

An aerial photograph of a residential neighborhood with a flooded street and a large pool of water. The houses have red-tiled roofs, and the water is a dark, murky color. The text is overlaid on the image.

# Curso de Gestão de Águas Pluviais

Capítulo 5

## PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA

**Dr. Carlos E. M. Tucci**

**Rhama Consultoria Ambiental**

**[blog.rhama.net](http://blog.rhama.net)**

Versão 10-08-2013

# Plano Diretor de Águas Pluviais

- A gestão das águas pluviais dentro do município é realizada dentro do Plano de Águas Pluviais ou também chamado de Plano de drenagem Urbana ;
- Deve estar subordinado ao Plano de Saneamento e ao Plano Diretor urbano das cidades;
- O Plano Diretor de Águas Pluviais não é apenas um Plano de obras;
- O programa de organizar o setor de águas pluviais da cidade

# Conteúdo

- Interface entre os Planos
- Características dos sistemas
- Estrutura
- Política
- Medidas
- Produtos
- Programas

# Interface entre os Planos

- A interface entre os diferentes componentes externos ao Plano de Águas Pluviais é essencial;
- O ideal é um Plano único representado pelo Plano de Saneamento Ambiental com cada um dos componentes
- Para cidades maiores provavelmente são necessários planos independentes, mas com o componente de interface;
- Nas cidades menores poderá ser elaborado um único plano



# Esgoto sanitário e drenagem

(a) *sem drenagem ou esgotamento sanitário*: este é o caso de países mais pobres ou cidades pobres em países da região.

(b) *com esgotamento sanitário e sem drenagem*: A capacidade de um sistema de esgoto sanitário é insuficiente para receber o esgoto pluvial que escoam pelas ruas. Os problemas maiores são o de aumento das inundações, tornando insustentável as cidades nos dias chuvosos.

(c) *sem esgotamento sanitário e com drenagem*: Este é o caso frequente no Brasil, onde a drenagem tem maior capacidade maior de transporte, escoam esgoto e drenagem. Este cenário permite levar o esgoto para longe das pessoas, mas o impacto ambiental sobre o sistema fluvial é alto e nos dias chuvosos o risco de proliferação de doenças é alto e no período seco, existe cheiro ruim pelas cidades.

# Drenagem urbana e Erosão e resíduos sólidos

- *Erosão* desenvolvimento urbano acelera o escoamento gerando erosão em solos frágeis, gerando impactos significativos no ambiente urbano. A gestão deste problema está no treinamento de profissionais e na regulação dos novos empreendimentos para diminuir a energia do escoamento a jusante dos empreendimentos;
- *Produção de resíduos sólidos*: os resíduos sólidos que chegam a drenagem produzem impactos ambientais a jusante e reduzem a capacidade do escoamento, aumentando a frequência das inundações. Quanto mais ineficiente for o sistema de coleta de resíduos de uma cidade, maior é o ônus para o sistema de drenagem.

# Aspectos ambiental

Todos os elementos do Plano de Saneamento Ambiental possuem relação direta com a conservação ambiental do ambiente urbano. Os efluentes e resíduos urbano contaminam a água e o solo, além de gerar degradação distribuída na cidade. O Plano ambiental da cidade está principalmente ligado ao Plano de Saneamento Ambiental aos seguintes aspectos :

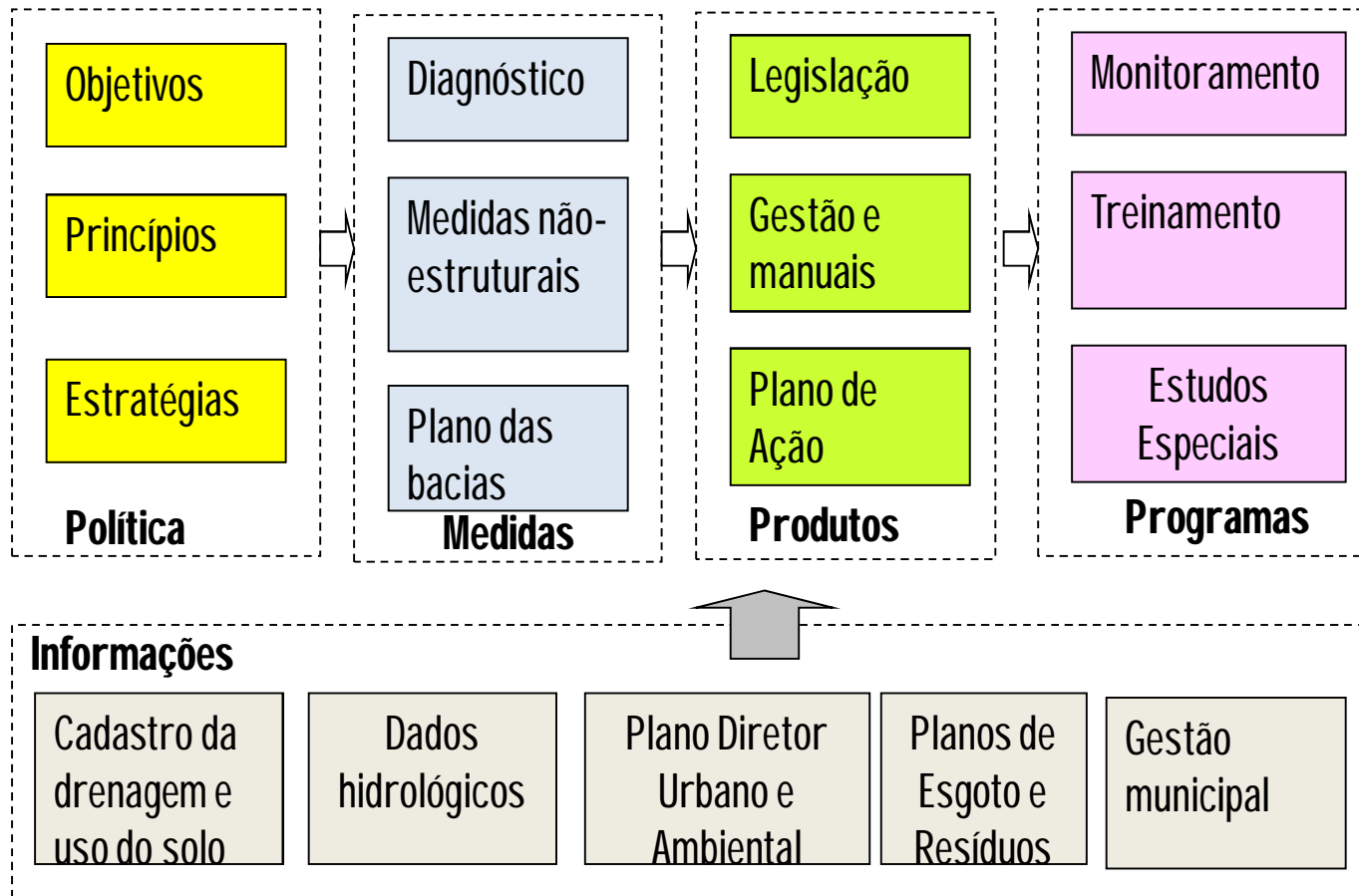
- qualidade da água dos rios urbanos;
- áreas de degradação devido a erosão;
- controle das áreas de deposição de resíduos sólidos;
- contaminação dos aquíferos urbanos.

# Estrutura

- Política de Águas Pluviais
- Medidas: não-estruturais e estruturais
- Produtos
- Programas
- Informações



# Estrutura



# Política

- Princípios e objetivos do controle das águas pluviais;
- Estratégias de desenvolvimento do plano como a compatibilidade entre os Planos preparados para a cidade;
- Definição de cenários de desenvolvimento urbano e riscos para as inundações;

# Princípios

1. *Plano Diretor de Drenagem Urbana faz parte do Plano Diretor Urbano.*
2. O escoamento durante os eventos chuvosos não pode ser ampliado pela ocupação da bacia.
3. *impactos de quaisquer medidas não devem ser transferidos sem mitigação.*
4. O Plano deve prever a *minimização do impacto ambiental devido ao escoamento pluvial*
5. O Plano Diretor de Drenagem urbana, *na sua regulamentação, deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas.*

# Princípios

6. O controle deve ser realizado considerando a bacia como um todo e não em trechos isolados;
7. O controle permanente: o *controle de enchentes é um processo permanente*; (a) Nenhum espaço de risco seja desapropriado se não houver uma imediata ocupação pública que evite a sua invasão; (b) A comunidade tenha uma participação nos anseios, nos planos, na sua execução e na contínua obediência das medidas de controle de enchentes.
8. A educação: a educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profissionais, da população e de administradores públicos é essencial para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente por todos;

# Princípios

9. O custo da implantação das medidas estruturais e da operação e manutenção da drenagem urbana deve ser transferido aos proprietários dos lotes, proporcionalmente a sua área impermeável, que é a geradora de volume adicional, com relação as condições naturais;
10. O controle do escoamento urbano deve priorizar a sustentabilidade distribuindo as medidas para aqueles que produzem o aumento do escoamento e a contaminação das águas pluviais;
11. É essencial uma gestão eficiente na manutenção de drenagem e na fiscalização da regulamentação.

# Objetivos

- Planejar a distribuição da água pluvial no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infra-estrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais;
- Controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de regulamentação;
- Convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco.

# Estratégias

- Desenvolvimento urbano
- Ambiental
- Risco
- Cenários
- Distribuição dos custos
- metas

# Desenvolvimento urbano

- Para as áreas não-ocupadas: desenvolvimento de medidas não-estruturais relacionadas com a regulamentação da drenagem urbana e ocupação dos espaços de riscos, visando conter os impactos de futuros desenvolvimentos. Estas medidas buscam transferir o ônus do controle das alterações hidrológicas devida à urbanização para quem efetivamente produz as alterações;
- Para as áreas que estão ocupadas o Plano desenvolve estudos específicos por macro-bacias urbanas visando planejar as medidas necessárias para o controle dos impactos dentro destas bacias, sem que as mesmas transfiram para jusante os impactos já existentes. Neste planejamento são priorizados os usos de armazenamento temporário através de detenções.



# Meio ambiente

- Para as áreas onde não existe rede de esgoto sanitário ou existe grande quantidade de ligações de efluentes sanitários na rede pluvial, as medidas de controle priorizaram o controle quantitativo. *Sistema de Transição*
- Quando a rede cloacal estiver implementada, o Plano no seu segundo estágio, pode ser implementado, modificando-se o sistema de escoamento junto as detenções para que as mesmas possam também contribuir para o controle da qualidade da água do pluvial. *Sistema Separador*
- Para o controle da *contaminação dos aquíferos* e o controle de material sólido deverão ser criados programas de médio prazo visando a redução desta contaminação através de medidas distribuídas pela cidade.

# Risco

- Para macrodrenagem de bacias maiores e com prejuízos altos 25 a 50 anos
- Para macrodrenagem local 10 a 25 anos.
- Para definição das áreas ribeirinhas de risco 100 anos
- o ideal é a avaliação do TR adequado com base na relação benefício x custo.
- Este tipo de função tem limitações em áreas urbanas

# Cenários

- *I – Atual*: Condições de urbanização atual, obtida de acordo com estimativas demográficas e imagens de satélite;
- *II - Cenário atual + PDDUA*: Este cenário envolve a ocupação atual para as partes da bacia onde o Plano foi superado na sua previsão, enquanto que para as áreas em que o Plano não foi superado.
- *III - Cenário de ocupação máxima*: Este cenário envolve a ocupação máxima de acordo com o que vem sendo observado em diferentes partes da cidade que se encontram neste estágio. Este cenário representa a situação que ocorrerá se o disciplinamento do solo não for obedecido.

# Metas

- Eliminar os locais de alagamento para um determinado risco e cenário de desenvolvimento urbano;
- Reduzir a poluição pluvial em 80% para o cenário de planejamento;
- Reduzir a valores internacionais aceitáveis a quantidade de resíduos sólidos na drenagem

# Situação dos serviços

- Existe um número muito reduzido de cidades que possuem serviços de Águas Pluviais.
- Com exceção de Porto Alegre e Santo André as cidades possuem um departamento dentro de uma secretaria que presta este serviço de forma muito precária;
- Geralmente não possuem orçamento bem definido, limpam as condutos somente quando inunda e não analisam os projetos de urbanização para controlar os impactos.
- O número de funcionários é limitado e não existe cadastro da rede de drenagem. Portanto é como se não existisse o serviços

# Tendência

- O Ministério das Cidades tem exigido os Planos para emprestar para as cidades;
- O plano acaba sendo apenas um Plano de obras;
- Neste cenário nada acontecerá e os problemas continuarão se agravando por falta de prestador de serviços e regulador para drenagem urbana.
- Atualmente somente Santo Andre cobra pelo serviço e mesmo assim não cobre os custos dos serviços

# Problemas na recuperação de custo

- Muitas cidades se envidaram-se em drenagem no passado por não distribuírem os custos das benfeitorias;
- Custos de investimentos e de operação e manutenção
- Custos de *implementação das obras de macrodrenagem* e outras medidas estruturais para controle dos impactos existentes na cidade. Estes custos estão distribuídos pelas bacias hidrográficas através do Plano de cada bacia. Além disso, este custo ocorre quando da sua implementação;
- Custos de *operação do sistema de drenagem* existente da rede de pluvial, que envolve a limpeza, manutenção dos condutos e solução de problemas localizados. Este custo deve ser distribuído pelos usuários da rede de drenagem

# Medidas não-estruturais

- legislação e regulamentação sobre o aumento da vazão devido a urbanização e a ocupação da área de risco de áreas ribeirinhas;
- gestão dos serviços urbanos relacionados com as águas pluviais.



# Legislação e regulamentação

- **Regulamentação da drenagem urbana:** uso de regulamentação para controle da drenagem urbana para os locais a serem desenvolvidos tanto em nível de novos loteamentos como na densificação, que envolve a aprovação de obras em áreas já loteadas. A avaliação do Plano Diretor de Porto Alegre e o decreto apresentado em anexo A é um exemplo de regulamentação que pode ser utilizada no Plano Diretor urbano.
- **Regulamentação das áreas ribeirinhas:** este componente trata da definição das zonas de passagem da inundação e das zonas de regulamentação e o uso de definições discutidas no capítulo 5, visando evitar a densificação da população em áreas de risco de inundação ribeirinha.

# Regulamentação

- A regulamentação tem como objetivo prevenir contra os impactos transferidos dentro da cidade
- Os principais impactos são: redução da recarga, aumento da vazão e da erosão, redução da qualidade da água e áreas de risco de inundação ribeirinha
- Controles : devem atuar sobre estes impactos.

Efeito	Impactos	Objetivo	Ação	Regulamentação
Recarga do Aquífero	Diminuição do lençol freático	Manter a recarga	Infiltração na área desenvolvida	Garantir a recarga média anual
Qualidade da água	Aumento da carga de poluentes na água superficial e subterrânea	Reduzir a 80% da carga da qualidade da água	Reter o volume dos sólidos suspensos das superfícies urbanas <sup>1</sup>	O controle é realizado para o volume da chuva de 1 a 2 anos e 24 horas.
Erosão	Erosão do leito dos canais	Reduzir a energia do escoamento	Restringir a vazão pré-desenvolvimento e dissipar a energia	O controle é realizado armazenando a chuva de 1 a 2 anos de 24 horas.
Drenagem Urbana	Inundação na drenagem urbana devido ao aumento da vazão.	Manter a vazão de pico menor ou igual a de pré-desenvolvimento	Com infiltração ou amortecimento na área desenvolvida	Evento de cheia com tempo de retorno de 10 a 25 anos e 24 horas.
Áreas ribeirinhas e eventos extremos	Ocupação do solo	Reduzir a população na área de risco e medidas preventivas	Medidas não-estruturais como zoneamento e alerta.	Zoneamento de áreas de inundação para a cheia de 100 anos.

# Padrões de Regulação: USA

Impacto	Critérios de controle
Qualidade da água	Tratar 85% do volume de escoamento médio de um ano, traduzido por uma precipitação total diária
Erosão	Controle a chuva de 1 ano por 24 horas na detenção para evitar erosão
Inundação na macrodrenagem	Controle da chuva de projeto de T tempo de retorno (10, 25 ou outro)
Chuvas extremas ou inundação ribeirinha	Gestão para a área ribeirinha e controle para inundação de 100 anos

# Regulação com incentivo a infiltração

- *Taxas para área impermeável* – Na Europa é cobrado E \$ 1,3/m<sup>2</sup> de área impermeável por ano de imposto. Por exemplo uma casa com 300 m<sup>2</sup> pagaria cerca de E\$ 390/ ano. As áreas que escoam para áreas de infiltração não pagam;
- *Proibição de escoamento direto* - Projetos de águas pluviais são proibidos de direcionar o escoamento de áreas impermeáveis diretamente ao pluvial público, necessitam passar por áreas de infiltração;
- *volume de retenção* – Na proposta de decreto em Porto Alegre foi utilizado o condicionante da vazão de pré-desenvolvimento e obtida a equação do volume. O projetista foi orientado a reduzir seu volume utilizando dispositivos na fonte.

# Controle do Pico

- Procura evitar que a vazão de novos empreendimentos sejam maiores ou iguais ao de pré-desenvolvimento.
- Necessário definir o risco de controle, a vazão de pré-desenvolvimento e relações que permitam estimar as medidas de controle.
- Critério utilizado em Porto Alegre para a vazão de pré-desenvolvimento se baseia no tempo de retorno de 10 anos.
- O controle é realizado pelo conduto de ligação com a rede pública

# Decreto de Porto Alegre

Art. 1º Toda ocupação que resulte em superfície impermeável, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de pluviais menor ou igual a 20,8 l/(s.ha).

Art. 3º A comprovação da manutenção das condições de pré-ocupação no lote ou no parcelamento do solo deve ser apresentada ao DEP (Departamento de Esgoto Pluviais).

§ 1º Para terrenos com área inferior a 100 (cem) hectares quando o controle adotado pelo empreendedor for o reservatório, o volume necessário do reservatório deve ser determinado através da equação:

$$v = 4,25 AI$$

onde  $v$  é o volume por unidade de área de terreno em m<sup>3</sup>/hectare e  $AI$  é a área impermeável do terreno em %.

§ 2º O volume de reservação necessário para áreas superiores a 100 (cem) hectares deve ser determinado através de estudo hidrológico específico, com precipitação de projeto com probabilidade de ocorrência de 10% em qualquer ano (Tempo de retorno = 10(dez) anos).

# Redução do Volume

§ 3º Poderá ser reduzida a quantidade de área a ser computada no cálculo referido no §1º se for (em) aplicada(s) a(s) seguinte(s) ação (ões):

Aplicação de pavimentos permeáveis (blocos vazados com preenchimento de areia ou grama, asfalto poroso, concreto poroso) – reduzir em 50% a área que utiliza estes pavimentos;

Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis com drenagem – reduzir em 40% a área de telhado drenada;

Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis sem drenagem – reduzir em 80% a área de telhado drenada;

Aplicação de trincheiras de infiltração – reduzir em 80% as áreas drenadas para as trincheiras.



# Resultados da política de Porto Alegre

- Mais de 200 estruturas de armazenamento, localizadas em áreas públicas e privadas, em sua grande maioria bacias de detenção.
- A maior parte das estruturas são construídas em areia ou grama, e localizam-se em áreas privadas, principalmente loteamentos.
- São usados em média de 100 a 150 m<sup>3</sup>/ha para os reservatórios para este controle ou da ordem de 2% da área de contribuição da drenagem

# Resultados econômicos

- Nos primeiros seis anos houveram custos aproximados de R\$ 10 milhões que não foram transferidos para a cidade, mas cada empreendimento tomou conta do seu impacto, sem receber subsídios do ambiente.
- Os custos para conter este impactos na macrodrenagem com canalização seria da ordem de R\$ 60 milhões
- Redução de R\$ 10 milhões / ano de resultado devido a legislação.

# Principais dificuldades

- Manutenção não tem sido eficiente por parte da Prefeitura;
- A tendência maior de busca a desobediência geralmente é dos órgãos públicos;
- Por exemplos as pontes mais recentes construídas na cidade no arroio Diluvio tem reduzido a sua capacidade de escoamento em 50%
- Estes problemas são frequentes em quase todas as cidades

# Certificação Ambiental

- Novos desenvolvimentos
- Desenvolvimento sustentável
- deve buscar identificar um conjunto de indicadores de estado (critérios) coerentes com características locais, incluindo aspectos culturais
- Cobrado e incentivado para dar valor agregado aos empreendimentos

# Gestão das águas pluviais

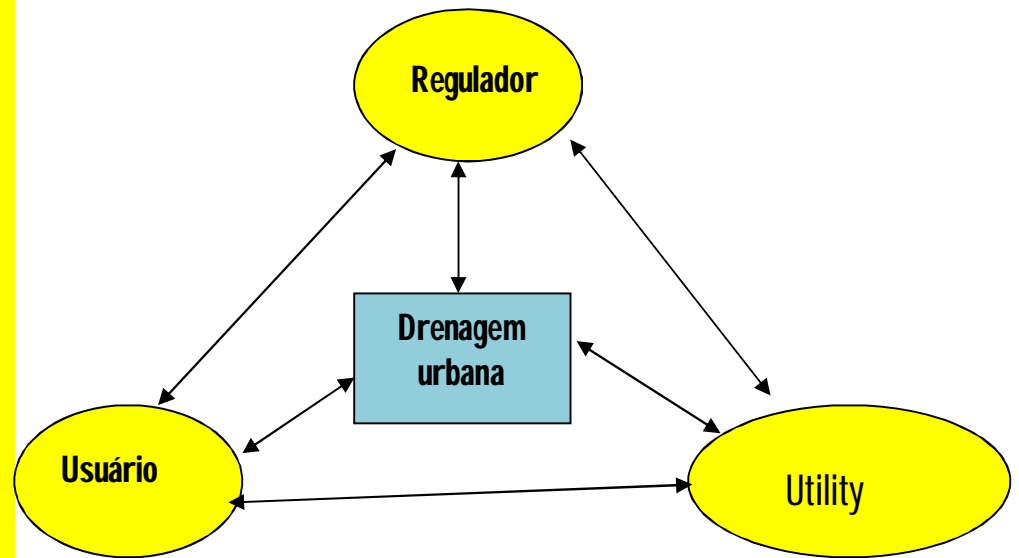
- Implementação do Plano de Águas Pluviais nos seus diferentes aspectos;
- Serviços de avaliação e aprovação de projetos relacionados com águas pluviais;
- Manutenção do sistema de águas pluviais;
- Desenvolvimento dos programas previstos no Plano;
- Revisão quinzenal do Plano quanto à eficiência e correções
- O cenário Ideal é de que a gestão de águas pluviais, esgoto sanitário e resíduos sólidos estejam dentro da mesma entidade.

# Gestão

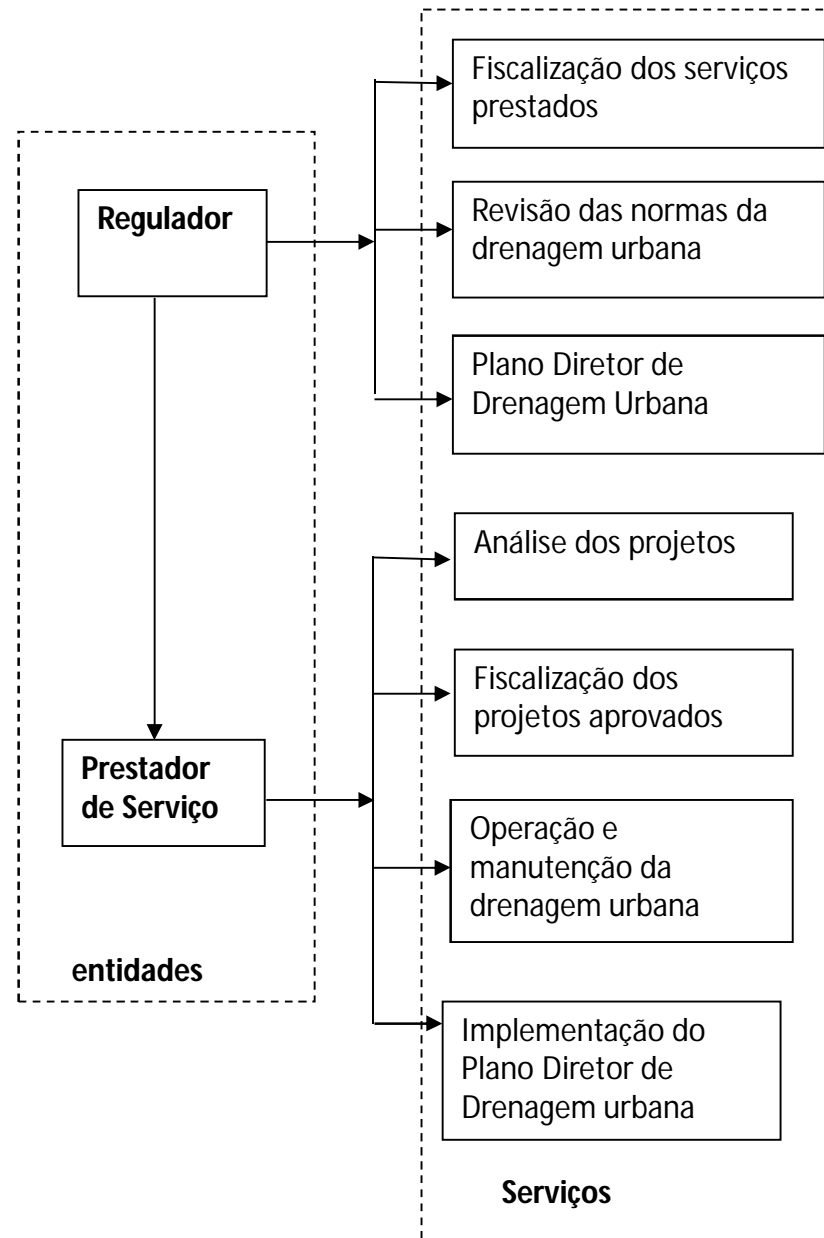
- Definição de instituição ou instituições de gestão das águas urbanas e, em especial de águas pluviais
- Organização da instituição e ou instituições para atendimento dos serviços
- Estratégia de funcionamento
- Capacitação da equipe
- Base de Informação
- Recuperação de custo e sustentação

# Modelo de Gestão

- REGULADOR é de fiscalização dos serviços prestados, gestão de informação e revisão e controle dos preços dos serviços e ouvidoria ;
- PRESTADOR DE SERVIÇO: Utility incorpora os serviços de drenagem urbana;
- *Proprietários ou usuários:* participação pública no processo de gestão e fiscalização dos serviços que atendem a população.



# Atividades previstas





# Modelo de recuperação de custo

- **Modelo de gestão difuso:** recuperação de custo por impostos existentes e uniformes na cidade praticamente utilizado nas cidades brasileiras.
- **Modelo baseado na fonte de impactos:** a lei de saneamento prevê que os serviços possam ser remunerados com base na área impermeável. A área impermeável aumenta o escoamento superficial da ordem de 6,25 vezes com relação a condição natural para uma chuva de risco médio. Maior dificuldade devido ao efeito político de cobrança adicional.

# Forma de cobrança

- O Supremo Federal decidiu sobre o serviço de Lixo que somente seria possível cobrar na forma de taxa dos usuários;
- Este tipo de serviço pode ser cobrado de forma diferenciada entre usuários se houver diferenciação de condições;
- Nos Estados Unidos existem cidades que cobram como tarifa de prestação de serviço e outras como taxa).

# Modelos de cobrança

- Baseado no custo direto que cada propriedade impacta o sistema de drenagem medido pela área impermeável;
- Baseado na distribuição das áreas impermeáveis e na diferenciação entre usuários. Nos Estados Unidos é calculado a área impermeável média e estabelecida uma tarifa média. Os usuários com maior área impermeável pagam proporcionalmente a mesma;
- Pode-se utilizar a justificativa de cobrança como uma compensação ambiental da ocupação urbana.

# Taxa de drenagem: Experiências

- No Brasil somente Santo André possui cobrança da taxa; É realizado junto com a cobrança da água; Se baseia na área construída em planta
- Valor médio da taxa em 2005 era R\$ 2,50/mês por propriedade, mas atendia apenas 50% das necessidades; Corrigindo o valor espera-se que o valor necessário seria entre R\$ 7 e 8/mês.
- Este valor se beneficia da escala de serviços do SAMASA que atende água, esgoto, drenagem, resíduos sólidos.

# Experiências

- Em 1998 Scholl estimava que um valor mínimo inicial seria da ordem de US\$ 3/propriedade mês.
- Em 2005 era da ordem de US\$ 4-5/propriedade mês
- Valores recentes
- San Jose (CA) US\$ 5,88/mês/propriedade
- Sacramento (CA) US\$ 11,31/mês/propriedade
- Del Mar (CA) US\$ 6,24
- Resumindo nos USA é da ordem de US \$ 6 por propriedade/mês. Convertendo R\$ 10,0/propriedade/mês

# Estimativa em Porto Alegre- 2009

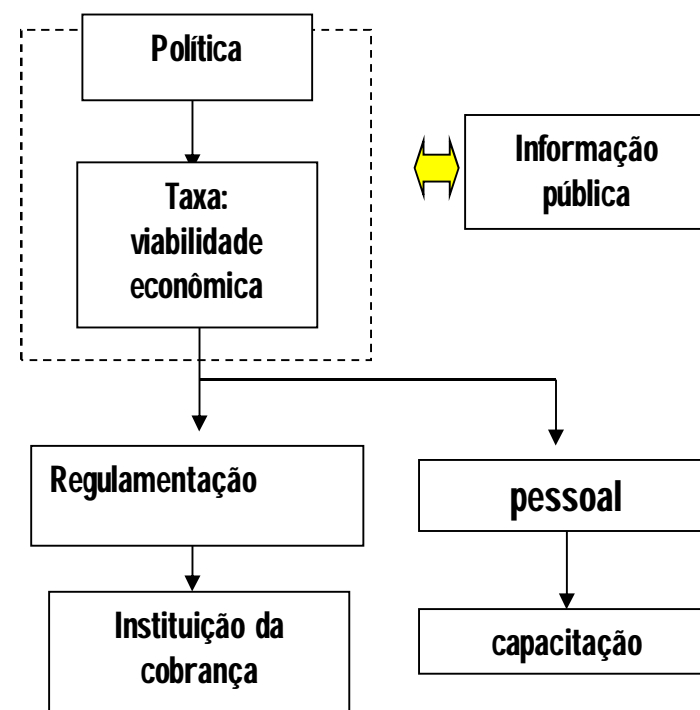
1. Área urbana total 156,12 km<sup>2</sup> e população de 1515 338, com densidade de 97 hab/ha
2. Área privada 65% e lote médio de 350 m<sup>2</sup>, resultam em 289.943 propriedades; 3000 km de rede pluvial
3. Não foi possível separar todos os custos de acordo com serviços e obras. Aproximadamente R\$ 39 milhões
4. Este custo tem gordura de funcionários públicos e atende também serviços de cheias ribeirinha (manutenção de casas de bomba)
5. A taxa média seria R\$134/ano ou R\$ 11,2/mês (valores de 2009). Para uma taxa de área impermeável média de 50%, 175 m<sup>2</sup> estariam pagando R\$ 0,77/m<sup>2</sup>.

# Resumo

- A taxa média tem variado de R\$ 7 a 10/mês/propriedade, considerando Brasil e exterior
- Custo menor para que impermeabiliza
- Custo maior para áreas impermeabilizadas
- Pouco incentivo para edifícios (valor pequeno se dilui)
- Maior incentivo para residências (valor importante para uma família)

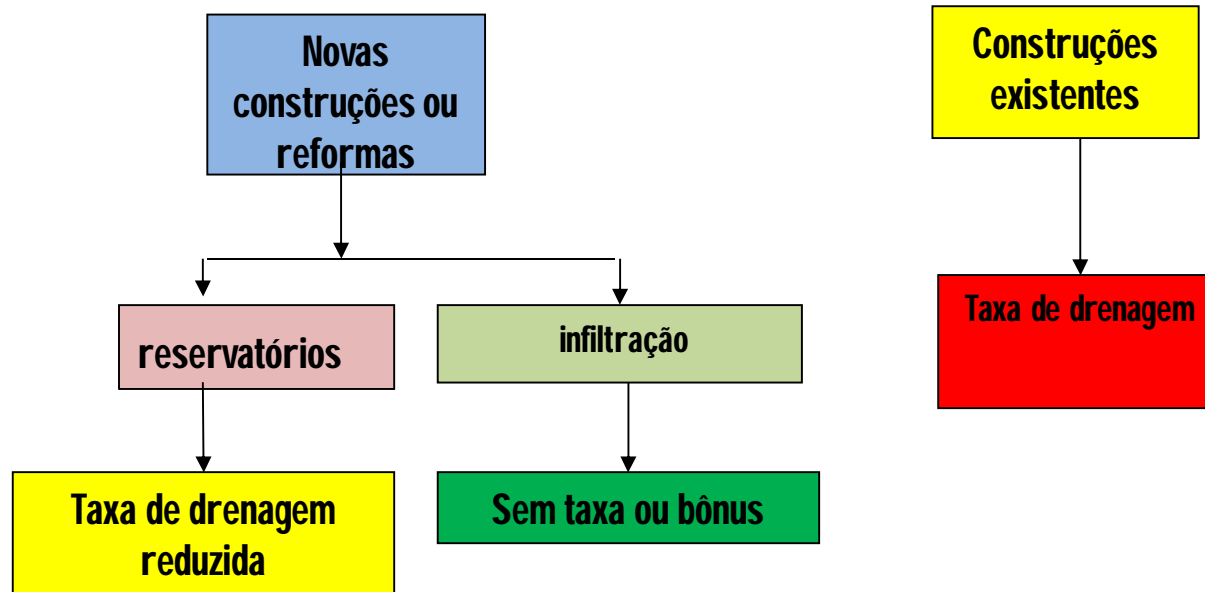
# Criação do prestador de serviço

- As etapas da implantação do prestador de serviço:
- Definição da política e da taxa, tornando público;
- Montar equipe e sua capacitação;
- Regulamentação e instituição da cobrança.





# Formas de cobrança



# Desafios

- Falta de qualificação técnica generalizada tanto a nível de governo como de empresas de consultoria;
- Dificuldades políticas de uma nova taxa. No entanto podem ser superados com o uso do conceito de compensação ambiental, aumentando o custo para os que impermeabilizam mais;
- Blindagem política com regulador confiável e metas bem definidas;
- Forma de implementar : Programa Estadual com apoio aos municípios.

# Estratégia para as medidas não-estruturais

- *Regulação para controle dos impactos futuros* : a vazão dos novos empreendimentos não podem aumentar com relação as condições naturais
- *Regulação para cobrança das construções existentes* dos custos de O & M e para as obras das medidas não estruturais;
- *Escala de cobrança*: (a) propriedades que controlam: (a1) com infiltração ganham bônus; (a2) somente volume pagam por aumento de volume com redução; (b) não controlam pagam da ordem de US\$0,50/m<sup>2</sup>impermeável/ano para O&M e proporcionalmente as áreas impermeáveis os custos das obras das medidas estruturais

# Exemplo

- Cidade com 1 milhão de habitantes, densidade média de 65 hab/hectar, resulta numa área de 153,84km<sup>2</sup>.
- Para um tamanho de propriedade de 300 m<sup>2</sup>, resultam 513 mil propriedades.
- A área impermeável média da cidade é de 35% e 53,85 milhões de m<sup>2</sup> de área impermeável, com valor médio por propriedade 105 m<sup>2</sup>.
- Considerando um valor médio por propriedade de US\$ 60/ano, resulta que cada m<sup>2</sup> de área impermeável deve custar  $60/105 = 0,57/\text{ano}/\text{m}^2$ .
- Resulta um orçamento de 30,7 milhões/ano para operação e manutenção e serviços de **drenagem**.

# Exemplo

- Para um custo de US\$ 1milhão/km<sup>2</sup> de obras estruturais, cada km<sup>2</sup> tem 350 mil m<sup>2</sup> de áreas impermeáveis. Cada área impermeável deve contribuir US\$ 2,85 com as obras da bacia.
- O princípio é de que a área impermeável aumenta a vazão natural, portanto quem impermeabiliza paga pelos custos.

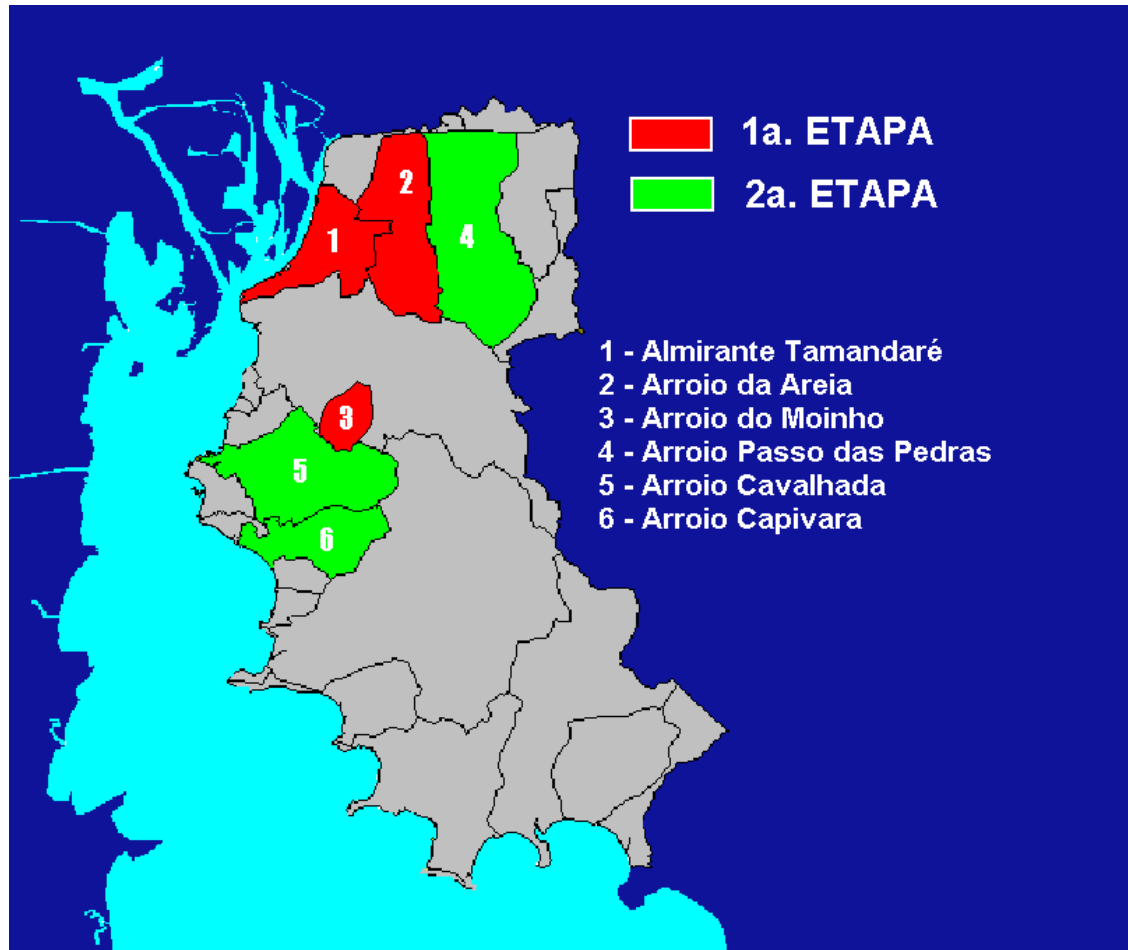
# Medidas Estruturais

- Plano de cada sub-bacia urbana destacada da sua geografia de fluxo,
- Diagnóstico de cada bacia
- Plano das medidas estruturais de cada sub-bacia.
- Plano de Ação

# Sub-bacias da cidade

- Inicialmente a cidade deve ser sub-divida em sub-bacia;
- Os critérios se baseiam na seqüência de fluxo e representatividade dos processos urbanos de uso do solo;
- Por exemplo, uma bacia que atravessasse toda a cidade não pode ser sub-dividida em sub-bacias e planejada de jusante para montante;
- O Plano das bacias não necessitam ser todos realizados ao mesmo tempo, mas priorizados de acordo com recursos e necessidades.
- Quando a principal parte da cidade se encontra no meio da bacia e a jusante, todas as bacias de montante necessitam de planejamento para se chegar ao centro da cidade;

# Sub-bacias de Porto Alegre



RHAMA



# Bacias em Regiões Metropolitanas

- Numa região metropolitana é recomendável que o Plano seja realizado por sub-bacias que envolvam mais de um municípios;
- Neste caso o Plano de Bacia e o de Saneamento Ambiental são os mesmos;
- Deve-se criar um mecanismos institucional de internalização das medidas na gestão dos municípios.
- Uso de entidades estaduais, o comitê de bacia, entidade de gestão da região metropolitana

# Diagnóstico

- Levantamento das informações existentes
- Especificações do levantamento complementar
- Avaliação dos locais de risco de inundação
- Identificação e avaliação ambiental: fontes de contaminação
- Levantamento e avaliação da legislação

# Dados

- *Dados hidrológicos*: precipitação e vazão; Proposta de rede complementar;
- *Urbanização*: identificação das áreas urbanas e impermeabilização, tendência de crescimento da cidade e estimativa das características futuras para os cenários
- *cadastro da rede*: caracterização da rede atual. Geralmente as cidades não possuem estas informações ou são precárias
- *Outros Dados Físicos*: topografia, morfologia, geologia, etc
- *Ambientais*: Características da flora e fauna, áreas degradadas, fontes de contaminação.

# Dados de Cadastro

- (a) para os condutos: cota de fundo no mesmo referencial da topografia, preferencialmente em plantas 1:2.000; seção: explicitar o tipo de seção e suas dimensões; comprimento do conduto até a mudança de seção. Todas alterações de seção devem ser fornecidas, da mesma forma que os dados de cota de fundo, comprimento e seção.
- (b) para canais construídos: a cota de fundo e as seções e comprimento em todos os trechos em que a mesma se altera;
- (c) para rios ou canais naturais: levantamento de seções espaçadas ao longo de todo trecho, priorizando as seções que reduzem o escoamento no sentido de montante para jusante. O espaçamento representativo é da ordem de 100 a 500 m. Para cada seção são necessários: levantamento das coordenadas, tipo de leito entre cada coordenada, e distância entre as seções
- Em todos os casos é necessário informação sobre o estado do sistema.

População atual,  
áreas  
impermeáveis  
distribuídas na  
bacia (por sub-  
bacia)

Crescimento  
populacional  
distribuído pelas  
sub-bacias

Características da  
ocupação urbana:  
residencial,  
comercial e  
industrial, parques,  
áreas ambientais, etc

**Características urbanas de ocupação**

Topografia e  
arruamento

geologia, tipo  
de solo,

Rede de drenagem e  
seções do  
escoamento

**Características físicas**

Precipitação  
de eventos  
máximos

Curvas  
Intensidade –  
Duração e  
Frequência

Níveis e  
vazões

locais de  
inundações

**Dados Hidrológicos**

Rede de  
esgoto na  
bacia

Sistema de  
Resíduo  
Sólido

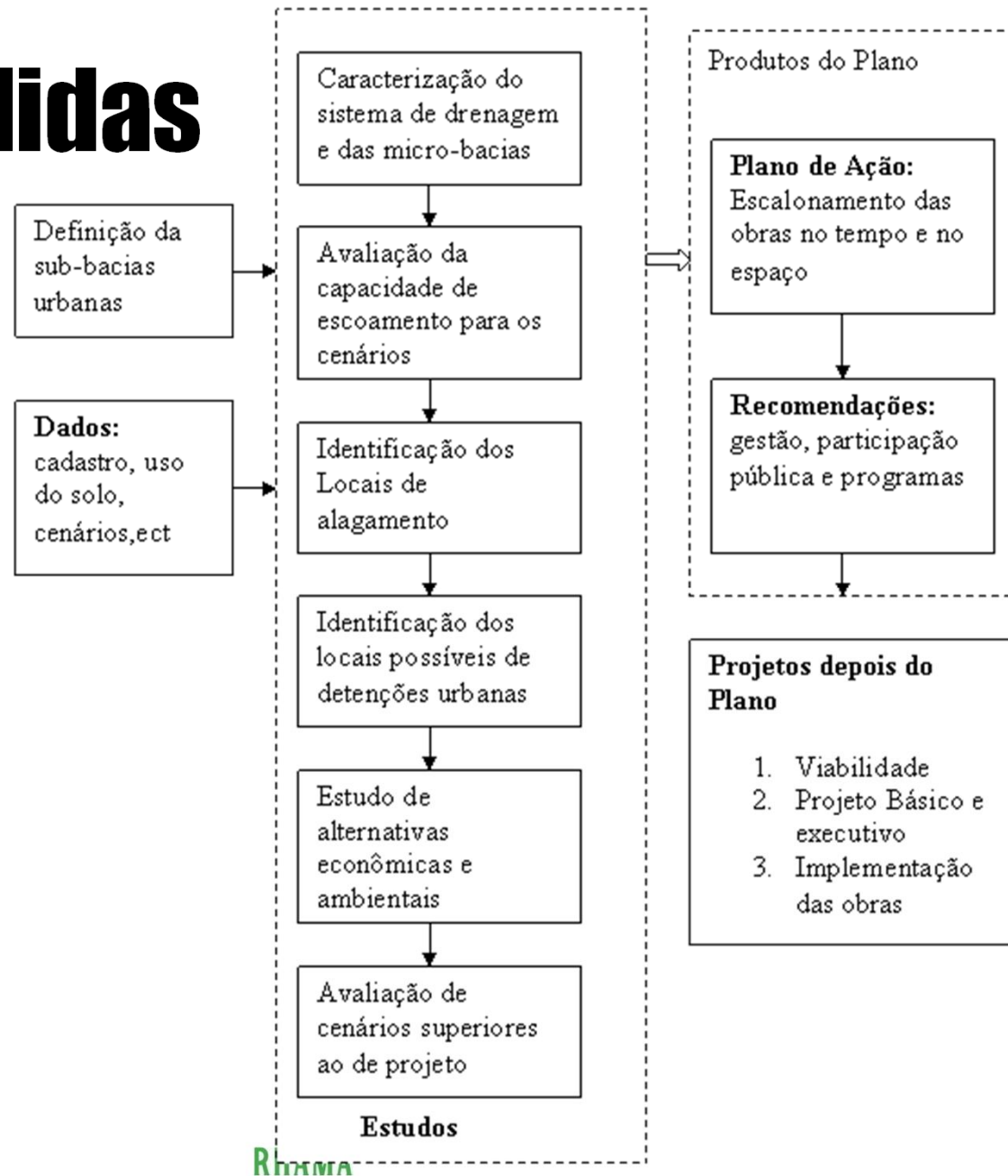
Sistema de  
Transporte

**Sistemas inter-relacionados**

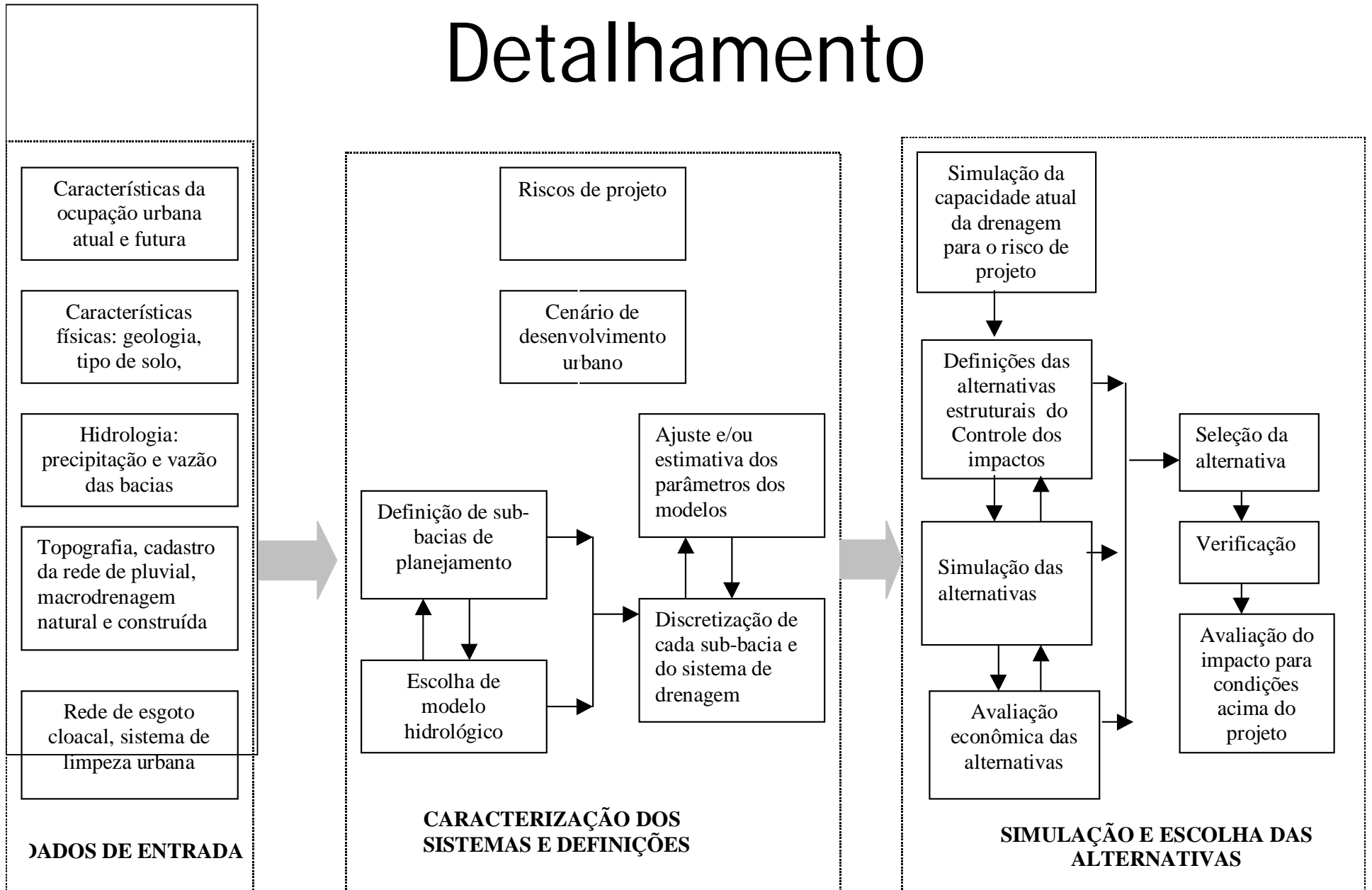
# Custos de levantamentos

- O cadastro pode ser limitado a determinados diâmetros de seção que variam de 0,80 a 1,0 m, em função da abrangência do Plano.
- O custo do levantamento do cadastro da drenagem é superior ao custo do próprio Plano. O custo é da ordem de R\$ 8,00/m. Para um sistema de macrodrenagem estima-se da ordem de 50 m/ha e micro drenagem 180 m, o que resultam R\$ 400/ha ( $> 0,80$  m de diâmetro) de levantamento para a macrodrenagem e R\$ 1440/ha para a micro-drenagem (Cruz, 2007).
- O levantamento de uma bacia de 10 km<sup>2</sup> somente para a macrodrenagem terá um custo R\$ 400 mil e para o custo total R\$ 1,840 milhões, enquanto que o Plano para esta área deve custar da ordem R\$ 150 a 250 mil, dependendo do detalhamento desejado.

# Plano de medidas



# Detalhamento

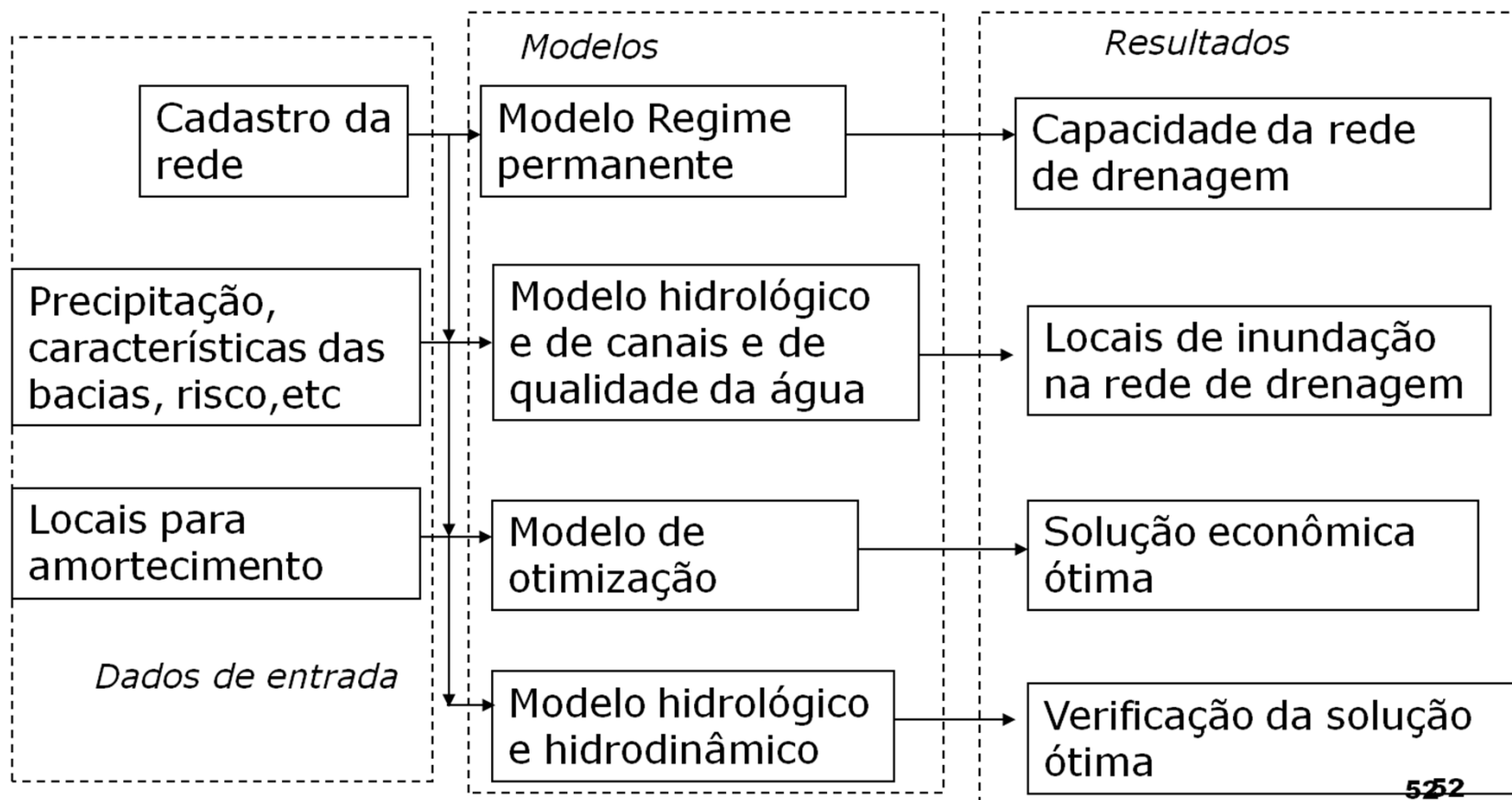




# Critérios de projeto

- Projetar para o cenário futuro sem as medidas de regulamentação;
- O tempo de duração da chuva de projeto deve ser no mínimo 24 horas, mas dependendo do tamanho da bacia e dos volumes envolvidos deve ter duração superior.
- O uso de tempo de duração igual ao tempo de concentração quando envolvem volumes está errado e subdimensiona.
- A estimativa dos parâmetros deve considerar suas incertezas quanto a: variabilidade e mudança com o tempo.
- O risco deve ser estabelecido de acordo com os prejuízos e riscos associados.

# Modelos em Drenagem Urbana



# Modelo de Avaliação da capacidade da Drenagem

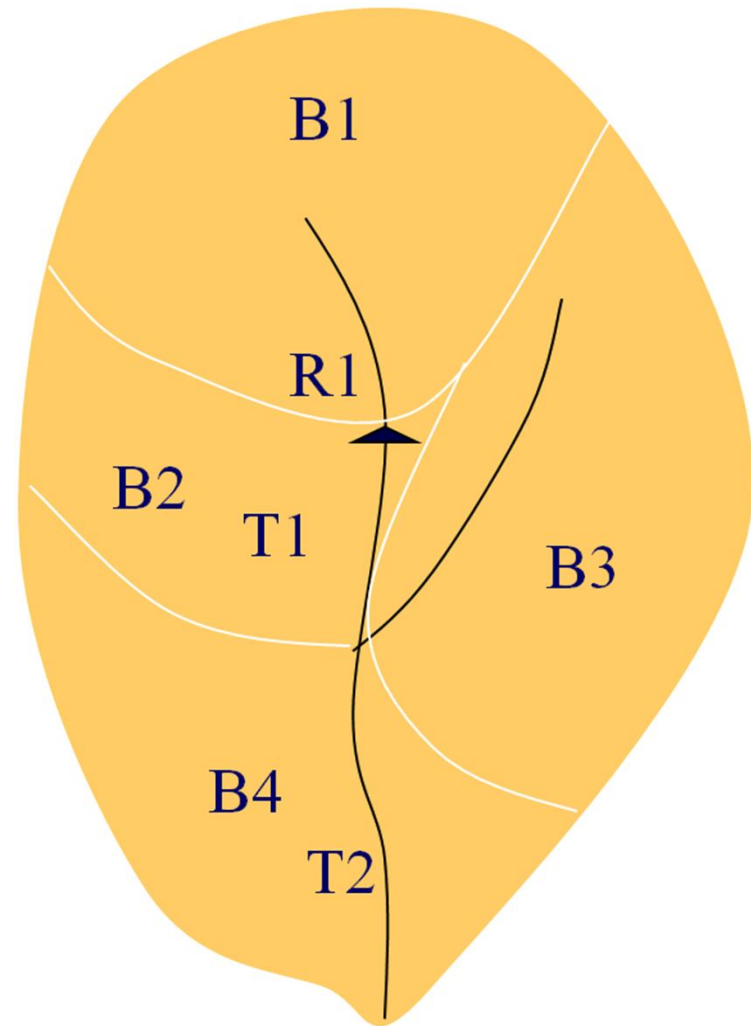
- Modelo de estimativa da capacidade do escoamento local baseado na equação de movimento uniforme de Manning
- $Q = AR^{2/3} / n$  onde  $A$  é a área da seção molhada,  $R$  o raio hidráulico e  $n$  o coeficiente de Manning.
- A verdadeira capacidade seria capacidade por cálculo em regime permanente não-uniforme, mas inicialmente deseja-se a capacidade local

# Modelo de simulação chuva- vazão

- Estes modelos possuem dois módulos: módulo bacia: de balanço de infiltração e escoamento e de propagação de escoamento dentro de uma sub-bacia definida;  
módulo de escoamento: simula o escoamento por condutos e canais.
- A estrutura principal destes modelos varia com os tipos de metodologias do segundo módulo

# Sub-divisão em sub-bacias

- Considera os processos concentrados, sintetizando balanço de infiltração e escoamento superficial
- Contribuem de forma distribuída para a rede de canais e condutos

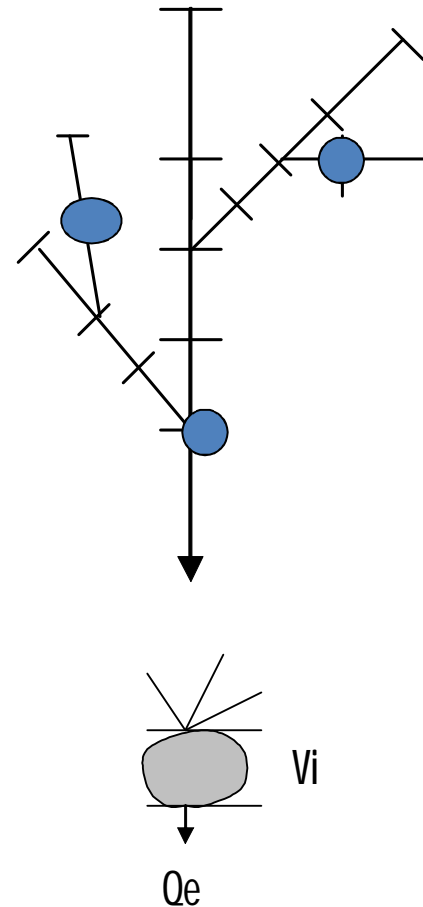


# Módulo de escoamento

- Pode ser do tipo Hidrológico, considerando somente o armazenamento como efeito principal- tende a superestimar a capacidade (IPHS1);
- Modelo hidrodinâmico de superfície-livre: não representa os trechos com escoamento sob-pressão (HEC-HAS);
- Modelo hidrodinâmico com regime livre e sob-pressão: mais completo. Para simulação de cenários de inundação existem versões com simulação do escoamento nas ruas (SWWM), MOUSE,etc.

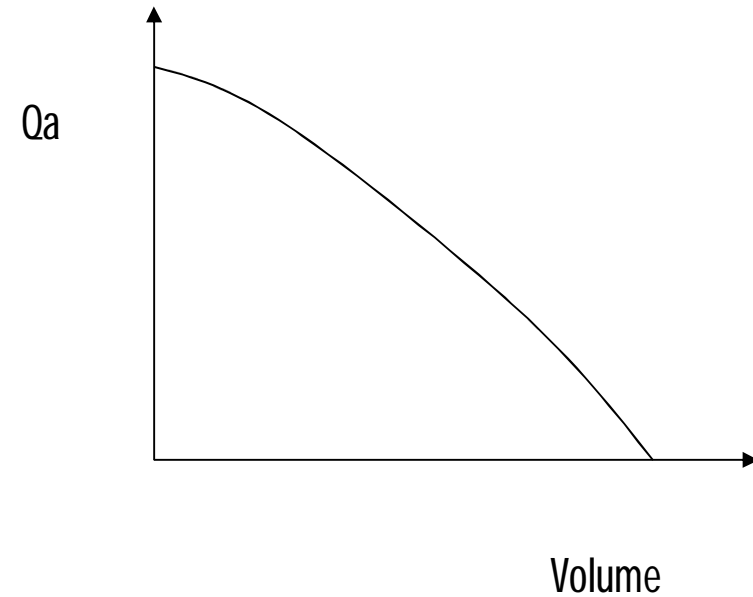
# Modelo de otimização

- Um sistema de drenagem existirá n nós onde em j nós existirá detença
- Em nós sem detença a vazão de jusante é igual a soma das vazões de montante
- Em nós com detença a Vazão de jusante do nó será
- $Q_e = Q_a + Q_l$
- Onde  $Q_a$  é a vazão de jusante do nós e  $Q_l$  é a vazão de ampliação de vazão.
- Na otimização as incógnitas é a vazão  $Q_a$ ,  $Q_l$  pode ser obtida em função de  $Q_a$



# Relação entre volume e vazão

- A função entre vazão de saída do reservatório e volume é  
 $Q_a = F(V)$
- $V$  pode ser relacionado com o custo  
 $CD = h(V)$
- $QL$  pode também ser relacionado com o custo
- $CQ = g(QL)$





# Variável de otimização

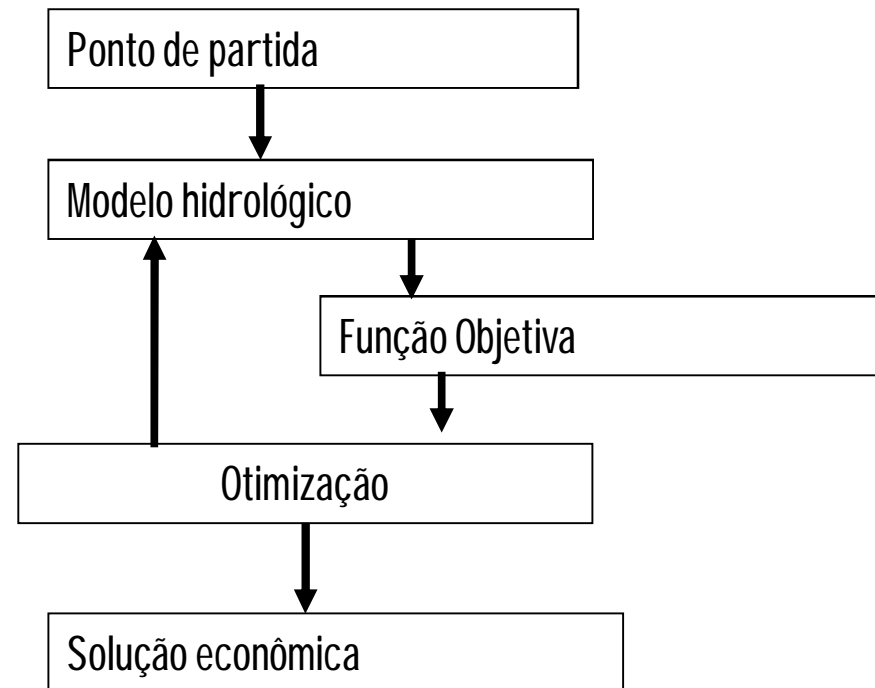
□ Para o sistema a variável de otimização é o volume de detenção ou a vazão do dispositivo de saída. Resultam, então na otimização a otimização com n locais de detenção como n variáveis de otimização.

□ MinF =

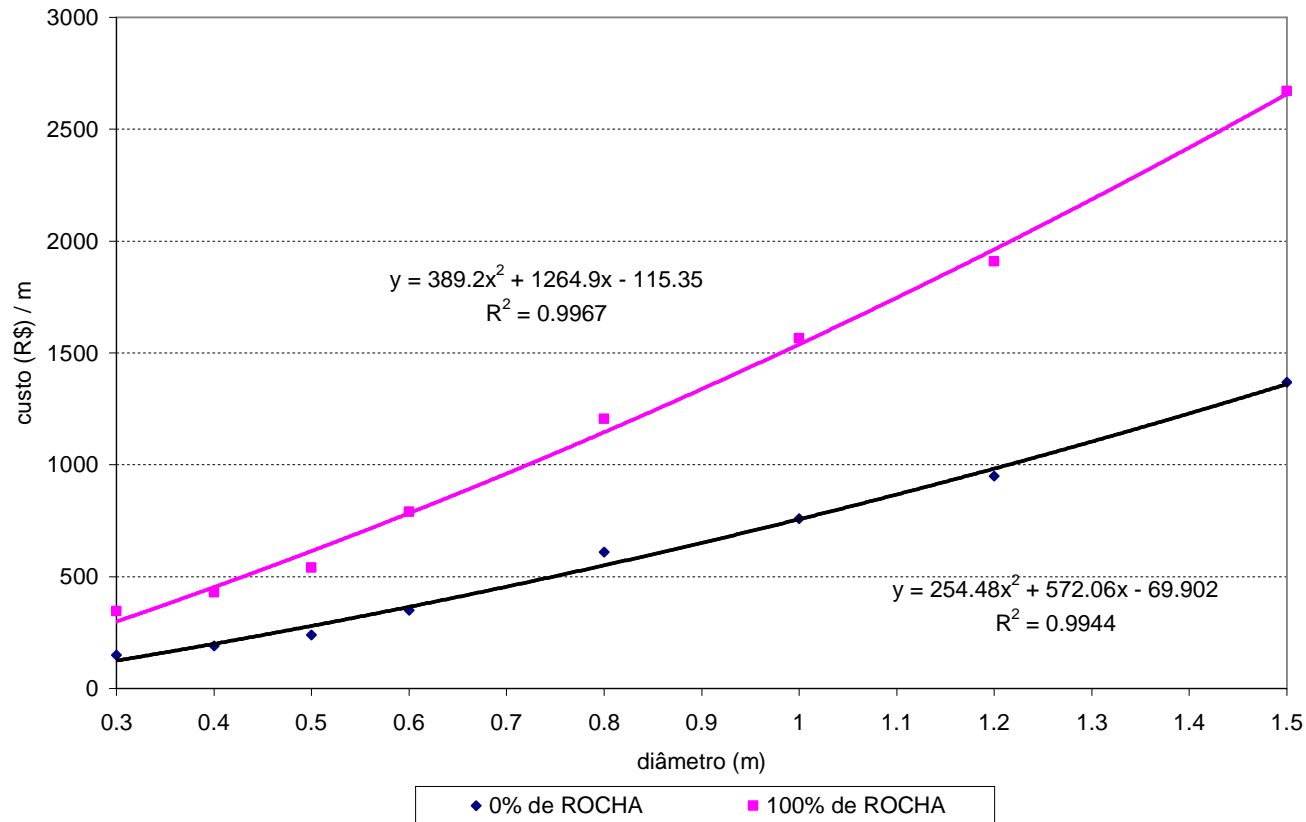
$$\sum_{i=1}^n g(QI_i) + \sum_{j=1}^k h(V_j)$$

# Técnica de otimização

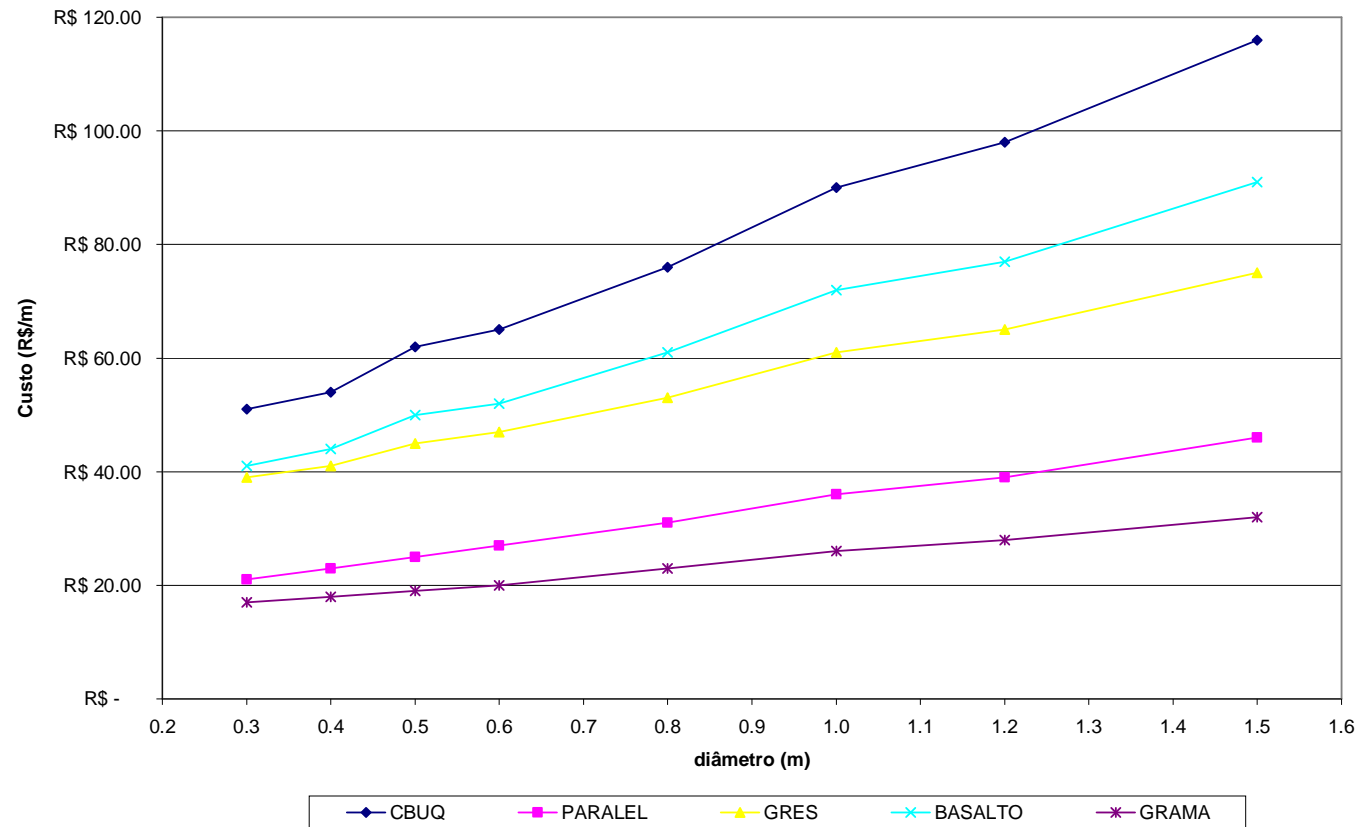
- ❑ Método do algoritmo genético
- ❑ SCE-UA (Duan et.al, 1992).



# Funções de custo condutos



# Função de custo de reposição de pavimento



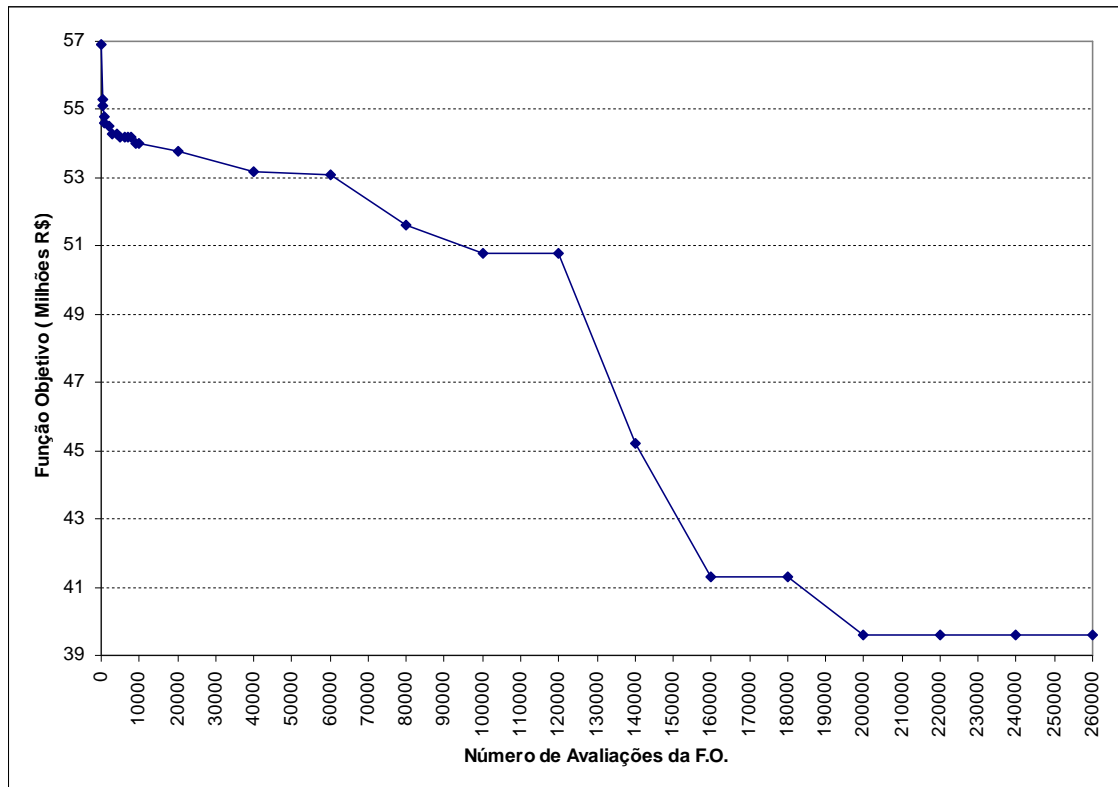
# Custo de Detenção

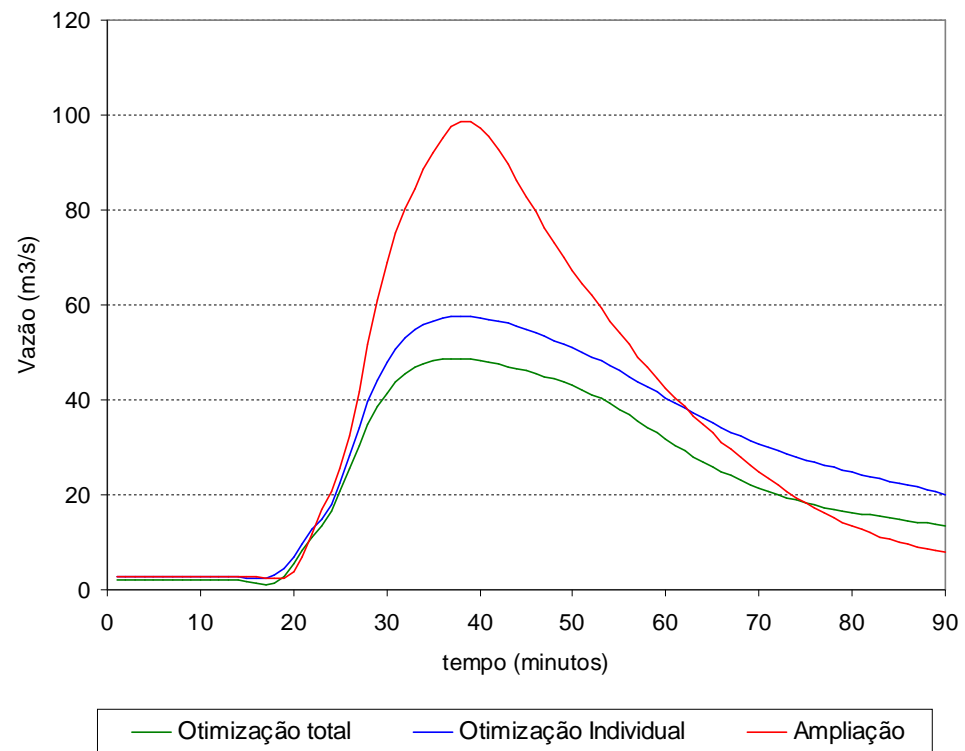
% rocha	Custo médio por m <sup>3</sup>		razão
	aberta	fechada	
0	R\$ 44,38	R\$ 274,21	6,2
10	R\$ 53,87	R\$ 283,70	5,3
20	R\$ 63,37	R\$ 293,20	4,6
30	R\$ 72,86	R\$ 302,69	4,2
40	R\$ 82,36	R\$ 312,19	3,8
50	R\$ 91,86	R\$ 321,69	3,5
60	R\$ 101,35	R\$ 331,18	3,3
70	R\$ 110,85	R\$ 340,68	3,1
80	R\$ 120,34	R\$ 350,17	2,9
90	R\$ 129,84	R\$ 359,67	2,8
100	R\$ 139,33	R\$ 369,16	2,6

RHAMA

# Otimização

O processo de otimização apresentou-se bem mais lento, dado o grande número de operações a realizar e uso de memória computacional, resultando em cerca de 253.000 avaliações da função objetivo, com um tempo de processamento de aproximadamente 52 horas e 14 minutos



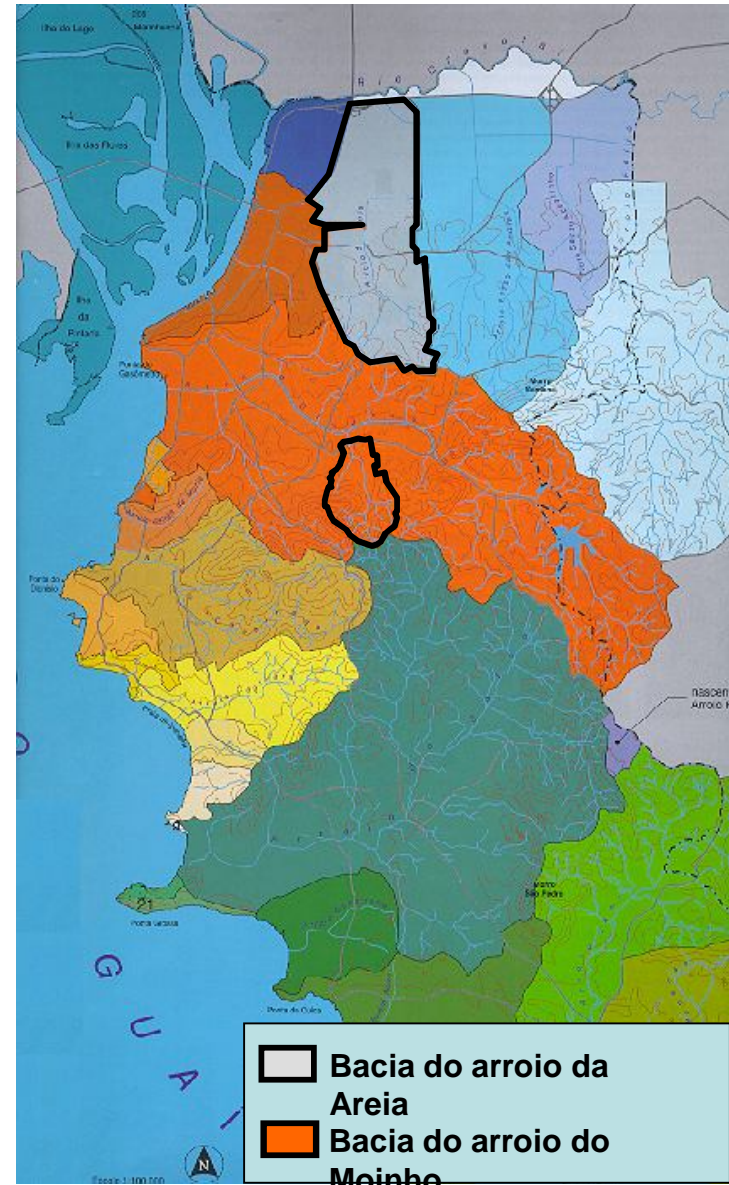
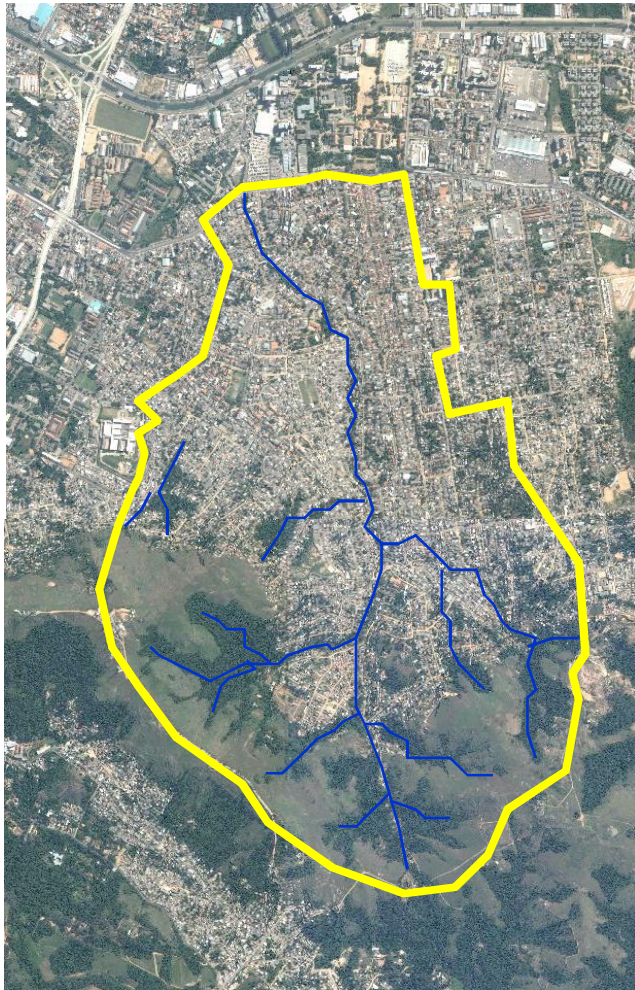


# Modelo de verificação

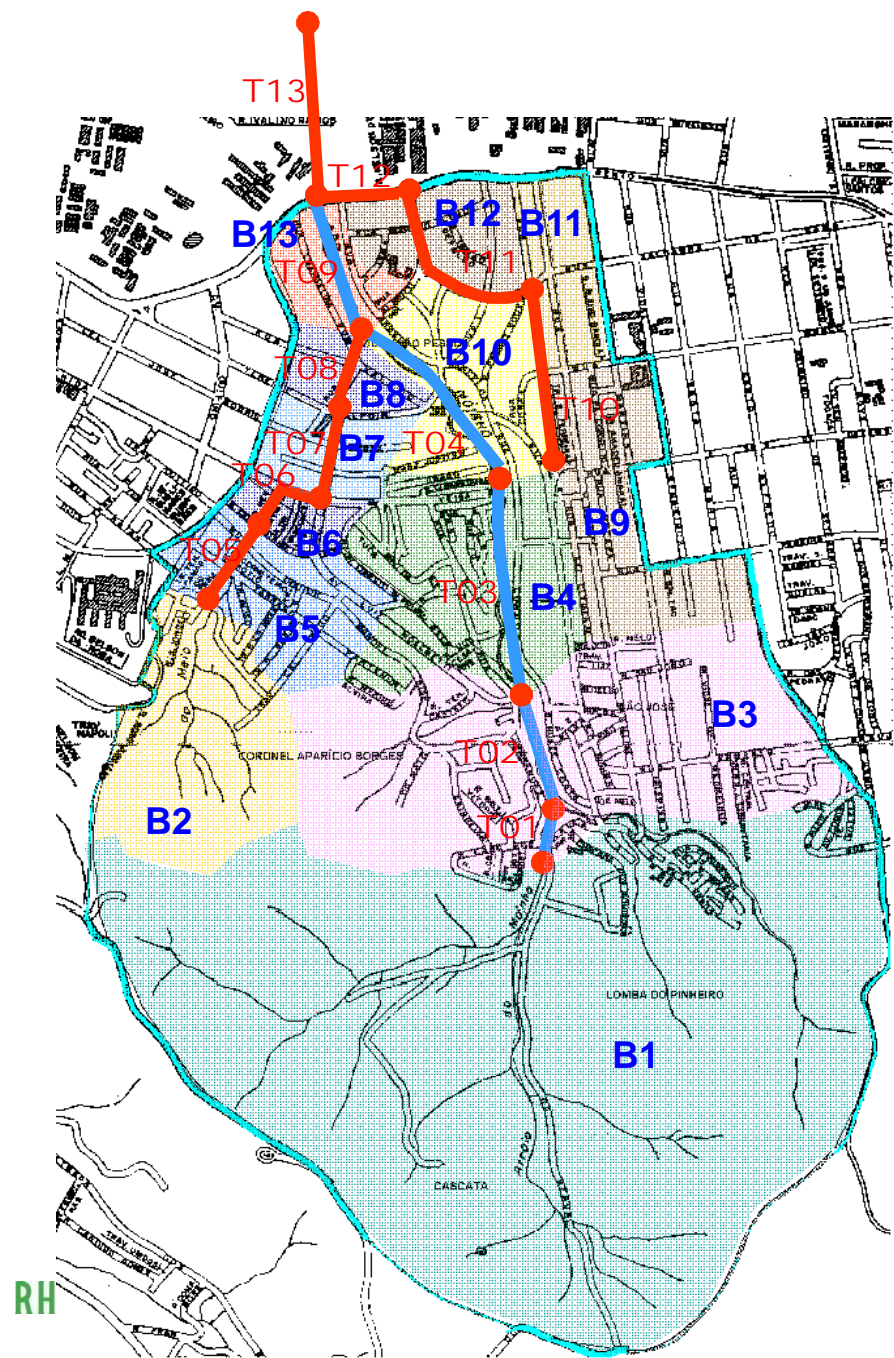
- Modelo hidrodinâmico que considera escoamento sob-pressão avalia:
  - (1) Os resultados da otimização
  - (2) Simula cenários superiores ao de projeto para emergência.



# Bacia do Moinho



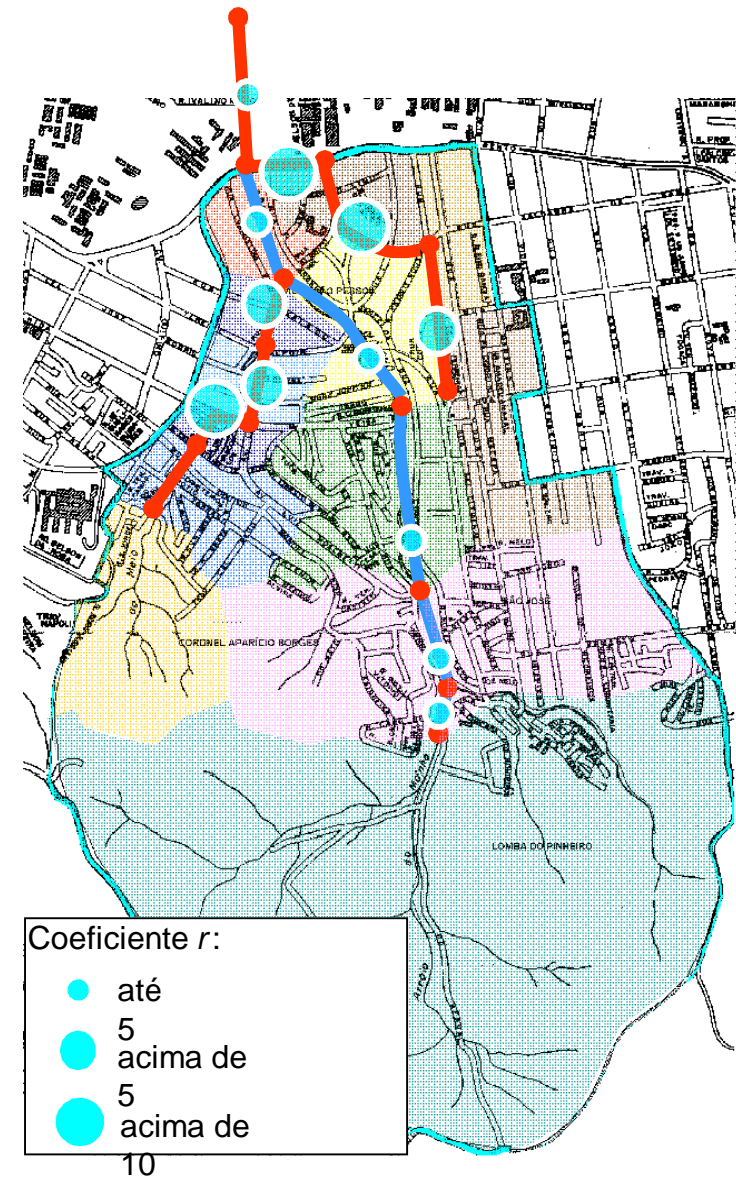
# Sistema de drenagem e bacias





# Capacidade

$r = \text{Vazão necessária} / \text{Vazão existente}$



# Detenções

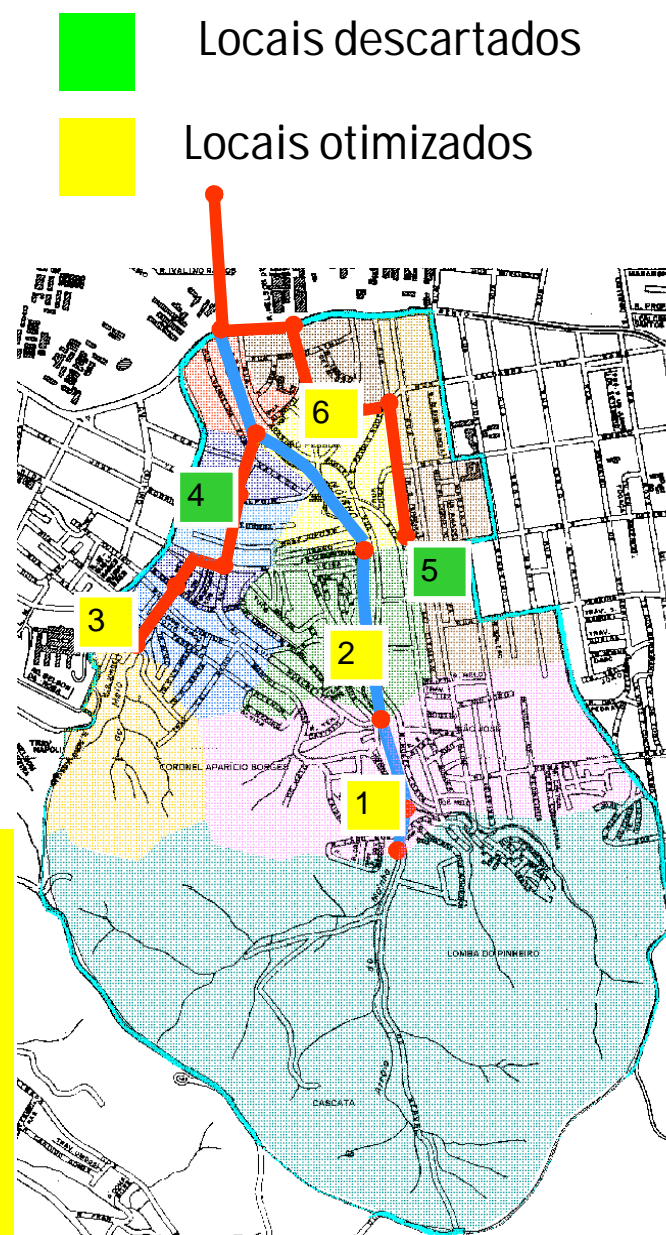
Reservatório	Volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
1	9,268
2	3,297
3	3,895
6	2,407
total	18,867

Custo total R\$ 5,6milhões

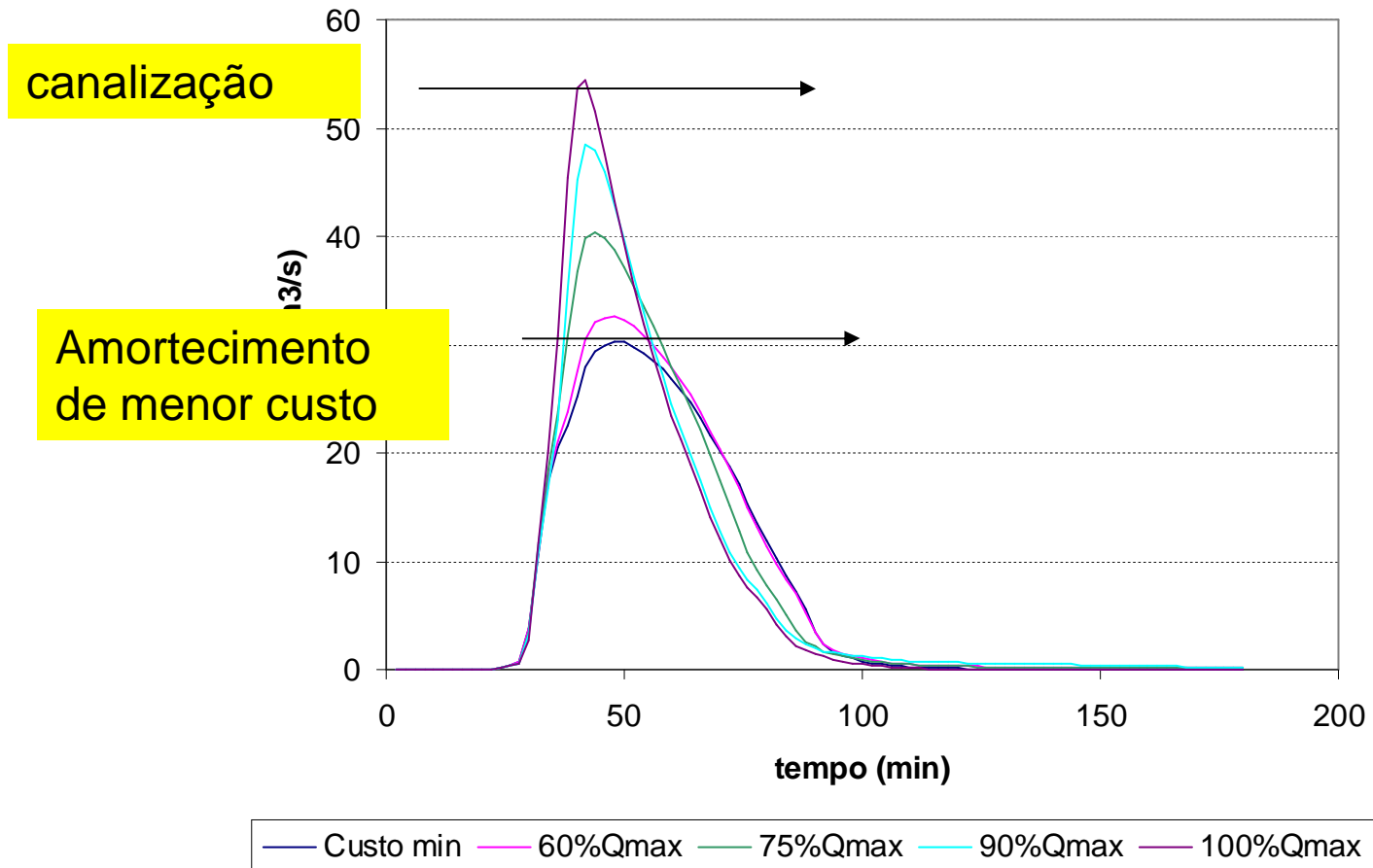
Área da bacia = 4,6 km<sup>2</sup>

R\$ 1,21 milhões / km<sup>2</sup>

Custo R\$ 103,76 / habitante e \$ 415,0 por família

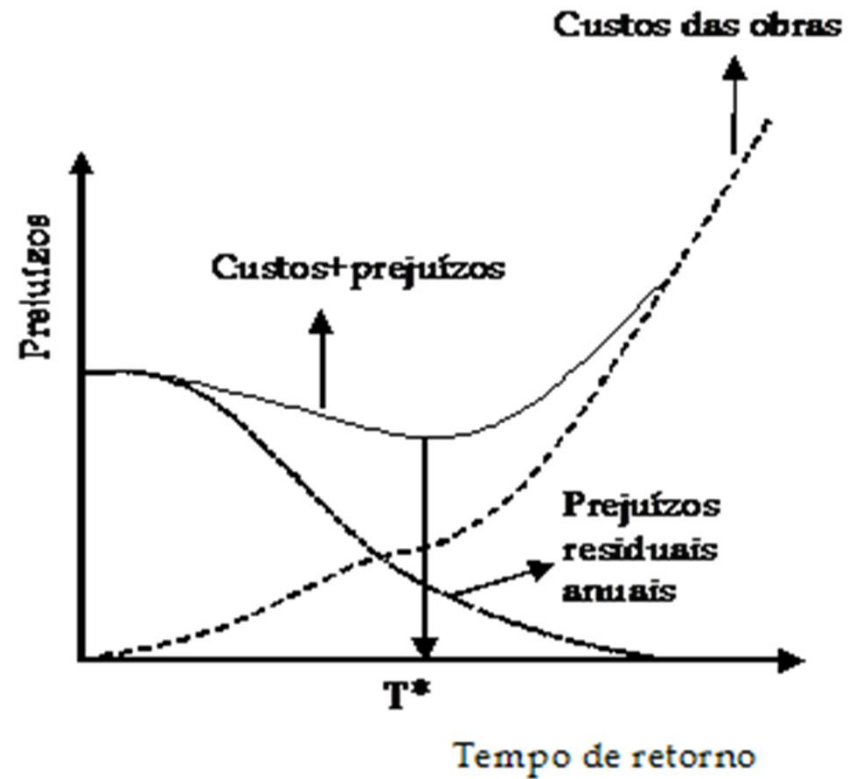
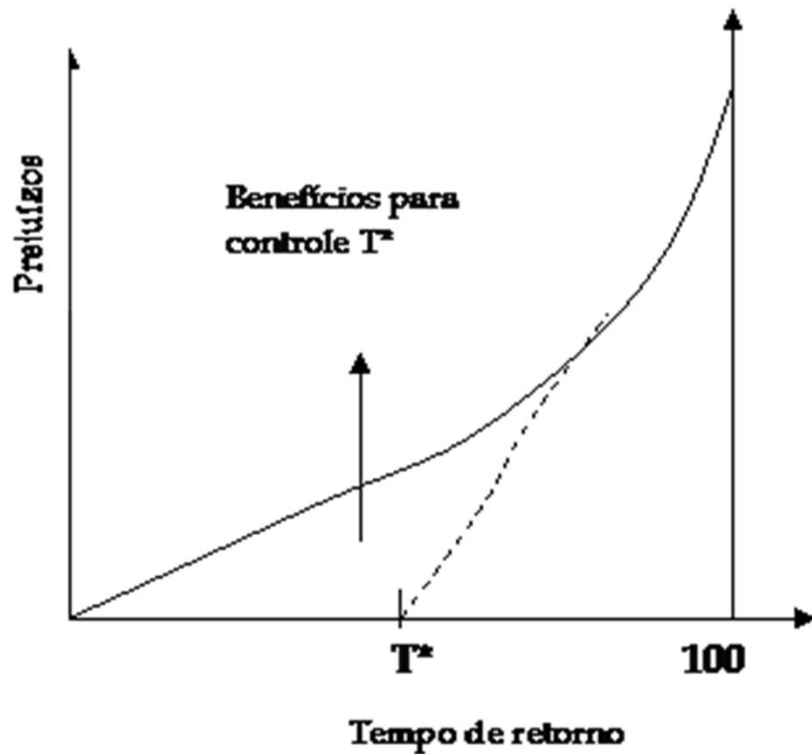


# Hidrogramas



RHAMA

# Benefício x Custo



# Produtos

- Legislação que regulamente as medidas não-estruturais do Plano de Águas Pluviais em conjunto com as normas do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano;
- Plano de Ação: envolve a definição das obras, implementação das medidas no tempo e financiamento;
- Proposta de gestão para a cidade;
- Manual de Drenagem.

# Plano de Ação

- Sequenciamento das obras planejadas no tempo e no espaço
- Financiamento das obras
- Programação de manutenção
- Sistemática de atualização de banco de dados da cidade.
- Implementação das Instituições



# Manual de Drenagem

- Documento de orientação aos projetistas da cidade;
- Especifica as normas técnicas mínimas utilizadas na cidade
- De acordo com a magnitude dos projetos estabelece metodologia simplificada
- Visa reduzir o custo do projetos e a melhor prática

# Programas

- Programa de monitoramento;
- Estudos complementares necessários ao aprimoramento do Plano;
- Manutenção;
- Fiscalização;
- Educação.

# Monitoramento

- de bacias representativas da cidade quanto as variáveis climáticas como temperatura, umidade, precipitação e variáveis hidrológicas como a quantidade e qualidade da água da chuva e dos rios urbanos;
- das áreas impermeáveis e sua relação com a ocupação urbana;
- de sedimentos e resíduos sólidos na drenagem.

# Estudos Complementares

- Avaliação econômica dos riscos;
- Revisão dos parâmetros hidrológicos;
- Metodologia para estimativa da qualidade da água pluvial;
- Dispositivos para retenção do material sólido nas detenções;
- Verificação das condições de projeto dos dispositivos de controle da fonte;
- Revisão de componentes do Plano em função da revisão dos elementos acima.

# Manutenção e fiscalização

- Drenagem urbana;
- Controle dos resíduos sólidos;
- Proteção ambiental;
- Paisagismo e recreação urbana.

# Educação

- Gestão das águas urbanas
- Hidrologia Urbana
- Modelos matemáticos
- Técnicas de sustentabilidade LID
- Projetos de microdrenagem
- Projetos de macrodrenagem
- Certificação de profissionais

# Cenários comparativo antes construir a cidade

- Custo de implantação de uma rede de drenagem com amortecimento 74 mil/ha  
R\$ 7,4 milhões/km<sup>2</sup>
- Rede de drenagem tradicional com correção futura dos impactos com amortecimento 195 mil/ha, 19,5 milhões/km<sup>2</sup>
- Rede tradicional com correção futura dos impactos com canalização ~ 360 mil/ha, 36 milhões/km<sup>2</sup>

# Cenário depois de construído

- Correção com amortecimento: 2 a 6 milhões/km<sup>2</sup>
- Correção com canalização: 10 a 14 milhões km<sup>2</sup> e transferência de impacto



# Conclusões e discussões

- O Plano é essencial para direcionar os investimentos e na prevenção para controle dos impactos dentro da cidade;
- Nenhum plano será adequado se não houver uma gestão adequada por profissionais qualificados dentro do âmbito municipal;
- O desenvolvimento dos programas e a revisão do Plano é essencial para garantir os resultados ao longo do tempo.