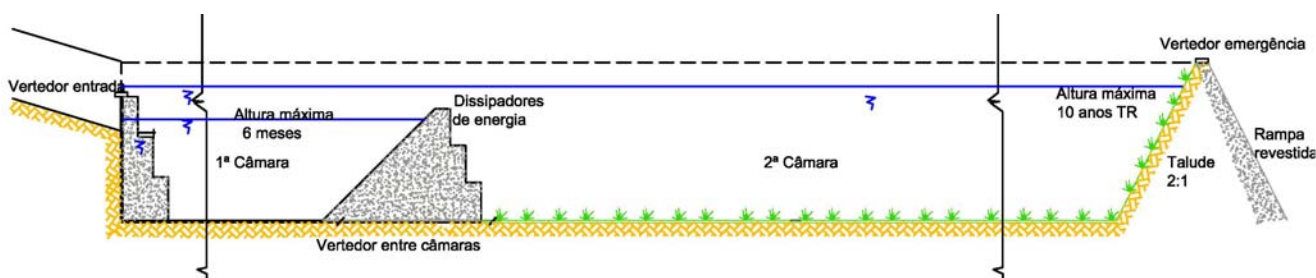
## Critério para ampliação das redes de drenagem e dimensionamento dos reservatórios

As redes de drenagem, que mostraram-se com capacidade insuficiente para escoar os acréscimos de vazão decorrentes da urbanização nos cenários futuros, necessitaram ser ampliadas. Mesmo com a distribuição de reservatórios na bacia, houve necessidade de ampliação de alguns trechos, principalmente aqueles a montante dos reservatórios de detenção.

Quando são necessárias ampliações, o critério recomendado pelo DEP seria a manutenção das características originais da drenagem; ou seja, se a rede de drenagem existente for um tubo enterrado, a ampliação seria enterrada; e assim da mesma forma para canais abertos revestidos ou arroio em seção natural.

Os reservatórios dimensionados foram do tipo *off-line* (são reservatórios que não entram em funcionamento para todos e quaisquer eventos, mas para determinados eventos, definidos em projeto) e reservatórios *on-line* (que ao contrário do anterior, recebem água para chuvas com intensidades baixas). Sob o ponto de vista de manutenção, é preferida a utilização de reservatórios *off-line*; no entanto, como em alguns locais não existe espaço físico para a ampliação das redes de drenagem, a única alternativa possível foi o controle total da vazão, ainda para recorrências muito baixas, passando os reservatório a funcionar quase como *on-line*.

A partir de decisão conjunta com o DEP/POA, decidiu-se que os reservatórios *on-line* seriam dimensionados com duas câmaras, conforme exemplificado na figura 2. A finalidade da utilização deste tipo de estrutura foi de aproveitar ao máximo a capacidade de reserva do local, evitando a ampliação das redes a jusante. Esta concepção de projeto utiliza a primeira câmara para amortecer enchentes mais freqüentes, com capacidade para vazões decorrentes de chuvas com até 6 meses de TR, e a segunda câmara para receber a vazão complementar para uma chuva com até 10 anos de TR.



**Figura 2** – Exemplo de reservatório com duas câmaras

A grande vantagem da utilização deste tipo de estrutura, além do maior aproveitamento, está na facilidade de manutenção e menor custo de implementação já que não é totalmente revestido. A primeira câmara, que recebe a porção mais poluída do escoamento pode ser executada com fundo revestido, o que facilita a operação de limpeza após a inundação. A segunda câmara, que passa a receber água em eventos menos freqüentes pode ser gramada, o que diminui o custo de

implementação.

Para implantação dos reservatórios, deu-se preferência à utilização das áreas públicas ou potencialmente públicas, e onde os reservatórios pudessem ser abertos, de forma a minimizar os custos. Além disso, a escolha dos locais baseou-se na localização estratégica na bacia, visando à otimização da reservação.

É importante mencionar que no dimensionamento dos reservatórios foi levado em conta o uso múltiplo, priorizando o aspecto paisagístico, de forma a elevar o valor agregado da área. Em locais com duas câmeras, a primeira câmera revestida funciona geralmente como pista de “skate” (com o único inconveniente de que quando a chuva é intensa não pode ser utilizado, e imediatamente após a chuva deve ser limpo); a segunda câmera é utilizada como quadra de esportes, e recebe um tratamento paisagístico, pois recebe águas unicamente em eventos extremos, nos quais, geralmente não são utilizados pela população.

### **Estimativa de custos**

Os custos de implantação dos reservatórios e ampliação das redes de drenagem foram estimados a partir de valores praticados pelo Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre – DEP/PMPA.

Os custos de escavação das redes foram calculados a partir das cotas do terreno, considerando que as declividades dos trechos e as cotas de fundo fossem mantidas. Embora esta seja uma consideração simplificada, produz resultados aceitáveis na fase de planejamento.

## **DIAGNÓSTICO E ALTERNATIVAS DE CONTROLE**

A seguir são apresentados os diagnósticos realizados para as bacias estudadas na elaboração do PDDrU de Porto Alegre. Além do diagnóstico, que é realizado para verificar as condições das redes de drenagem que estão atualmente implantadas, são avaliadas possíveis soluções a serem implantadas na bacia, para que sejam controlados os excessos de vazão que ocorrerão para cenários futuros de ocupação. Como um dos critérios para a seleção da alternativa mais viável a ser implementada também é o custo, são apresentadas as estimativas de custo para cada medida proposta, e para cada cenário futuro considerado.

### **Bacia do Arroio Moinho**

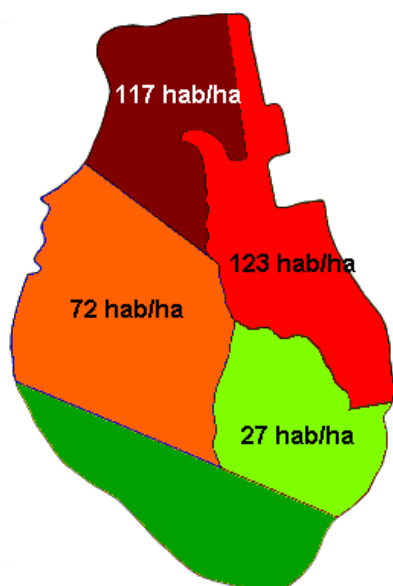
A bacia do arroio do Moinho tem uma área de 4,5 km<sup>2</sup>, e é tributária do Arroio Dilúvio. Um dos principais problemas detectados nesta bacia está relacionado com o desenvolvimento da urbanização no sentido dos morros, ocupando as áreas de preservação. Os loteamentos foram realizados mantendo o arroio principal no fundo das residências; em consequência destas condições,

em alguns locais, o aterro e o muro estrangulam o arroio. Na figura 3 e 5 são apresentados os cenários de ocupação atual e futuro respectivamente.

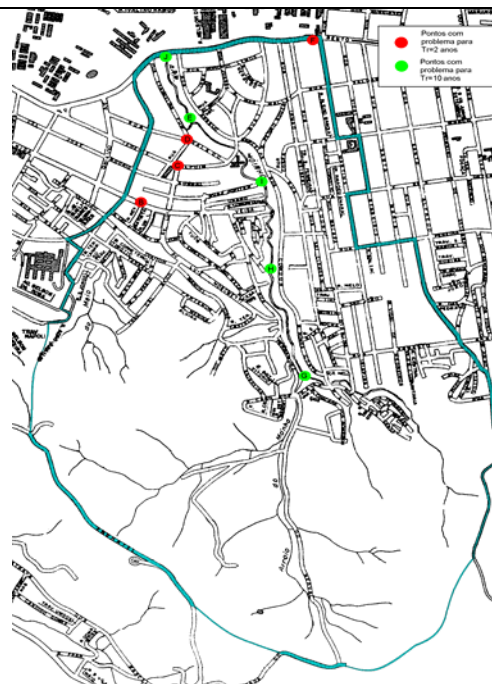
### Diagnóstico

Na figura 4 é apresentado o diagnóstico realizado para avaliar as condições atuais das redes de drenagem, frente a precipitações com diferentes períodos de retorno. Cada cor representa um período de retorno a partir do qual a rede de drenagem passa ter capacidade insuficiente, e são potencialmente sujeitos a inundações (foi utilizada a convenção do semáforo, onde vermelho indica perigo e verde aceitável).

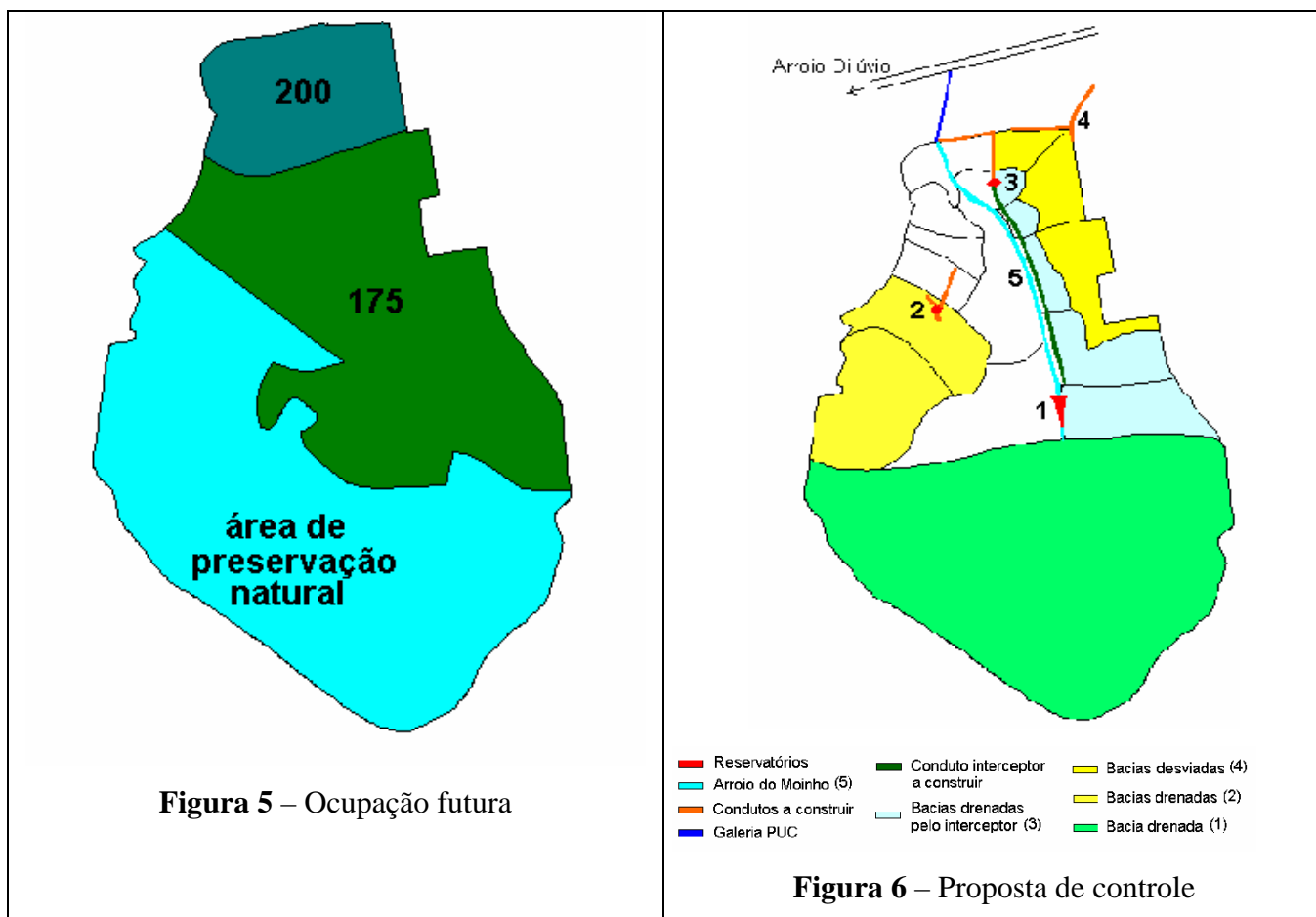
Depois de identificados os trechos de drenagem cuja capacidade já é insuficiente para a atual urbanização, foram realizados novos diagnósticos, para os cenários futuros de ocupação, identificando os trechos que necessitariam ser ampliados para comportarem os acréscimos de vazão. A conclusão para esta análise foi de que uma grande parte dos trechos deveria ser ampliada ao considerar os cenários de ocupação futuros. Como os acréscimos de vazão são significativos, requerem a utilização de redes de drenagem com alta capacidade de escoamento, o que levou ao dimensionamento de canais com seções grandes (alternativa I). Como muitas vezes não existe espaço físico disponível para a implantação de um canal com estas dimensões, foi avaliada uma nova alternativa (alternativa II), desta vez com a utilização de reservatórios, que têm a finalidade de abaterem as vazões de pico. Na figura 6 é apresentada a proposta da alternativa II, ou seja, uma combinação de desvios, reservatórios e ampliações de condutos.



**Figura 3** – Ocupação atual



**Figura 4** – Diagnóstico situação atual



### Custos

Os custos de implantação das alternativas de controle são apresentadas nas tabelas 1.

**Tabela 1 – Custos de implantação das alternativas de controle**

	Custo (em R\$ 1.000)	
	Alternativa I	Alternativa II
PDDUA	5.300	2.800

Nos custos da alternativa I, não foram considerados custos posteriores para o controle dos excessos de vazão no arroio dilúvio. Além do menor custo, na alternativa II as vazões na saída da bacia são praticamente a metade que escoariam com a utilização da alternativa I.

### **Bacia do Arroio Areia**

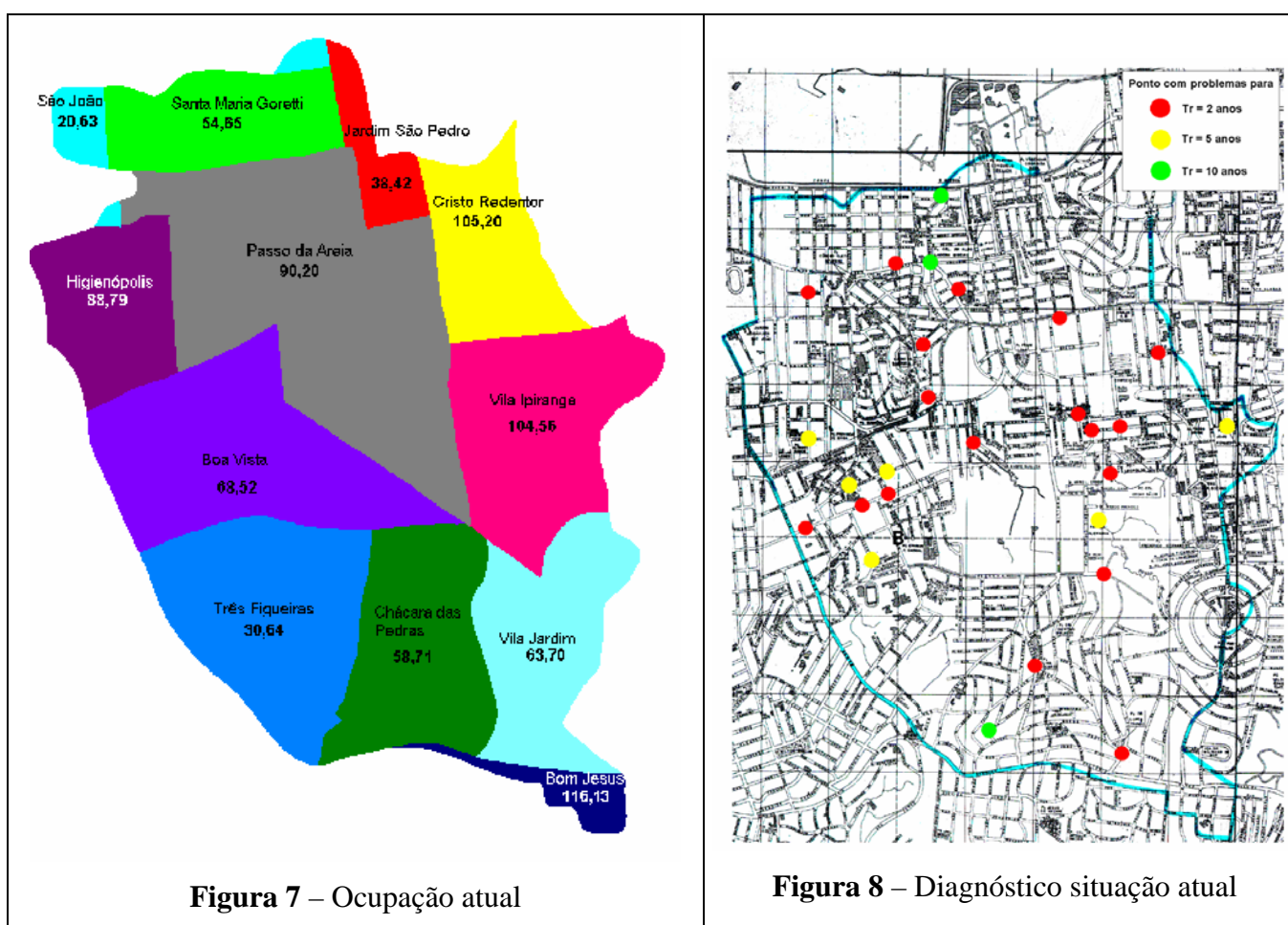
A bacia do Arroio da Areia, tem uma área de aproximadamente 11,7 km<sup>2</sup>. A drenagem da bacia divide-se em dois sistemas bem distintos: um que trabalha por condutos forçados e outro drenado pela Casa de Combas Silvio Brum (CB S. Brum), ambos convergindo para o arroio da Areia. As áreas com cotas superiores a 8,13 m são drenadas por condutos forçados, enquanto que a CB S. Brum drena uma área de 139,2 ha que está abaixo da cota 8,13 m.

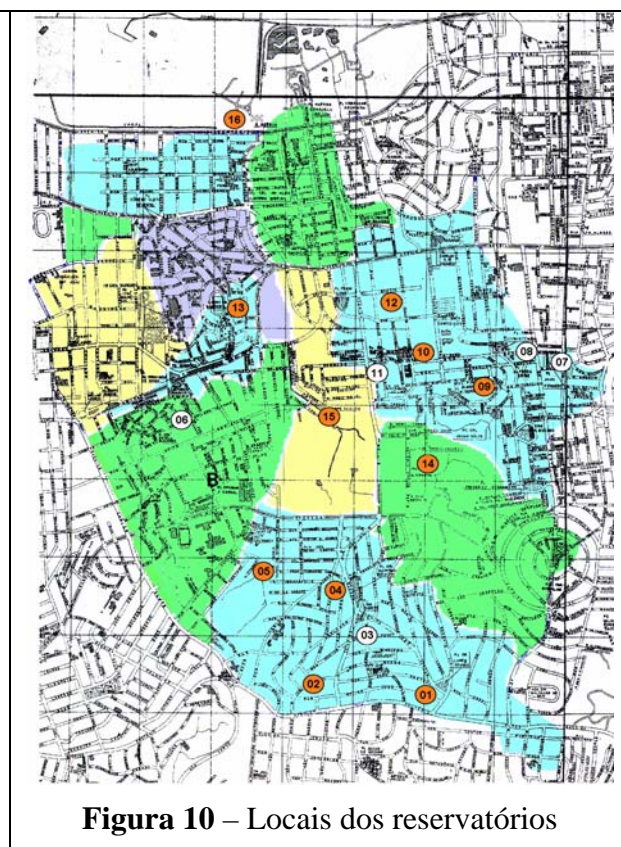
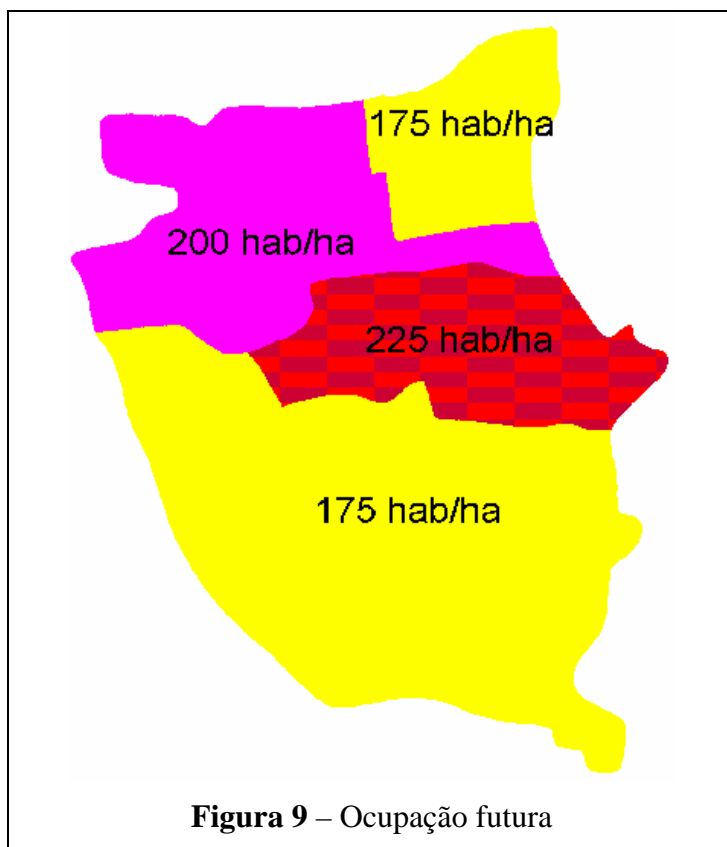


## Diagnóstico

Da mesma forma como apresentado para o Arroio Moinho, nas figuras 7 e 9 são apresentadas as densidades de ocupação atual e futura. Na figura 8 são apresentados os locais detectados como potencialmente inundáveis, já para a atual ocupação.

O resultado da avaliação da alternativa I mostrou que deveriam ser feitas ampliações em praticamente todos os trechos de drenagem. Este fato gera outro agravante que é a necessidade da ampliação de um dos canais que drenam sob uma das pistas do aeroporto, dificultando ainda mais a implantação deste controle. Assim partiu-se para a avaliação da alternativa II, implementando reservatórios na bacia, conforme a figura 10.





### Custos

Os custos de implantação das alternativas de controle são apresentadas nas tabelas 1.

**Tabela 2 – Custos de implantação das alternativas de controle**

	Custo (em R\$ 1.000)	
	Alternativa I	Alternativa II
PDDUA	43.700	23.100

Além do menor custo obtido com a implantação da alternativa II, a vazão de pico na saída da bacia com a adoção da alternativa um é cerca de 3,5 vezes menor, ou seja, 40 m<sup>3</sup>/s contra 140 m<sup>3</sup>/s (alternativa I).

### **Bacia Almirante Tamandaré**

Esta bacia possui uma área de aproximadamente 11,50 km<sup>2</sup>, e é a região onde encontramos a maior densidade de ocupação do solo, com intensas atividades públicas, comerciais, de lazer e moradias, correspondente ao Centro da cidade. Justamente nesta região, o Lago Guaíba sofre seu maior estreitamento. A combinação de ponto de maior represamento das água e maior densificação urbana, gerou a preocupação com relação à enchentes urbanas. Como alternativa de controle, toda bacia Almirante Tamandaré foi enquadrada na região de proteções contra enchentes, estando totalmente isolada do Lago Guaíba através de um sistema de dique e cortina de proteção. A drenagem da vazão gerada na bacia até o Lago Guaíba, é realizada através de Casas de Bombas, que

estão dispostas ao longo do dique e muro, e cumprem a função de proteção contra inundações, bem como de drenagem urbana.

Foi realizado o diagnóstico para a situação atual das redes de drenagem, bem como as condições de funcionamento das casas de bombas, onde verificou-se a falta de capacidade de diversos trechos das redes de drenagem, bem como a insuficiente capacidade de bombeamento de algumas casas de bombas.. O cenário de ocupação futura, em geral, não prevê forte acréscimo de urbanização, visto que nesta bacia este processo já está praticamente consolidado. Assim, foram analisadas algumas alternativas de controle para a bacia. A concepção original seria o uso de reservatórios, de forma a controlarem os excessos atualmente existentes, mais os futuros acréscimos de vazão; no entanto, esta hipótese foi abandonada tendo em vista que a Bacia Almirante Tamandaré apresenta poucas áreas possíveis de transformação em detenções, e ainda, as praças existentes não possuem cota adequada para o amortecimento das cheias. A solução encontrada foi então a ampliação da rede condutora e a capacidade das casas de bomba, com um custo da ordem de 54 milhões de reais.

### **Bacia do Arroio Passo das Pedras**

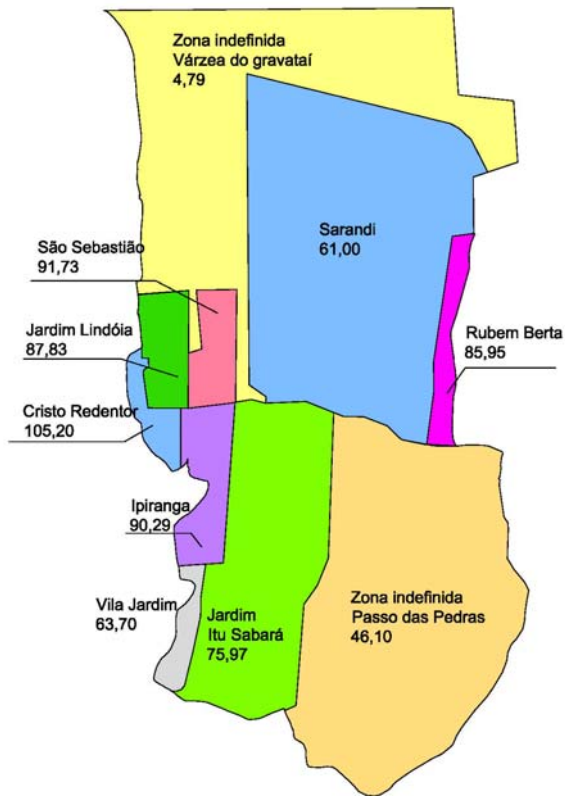
A bacia do arroio Passo das Pedras possui uma área de 21,8 km<sup>2</sup> dividida em duas áreas de drenagem: uma com 12,2 km<sup>2</sup>, drenada pelo Arroio Passo das Pedras, e a outra, com 9,6 km<sup>2</sup>, que é drenada pelo Arroio Passo da Mangueira. A bacia apresenta cotas altas a montante chegando a atingir cerca de 300 metros de altitude no seu ponto mais alto. Já a jusante da rede de drenagem apresenta-se com regiões bastante planas na cota 2m.

#### Diagnóstico

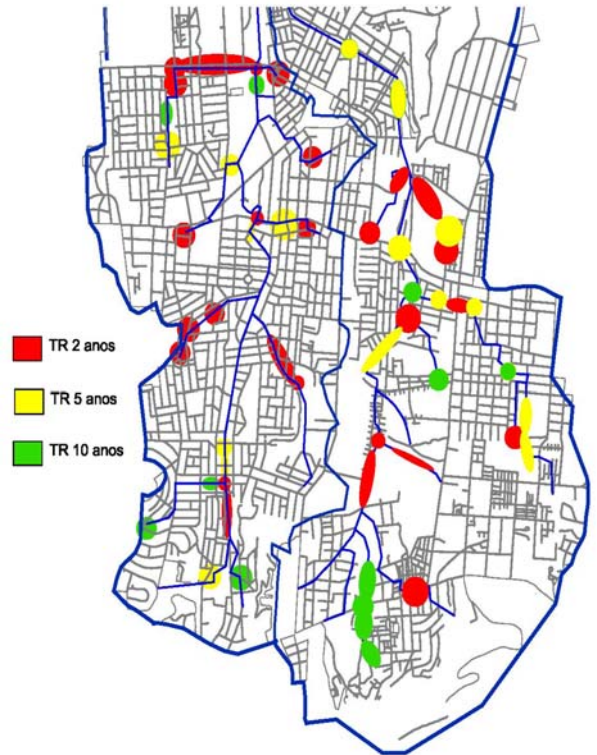
Depois de identificados os trechos de drenagem cuja capacidade já é insuficiente (figura 12) para a atual urbanização (figura 11), foram realizados novos diagnósticos, para os cenários futuros de ocupação, identificando os trechos que necessitariam ser ampliados para comportarem os acréscimos de vazão. A conclusão para esta análise foi de que uma grande parte dos trechos deveria ser ampliada ao considerar o cenário de ocupação previsto nas Macrozonas de Transporte; e que praticamente todos os trechos deveriam ser ampliados quando o cenário utilizado para a análise fosse o PDDUA (figura 13).

A ampliação das redes de drenagem levou ao dimensionamento de canais com seções grandes (por exemplo, 10x4,5m). Na figura 14 são apresentados os locais selecionados para implantação dos reservatórios de detenção na bacia para a alternativa II. A distribuição dos reservatórios promoveu um abatimento nas vazões de pico da ordem de 80% nos trechos localizados na cabeceira da bacia, 50% na região central e 30% a jusante. Com a adoção da

alternativa I, além de dobrar a vazão de pico, surge uma outra problemática na bacia; como a região de jusante possui declividades extremamente baixas, a região passa a ser afetada por um forte efeito de remanso, que se estende para montante. Esse efeito compromete a capacidade dos condutos, que tiveram que ser dimensionados de forma a suprir a falta de capacidade decorrente do remanso.

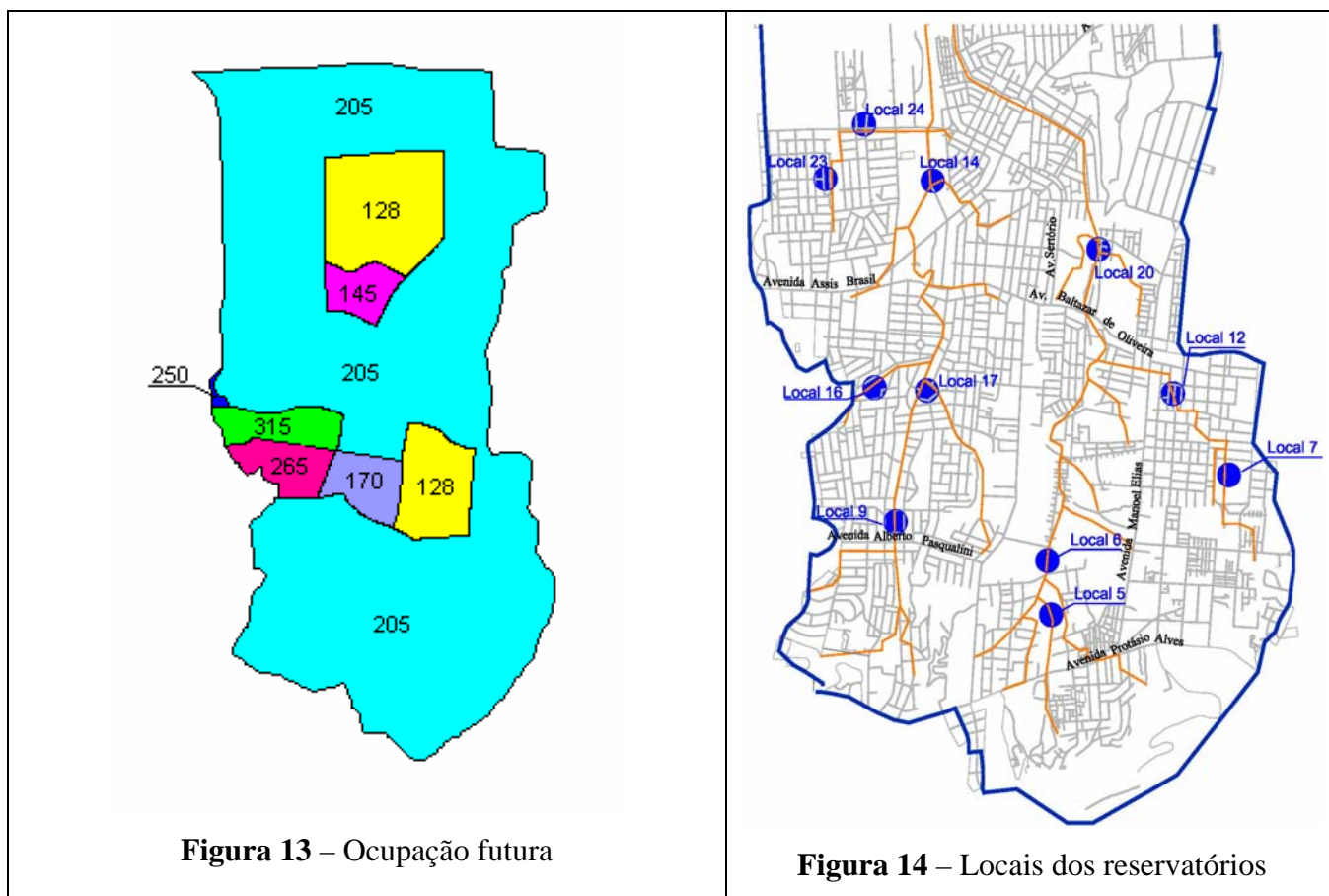


**Figura 11** – Ocupação atual



**Figura 12** – Diagnóstico da situação atual





**Figura 13 – Ocupação futura**

**Figura 14 – Locais dos reservatórios**

### Custos

Os custos de implantação das alternativas de controle são apresentadas nas tabelas 2 e 3 para os dois cenários analisados.

**Tabela 3 – Custos de implantação da Alternativa I**

Cenário	Custo (em R\$ 1.000)
Macrozonas	<b>77.979,6</b>
PDDUA	<b>106.765,0</b>

**Tabela 4 – Custos de implantação da Alternativa II**

Cenário	Custo (em R\$ 1.000)	
	Reservatórios	Redes drenagem
Macrozonas	12.146,1	23.903,2
		<b>Total: 36.049,3</b>
PDDUA	15.636,7	39.507,2
		<b>Total: 55.143,6</b>

Conforme apresentado nas tabelas acima, a adoção da alternativa de controle II é em média 100% mais barata que a alternativa I. Portanto economicamente é recomendada. Além dos custos neste estudo quantificados, existem todos os possíveis intervenientes físicos na fase de ampliação das redes de drenagem, principalmente na Alternativa I. Com relação aos cenários de planejamento,

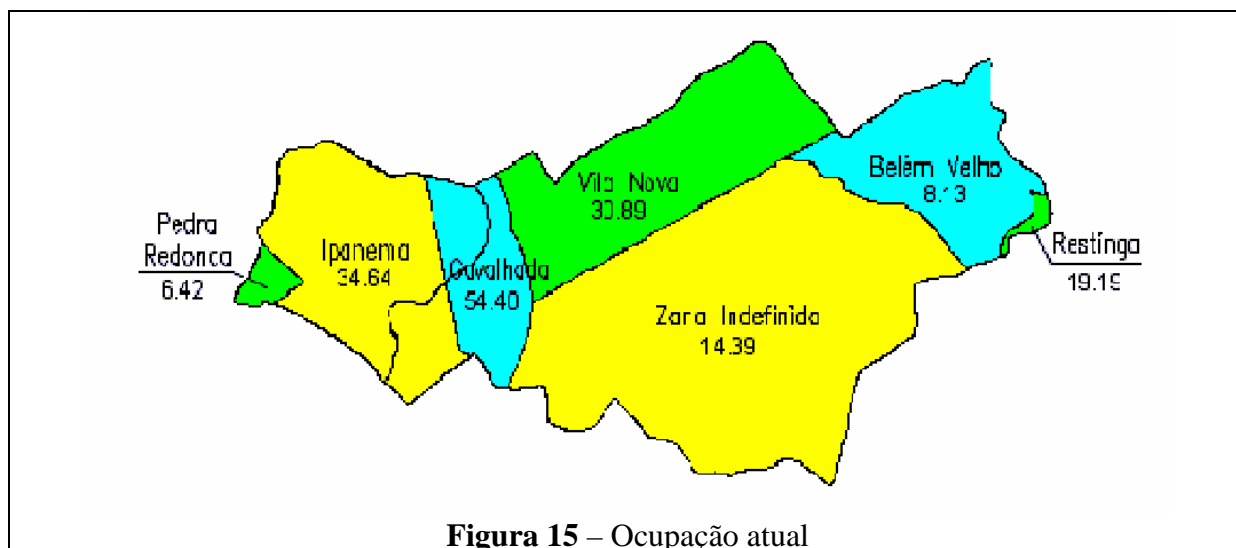
as Macrozonas de Transporte tem um custo aproximadamente 53% inferior que o PDDUA. No entanto, o horizonte temporal deste cenário é mais curto.

### Bacia do Arroio Capivara

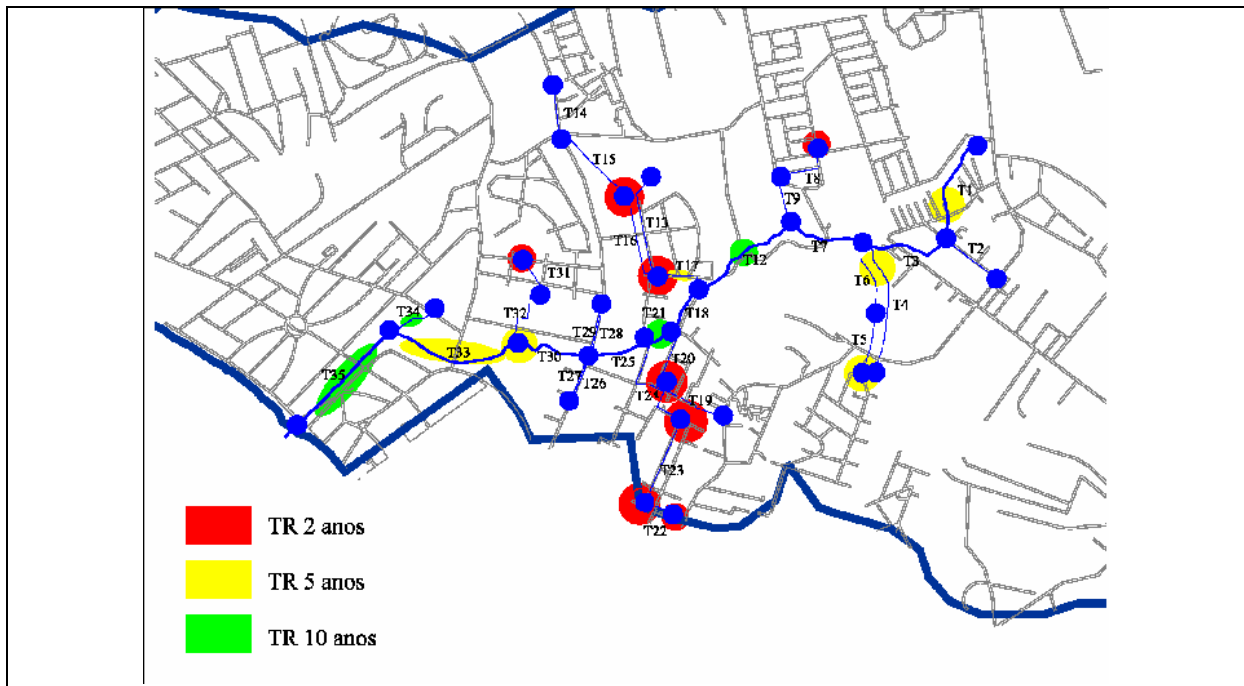
A bacia do Arroio Capivara, drenada pelo arroio de mesmo nome, possui uma área de 11,34 km<sup>2</sup>. Nesta bacia, a área a montante é muito pouco urbanizada, somente atingindo valores consideráveis de densidade populacional a jusante, próximo ao Lago Guaíba. Na sua extensão principal, o arroio não é canalizado, exceto nas seções em que cruza ruas e avenidas, e pequenas contenções perto da sua foz.

#### Diagnóstico

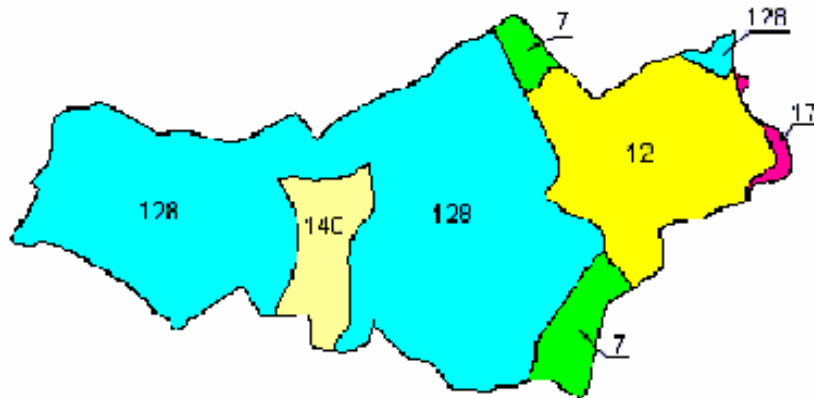
Para o cenário de ocupação atual (figura 15), os pontos potenciais de inundação estão ilustrados na figura 16, para os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos. Para 2 anos de tempo de retorno, os alagamentos predominaram a montante ou em confluências. Grande parte deste volume escoou pelas ruas, pois o escoamento dispõe de grandes declividades. A partir dos 5 anos de tempo de retorno, além das sobras de montante, começaram a aparecer os problemas no final do arroio Capivara. A partir do 10 anos de tempo de retorno, a situação se estendeu mais para montante e mais pontos a jusante.



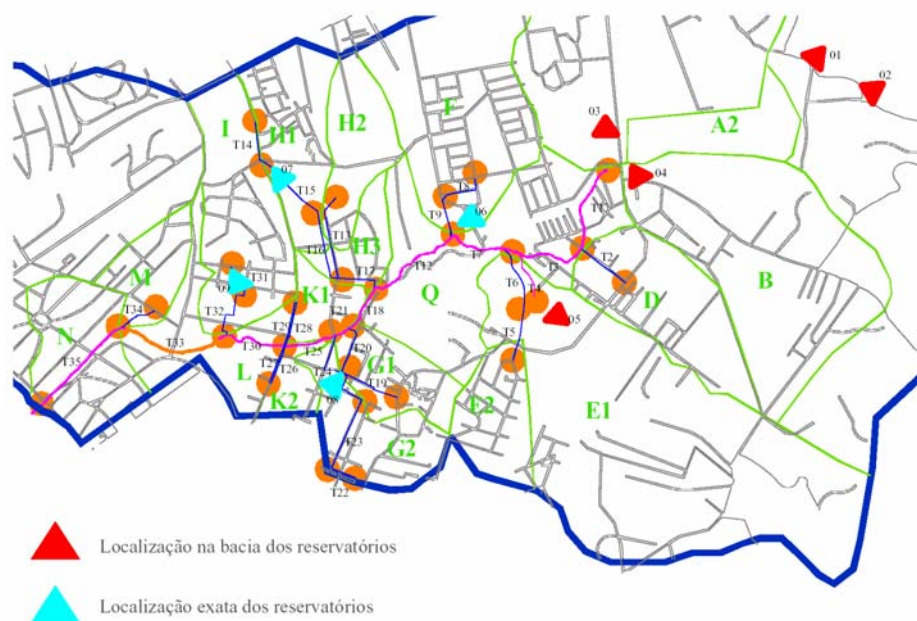
**Figura 15 – Ocupação atual**



**Figura 16** – Diagnóstico da situação atual



**Figura 17** – Ocupação futura: PDDUA



**Figura 18** – Locais dos reservatórios

Este diagnóstico mostrou que ações de controle deveriam ser tomadas na bacia para o cenário futuro (figura 17), sendo propostas as duas alternativas estruturais mencionadas acima. Na alternativa de ampliação da rede (alternativa I), inicialmente procurou-se manter as seções naturais sem nenhuma interferência. Dessa forma, a solução de ampliação somente seria viável, do ponto de vista hidráulico, se houvesse grandes ampliações a jusante no arroio Capivara, o que resulta em grandes custos e dificuldades técnicas para a sua implementação.

Na figura 18 estão os locais para a implantação dos reservatórios de retenção (alternativa II). Alguns locais não foram definidos exatamente, e estão marcados em vermelho (locais de 01 a 05). Estes locais se caracterizam pelo uso rural do solo, não havendo redes de drenagem. Foram determinados os volumes necessários e os reservatórios serão distribuídos de acordo com futuros projetos de urbanização. Os pontos em azul (locais de 06 a 09) são locais em sub-bacias já urbanizadas.

A distribuição dos reservatórios promoveu um abatimento nas vazões de pico, para as macrozonas, da ordem de 64% nos trechos localizados na cabeceira da bacia, 44% na região central e 48% a jusante. Para o cenário PDDUA, estes valores foram de 73, 48, 63%, respectivamente.

Guaíba.

### Custos

Os custos para a alternativa I, ampliação dos condutos, estão na tabela 5, para os dois cenários de ocupação futura. Os custos para a alternativa II, reservatórios de retenção e ampliação de alguns condutos, estão na tabela 6, para os dois cenários de ocupação futura.

**Tabela 5 – Custos de implantação da Alternativa I**

Cenário	Custo (em R\$ 1.000)
Macrozonas	<b>24.429,4</b>
PDDUA	<b>33.812,0</b>

**Tabela 6 – Custos de implantação da Alternativa II**

Cenário	Custo (em R\$ 1.000)	
	Reservatórios	Redes drenagem
Macrozonas	13.400,0	6249,6
		Total: <b>19.712,3</b>
PDDUA	17.863,0	8903,3
		Total: <b>26.766,3</b>

### **Bacia do Arroio Cavallhada**

A bacia do Arroio Cavallhada possui uma área de aproximadamente 24,52 km<sup>2</sup>, sendo drenada em direção ao Lago Guaíba. Os principais afluentes do arroio Cavallhada são o Arroio Passo Fundo e o Arroio do Morro Teresópolis. A bacia tem uma alta velocidade de resposta nas áreas da



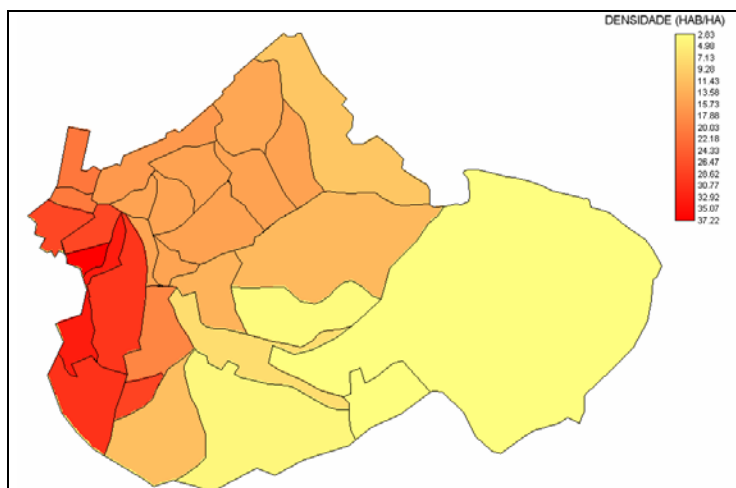
cabeceira, que se contrapõe com a baixa capacidade de drenagem da região plana, provocando uma situação extremadamente crítica para o escoamento, dado que as águas descem com alta velocidade, sendo freadas na região plana de jusante, onde ainda existe o problema de remanso causado pelo lago Guaíba. Nas margens dos arroios, principalmente nas regiões urbanizadas, a população tem invadido a área de drenagem do arroio

### Diagnóstico

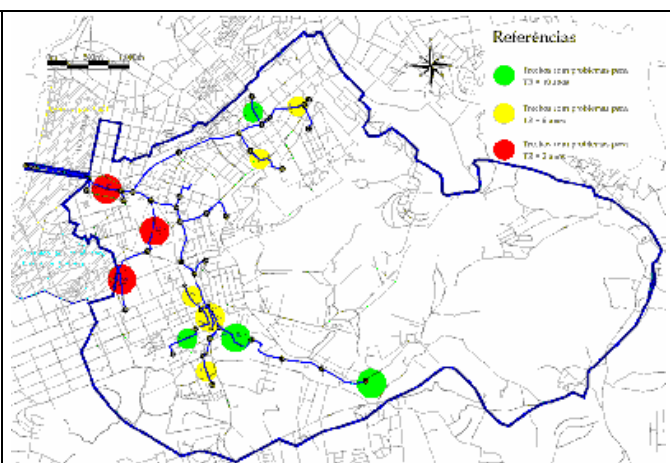
Na figura 19 é apresentada a atual ocupação na bacia, e na figura 20 o diagnóstico realizado para avaliar as condições atuais das redes de drenagem, frente a precipitações com diferentes períodos de retorno.

Para os cenários futuros de ocupação da bacia (figura 21) a rede apresentou sérios problemas de drenagem, devendo propor-se alternativas para melhorar a capacidade das mesmas. Assim, foram analisadas as alternativas I e II.

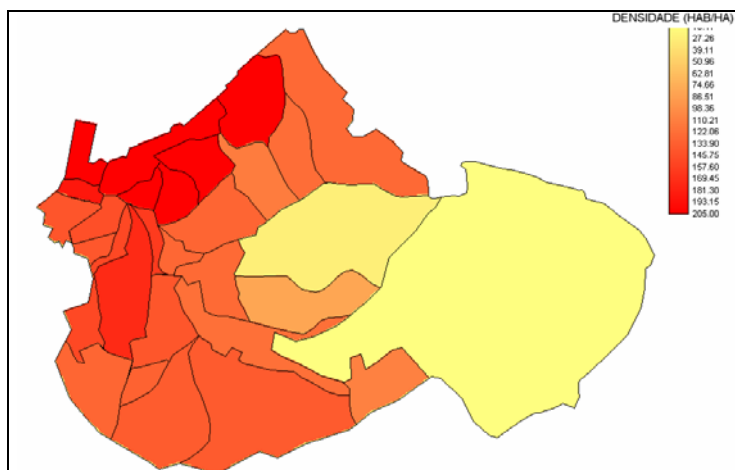
Na figura 22 é apresentada a localização dos reservatórios propostos. Embora os reservatórios de detenção não puderam ser localizados na posição ótima, a solução que prevê implantação de reservatórios de detenção mostrou-se a melhor sob pontos de vista econômicos e ecológicos, visto que a vazão de pico na saída da bacia foi de aproximadamente 100 m<sup>3</sup>/s, enquanto para a ampliação dos condutos a vazão atingiu 250 m<sup>3</sup>/s.



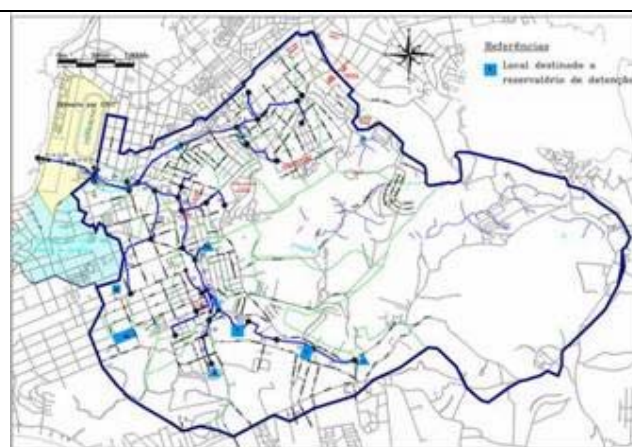
**Figura 19** – Densidade atual.



**Figura 20** – Diagnóstico da situação atual.



**Figura 21** – Densidade Futura (PDDUA)



**Figura 22** – Localização dos reservatórios de detenção projetados

### Custos

Também sob o ponto de vista econômico a alternativa I (tabela 7) mostrou-se menos atrativa que a alternativa II (Tabela 8).

**Tabela 7** – Custos de implantação da Alternativa I.

Cenário	Custo (em R\$ 1.000)
Macrozonas	85.766
PDDUA	96.562

**Tabela 8** – Custos de implantação da Alternativa II

Cenário	Custo (em R\$ 1.000)	
	Reservatórios	Redes drenagem
Macrozonas	18.593*	28.478
		Total: <b>47.000</b>
PDDUA	18.593	29.720
		Total: <b>48.000</b>

\*Nesta bacia adotou-se que os reservatórios seriam dimensionados para o cenário PDDUA.

O custo de implementação dos reservatórios foi similar para ambos cenários utilizados, pois o critério utilizado nesta bacia foi de reservar o espaço dos reservatórios para o futuro. Se o espaço não é ocupado a área tende a ser invadida ou destinada a outros usos, impossibilitando a futura ampliação dos reservatórios.

## CONCLUSÕES

Ao longo da elaboração dos PDDrUs verificou-se que a melhor alternativa para o controle dos excessos nas bacias foi a implementação de reservatórios de detenção, frente à solução de ampliação das redes de drenagem.

Além de resolver os problemas da bacia de uma forma mais sustentável, foi possível manter as seções dos canais da forma mais próxima possível com as características originais, reduzir significativamente as vazões de pico, e economicamente controlar as vazões com a metade do valor necessário para a ampliação da rede.

O tratamento integrado dos problemas da bacia permitiu um melhor planejamento das alternativas de controle, foi possível por exemplo, planejar um maior controle das vazões em uma sub-bacia, em detrimento de outra, na qual não foi viável a implementação de um reservatório de detenção.

É fundamental que os PDDrUs contem com a participação do organismo da prefeitura responsável pelo sistema de drenagem, para que este possa alertar sobre as reais necessidades de cada bacia, os principais problemas, acompanhar o desenvolvimento do PDDrU, bem como orientar a elaboração das ações necessárias. É necessário também que durante a elaboração do PDDrU seja respeitada a opinião da população sobre a intervenção proposta em cada bacia, garantindo assim que a implementação das medidas de controle sejam efetivadas sem resistência, e de forma mais rápida.

## **BIBLIOGRAFIA**

- DEP-IPH, 2002. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre, 2ª etapa, Departamento de Esgotos Pluviais, Prefeitura Municipal de Porto Alegre; Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- IPH, 1998. Sistema de Simulação Precipitação-Vazão IPHS1. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.
- NEVES, M. G. F., 2000. Modelo Hidrodinâmico de Redes de Drenagem de Águas Pluviais: Aplicabilidade. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Dissertação (Mestrado).
- RAMSEYER, J. S., 1996. Modelo Hidrológico-hidrodinâmico de redes de pluviais. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 106f. Dissertação (Mestrado).
- TUCCI, C.E.M. 1993 . Hidrologia. Ed. da Universidade/UFRGS/ABRH. Porto Alegre.
- UPRCT, 1994. On-site Stormwater Detention Handbook, 2<sup>th</sup> Edition. Parramatta, Austrália.
- VILLANUEVA A. O. N., 1990. Modelo para Escoamento não Permanente em uma Rede de Conduitos. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 83f. Dissertação (Mestrado).