

# MEDIDAS DE CONTROLE DE CHEIAS E EROSÕES

Por

*Ademar Cordero<sup>1</sup>, Dr.*  
*Péricles Alves Medeiros<sup>2</sup>, Dr.*  
*e*  
*Albanella Leon Teran<sup>3</sup>, Eg<sup>a</sup>.*

<sup>1</sup>*Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional de Blumenau, SC.*

<sup>2</sup>*Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, SC.*

<sup>3</sup>*Engenheira Civil - Universidade Regional de Blumenau, SC.*

## RESUMO

A intenção deste trabalho é apresentar, de uma forma sucinta, as principais medidas para o controle de cheias e erosões existente na literatura. Os problemas das enchentes e das erosões são de ordem mundial. De uma forma geral tais medidas podem ser do tipo estrutural e não-estrutural. Seria ingenuidade do homem imaginar que poderia eliminar completamente as mesmas de uma bacia hidrográfica, assim tais medidas sempre visam minimizar as suas conseqüências. A forma moderna atual de buscar a minimização das cheias e das erosões é aquela que leva em consideração um conjunto de medidas, tanto para as cheias como para as erosões, pois as mesmas na maioria das vezes estão interrelacionadas. Desta forma a busca das medidas para a minimização das cheias e erosões, além de levar em consideração as medidas da engenharia hidráulica tradicional necessita levar em consideração também a sistematização hidráulico-florestal.

## ABSTRACT

This work's purpose is briefly present the main actions for floods and erosions control existing in the literature. These problems are happening on world-wide scale. These measures can be described as structural and non-structural type. The complete elimination of watershed floods and erosions would be an ingenuous thinking. So, the mentioned actions always seek to minimize the consequences. Nowadays, a set of actions in the proper way to get those actions in the proper way to get those results for either floods or erosions. This is because both are connected. Thus, the search for that minimization should regard hydraulic-forest systematization in addition to traditional hydraulic engineering works.

## 1. Introdução

A integração dos homens com os rios é tão antiga quanto a existência do próprio homem. Enchentes e secas tem ocorrido como eventos históricos significativos para a população por milhares de anos. Quando a precipitação é intensa a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja a da sua calha normal, resultando na inundação das áreas ribeirinhas. Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual ocorrem as inundações. A ocupação da várzea pode ser para habitação, recreação, uso agrícola, comercial ou industrial. Os problemas das enchentes e das erosões são de ordem mundial.

Sabemos hoje que certas condições meteorológicas e hidrológicas propiciam a ocorrência de inundação. O conhecimento do comportamento meteorológico de longo prazo é muito pequeno devido ao grande número de fatores envolvidos nos fenômenos meteorológicos e à interdependência dos processos físicos a que a atmosfera terrestre está sujeita. As condições hidrológicas que produzem a inundação podem ser naturais e artificiais.

As condições naturais são aquelas cuja ocorrência é propiciada pela bacia em seu estado natural. Algumas dessas condições são: relevo, tipo de precipitação, cobertura vegetal, capacidade de drenagem, etc. Os rios normalmente drenam nas suas cabeceiras, áreas com grande declividade produzindo escoamento de alta velocidade. A variação de nível durante a enchente pode ser de vários metros em poucas horas. Quando o relevo é acidentado as áreas mais propícias à ocupação são as planas e mais baixas, justamente aquelas que apresentam alto risco de inundação. As várzeas de inundação de um rio cresce significativamente nos seus cursos médios e baixo onde a declividade se reduz e aumenta a incidência de áreas planas. As precipitações mais intensas atingem áreas localizadas e são em geral dos tipo convectivo e orográfico. Estas formas de precipitação atuam, em geral, sobre pequenas áreas. Um exemplo deste tipo de chuvas são as que produzem alagamentos no verão na bacia do ribeirão Garcia, localizado no município de Blumenau/SC. As precipitações frontais atuam sobre grandes áreas provocando inundações dos grandes rios. Um exemplo deste tipo de precipitações são aquelas que provocam inundações na bacia do rio Itajaí-Açú (Blumenau, Gaspar, Ilhota, Indaial, Rio do Sul, etc.).

As condições artificiais da bacia são aquelas provocadas pela ação do homem. Alguns exemplos são: obras hidráulicas, urbanização, desmatamento, reflorestamento e uso agrícola. A bacia rural possui maior interseção vegetal, maiores áreas permeáveis, menor escoamento na superfície do solo e drenagem mais lenta. A bacia urbana possui superfícies impermeáveis, tais como telhados, ruas, pisos e estacionamentos, e produz aceleração no escoamento, através da canalização e da drenagem superficial. Os resultados da urbanização sobre o escoamento são: aumento da máxima vazão e do escoamento superficial, redução do tempo de pico e diminuição do tempo de base. A urbanização e o desmatamento produzem um aumento da frequência da inundação nas cheias pequenas e médias. Nas grandes cheias o seu efeito é menor, pois a capacidade de saturação do solo e o armazenamento são atingidos e o efeito final pouco difere.

Para poder limitar os danos causados pelas enchentes e as erosões é necessário realizar um plano para o seu controle e após executá-lo. Seria ingenuidade do homem imaginar que poderia eliminar completamente as mesmas de uma bacia hidrográfica, assim tais medidas sempre visam minimizar as suas conseqüências. A forma moderna atual de buscar a minimização das cheias e das erosões é aquela que leva em consideração um conjunto de medidas, tanto para as cheias como para as erosões, pois as mesmas na maioria das vezes estão interrelacionadas.

Um critério de classificação das medidas de controle das cheias é aquele que subdivide-se em duas categorias: as soluções estruturais e as não-estruturais. As primeiras medidas influenciam na estrutura da bacia, seja na sua extensão (medidas extensivas), mediante intervenções diretas na sua sistematização hidráulico-florestal e hidráulico-agrário, seja localmente (medidas intensivas) mediante obras com objetivo de controlar as águas, como por exemplo; reservatórios, caixas de expansões, diques, polders, melhoramento do álveo, retificações, canais de desvio, canais paralelos

e canais extravasores. Por outro lado, as medidas não-estruturais consistem na busca da melhor convivência do homem com o fenômeno das enchentes (Cordero, 1996).

Em síntese, as obras de sistematização hidráulico-florestal podem ser subdivididas em duas categorias: “obras extensivas e obras intensivas”. As primeiras são diretamente dirigidas à reconstituição da cobertura vegetal do território, objetivando dar estabilidade às encostas. As obras intensivas são de natureza prevalentemente hidráulicas e consistem em artefatos projetados e dimensionados com critérios e métodos da Engenharia Civil.

## **2. Medidas para controle das cheias**

Como já mencionado anteriormente as medidas para o controle da inundação podem ser do tipo estrutural e não-estrutural. As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto que as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes. Na Figura 2.1 são apresentadas diversas medidas para controle das cheias de forma sistemática.

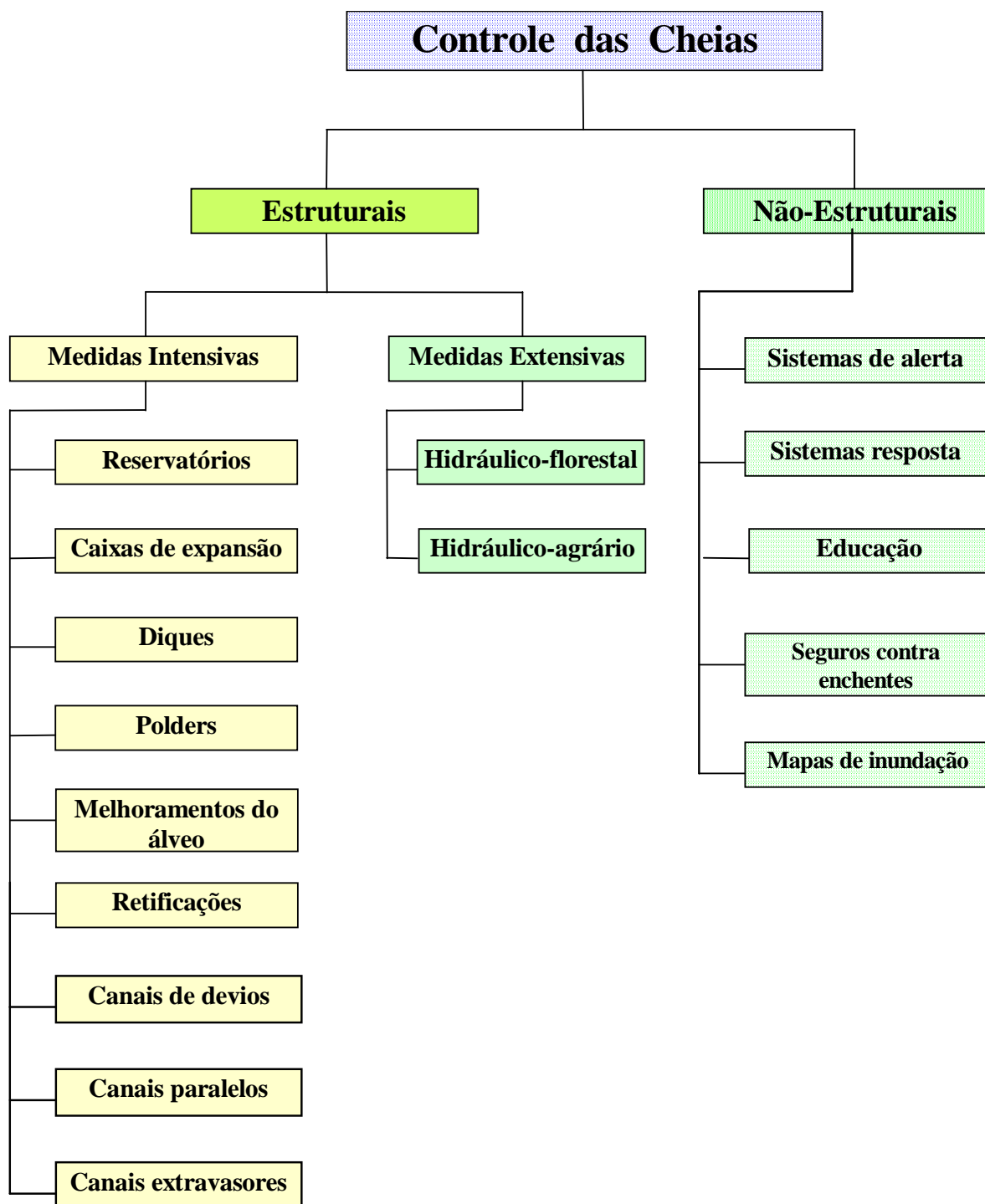


Figura 2.1 - Medidas para controle das cheias

### 2.1. Medidas estruturais intensivas

As medidas estruturais de controle de cheias do tipo intensiva são aquelas que agem no rio e objetivam diversas formas de controle dependendo do tipo da obra. A seguir descrevemos diversas medidas deste tipo de intervenção.

**a) Reservatórios:** um reservatório construído para laminar cheias, como o próprio nome diz, lamina a onda de cheia, retendo parte do volume hídrico durante a fase de crescimento da onda, e restituindo tal volume ao rio durante a fase da recessão da cheia ou logo após a onda da cheia ter passado. O reservatório deve permanecer sempre vazio esperando a próxima onda de cheia. Este

tipo de obra mostra, em geral, boa laminação nas pequenas e médias cheias, mas nem sempre nas grandes cheias, principalmente naquelas caracterizadas por vários picos. Como exemplo deste tipo de obra podemos citar a Barragem Sul ( $93,5 \cdot 10^6 \text{m}^3$ ), a Barragem Oeste ( $83,0 \cdot 10^6 \text{m}^3$ ) e a Barragem Norte ( $357,0 \cdot 10^6 \text{m}^3$ ), que ficam localizadas na bacia do rio Itajaí.

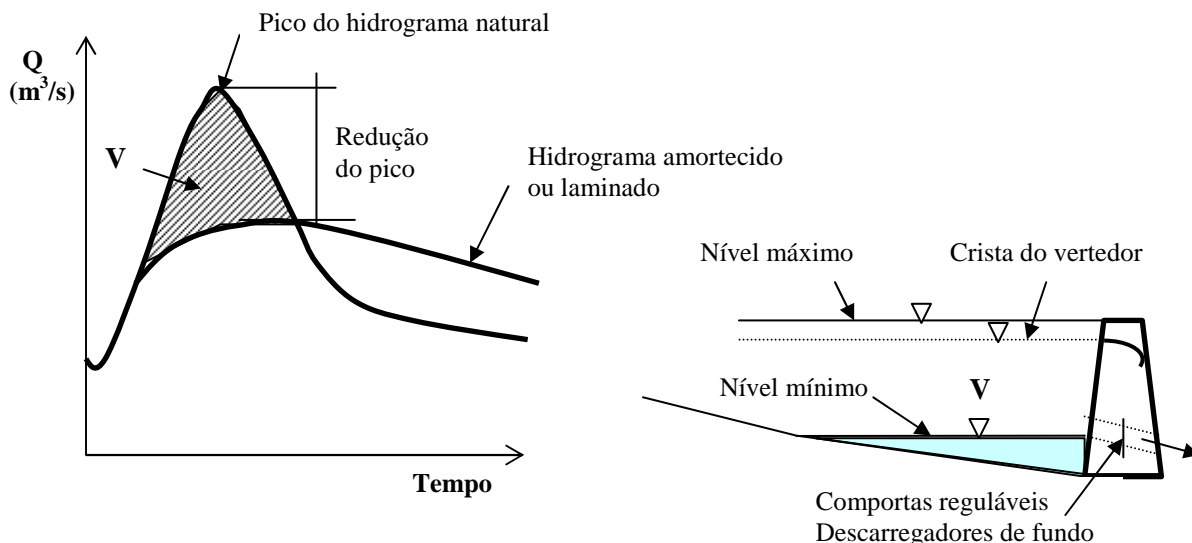


Figura 2.2 - Efeito do reservatório

**b) Caixa de expansão:** uma caixa de expansão é corretamente indicada para aquela área alagável destinada a exercitar um efeito de decapitação da onda de cheia que se propaga ao longo de um curso d'água. A função de uma caixa de expansão é similar a de um reservatório de laminação de cheia. As caixas de expansões geralmente são executadas no pé da montanha ou na zona de planície, em série, em paralelo ou de modo misto a respeito ao curso d'água. Muitas planícies funcionam como caixa de expansão naturais, pois no momento das enchentes elas são inundadas, armazenando grande volume d'água, que retorna ao rio principal quando as águas começam a baixar. Exemplo deste tipo de planície é a que fica localizada no município de Ilhota.

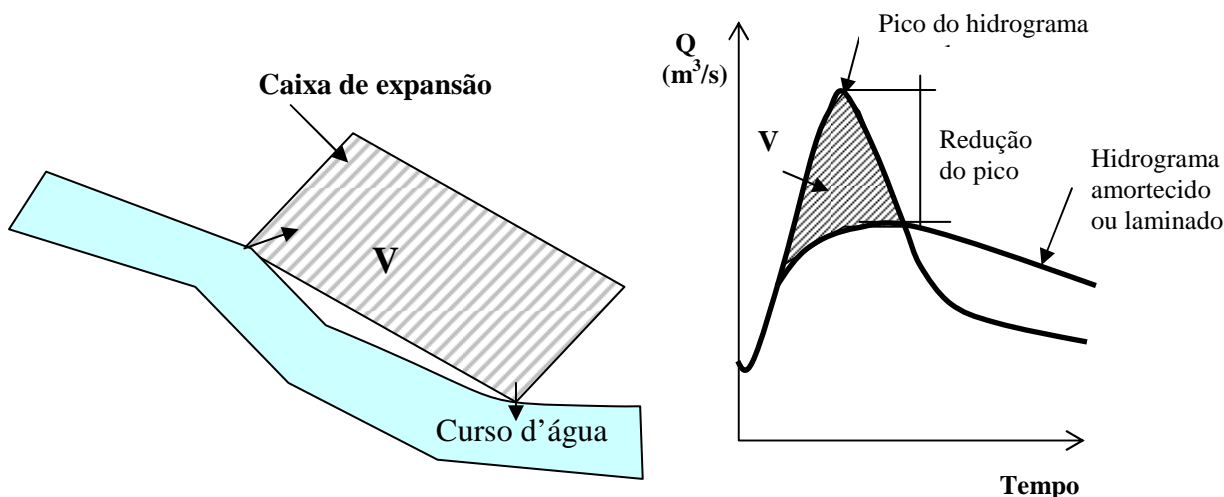


Figura 2.3 - Efeito da caixa de expansão

**c) Diques:** são barramentos ou muros laterais de terra ou de concreto, inclinados ou retos, construídos ao longo das margens do rio, de altura tal que contenham as vazões no canal principal a um valor limite estabelecido em projeto. Este tipo de obra assegura o controle completo das cheias que tenham o seu pico inferior ao limite estabelecido, mas nenhuma proteção para as vazões que ultrapassam tal limite, que passarão sobre tais muros. Este tipo de obra é uma das mais antigas

medidas estruturais de controle de cheias. Como exemplo podemos citar os diques que foram construídos no rio do Pó, na Itália. Tais obras foram iniciados pelos Finícios, continuadas pelos Romanos e finalizadas pelos Italianos. Segundo Tucci (1993), citando (Hoyt e Langbein, 1955), tais obras era um exemplo de projeto de recursos hídricos bem-sucedido, mas a enchente de 1951 destruiu parte destes diques causando 100 mortes e perda de 30.000 cabeças de gado, além de perdas agrícolas.

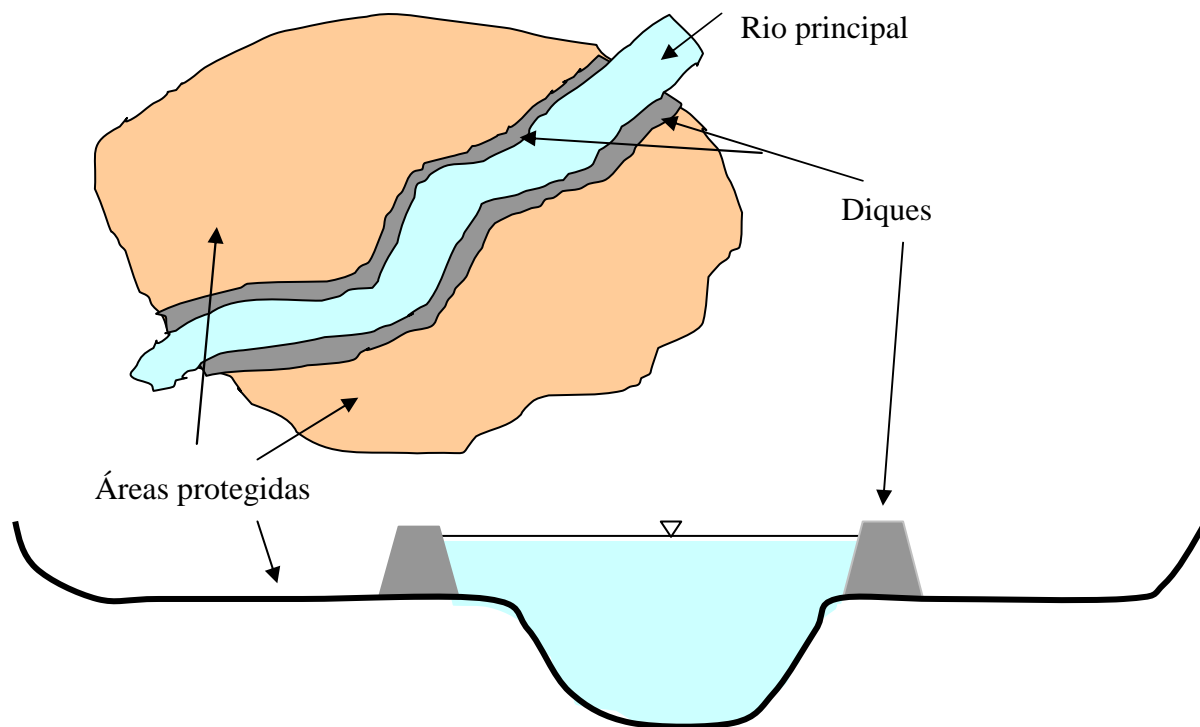


Figura 2.4 - Diques

c) **Polders:** os polders são utilizados para proteger áreas restritas. A distinção entre diques e polderes é que estes últimos utilizam uma estação de bombeamento para retirar as águas que chegam na área protegida durante uma enchente. Neste tipo de obra geralmente há necessidade de construir uma galeria com comportas reguláveis para evitar a entrada da água do rio principal na área protegida e propiciar a saída da água do ribeirão quando a situação é normal. Como exemplo deste tipo de obra podemos citar os 4 polders localizados no município de Blumenau: o da rua Santa Efigênia, o da rua 25 de Julho, o da rua Antônio Treiss, o do ribeirão Fortaleza e o do ribeirão do Tigre.

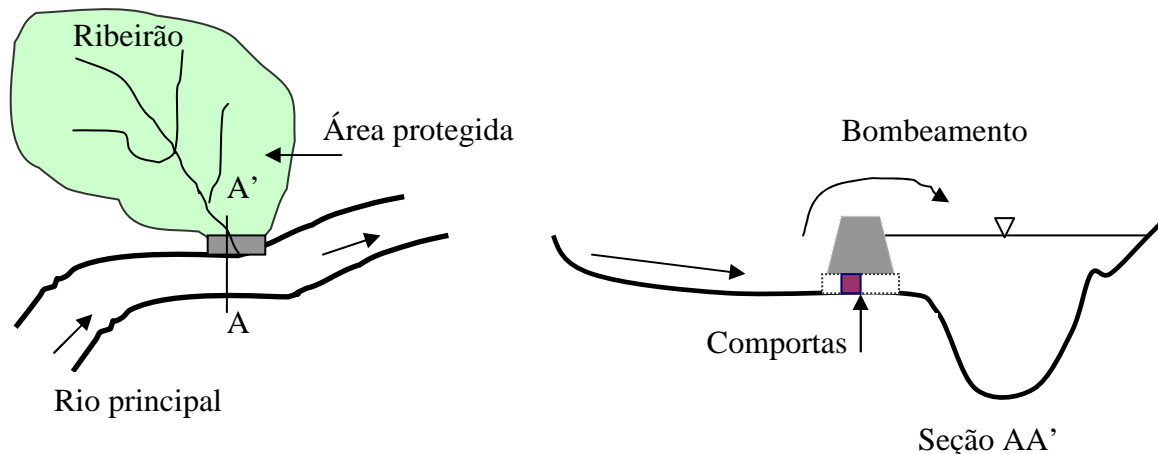


Figura 2.5 - Polder

**e) Melhoramentos do álveo:** os melhoramentos do álveo tem o escopo de diminuir o tirante hídrico do rio para uma mesma vazão. Isto pode ser obtido aumentando a área da seção transversal do rio através do alargamento da calha (Fig. 2.6.a) ou do aprofundamento do canal (Fig. 2.6.b) ou ainda através do aumento da velocidade. O aumento da velocidade pode ser obtido através da diminuição da rugosidade, aumento da declividade do rio, eliminação de obstruções, etc. Tais medidas devem ser adotadas com muita cautela, porque são freqüentes causas de profundas alterações na dinâmica da modelação do álveo e do equilíbrio das águas superficiais-subterrâneas. Também podem produzir sérios inconvenientes do ponto de vista ambiental. Como exemplo deste tipo de obra podemos citar o alargamento do rio Itajaí-Açú, no trecho entre as cidades de Blumenau e Gaspar. Esta obra tem mostrado, como resultado positivo, um abaixamento da linha d'água de cheia do rio Itajaí-Açú em Blumenau, em torno de 40 cm, como resultado negativo verificou-se vários deslizamento nos taludes do rio no trecho alargado e à montante do mesmo, também foi verificado um aumento do depósito de sedimentos no trecho alargado, sendo que o volume do material depositado não é maior porque o mesmo é retirado para a construção civil.

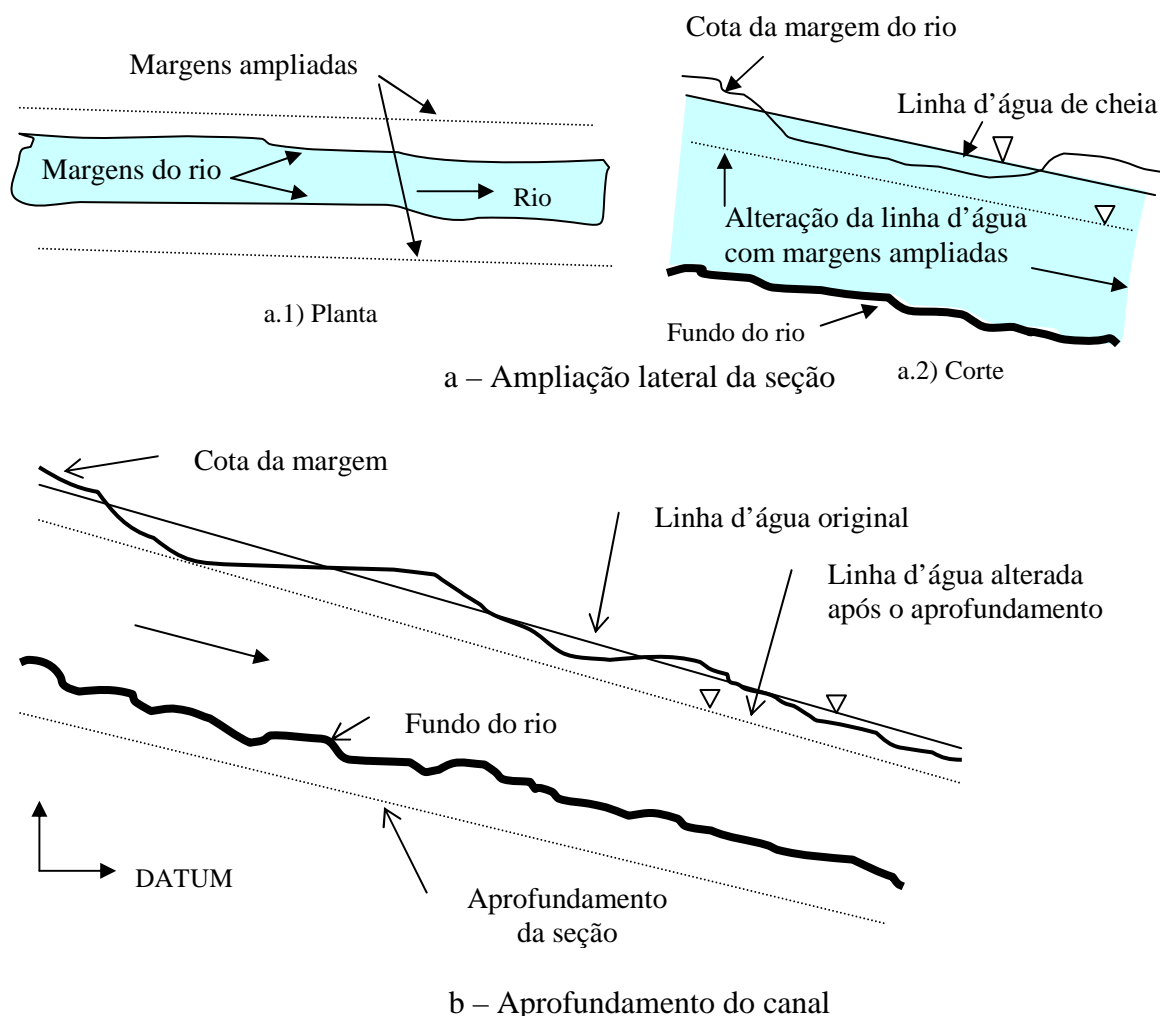


Figura 2.6 - Melhoramentos do álveo

**f) Retificações:** uma retificação de um rio consiste na construção de um novo leito para o rio, retilíneo ou quase, em uma zona no qual em geral o rio percorre numerosos meandros. O primeiro efeito de uma retificação é a redução do percurso d'água com conseqüente aumento da declividade. Neste caso haverá uma maior velocidade na corrente, as cheias se propagarão mais rapidamente para a jusante, seja em conseqüência do menor percurso, seja devido a maior velocidade. Em função do aumento da velocidade se produzirá uma erosão da seção no trajeto retificado o qual se estenderá

também à montante. Com o tempo o efeito benéfico da retificação tende a ser reduzido pelas danificações naturais que sofrerão a calha do rio devido as erosões. À jusante da retificação nas menores velocidades produzirá invés um depósito, e de conseqüência se reduzirá a declividade do trajeto retilíneo. A diminuição da velocidade se estenderá para à montante até o momento que não esteja novamente restabelecido o equilíbrio. Como exemplo deste tipo de obra Butzke (1994), descreve que na bacia do rio Trombudo/SC, diversos órgãos (Prefeitura Municipal, DNOS, e EPAGRI), realizaram diversas obras, incluindo retificações, com a finalidade de diminuir o problema das inundações e aumentar a área agrícola. Os objetivos foram alcançados, mas por outro lado, as obras têm ocasionado novos problemas, como a inundação de novas áreas e assoreamento do leito do rio.

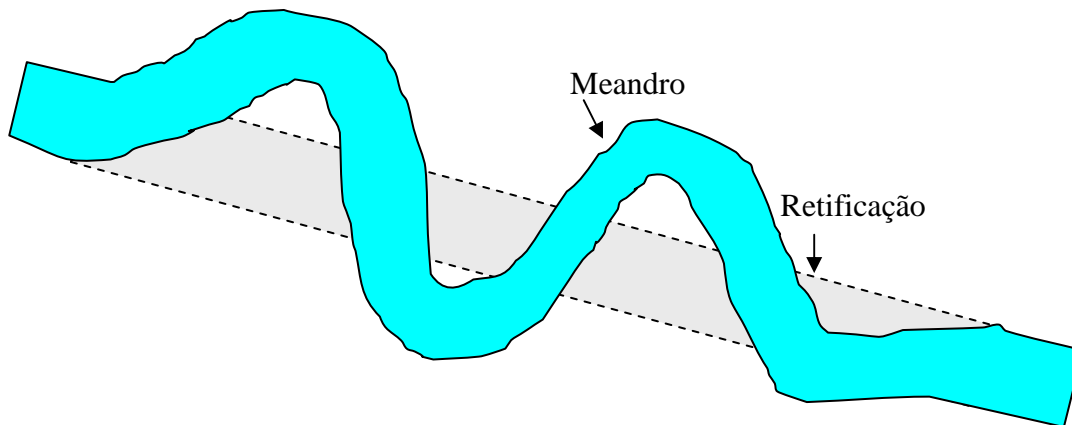


Figura 2.7 - Retificação

**g) Canais de desvios:** um canal de desvio serve para desviar parte da vazão da cheia do curso d'água principal, diminuindo assim a vazão do rio na zona que se deseja proteger. Neste tipo particular de obra em geral a água desviada não retorna mais ao canal principal, mas sim para um lago, um outro curso d'água ou diretamente ao mar. O inconveniente deste tipo de obras está no fato que, subdividindo a vazão entre mais de um ramo, a velocidade d'água diminui, e portanto, se reduz também a força de transporte dos materiais. Como conseqüência, haverá uma elevação do leito do rio, que pode provocar o desaparecimento de todas as vantagens obtidas com a construção da obra. Por isto, estas obras devem ser projetadas com muita prudência. Como exemplo de um canal de desvio executado citamos o do rio Arno, na Itália.

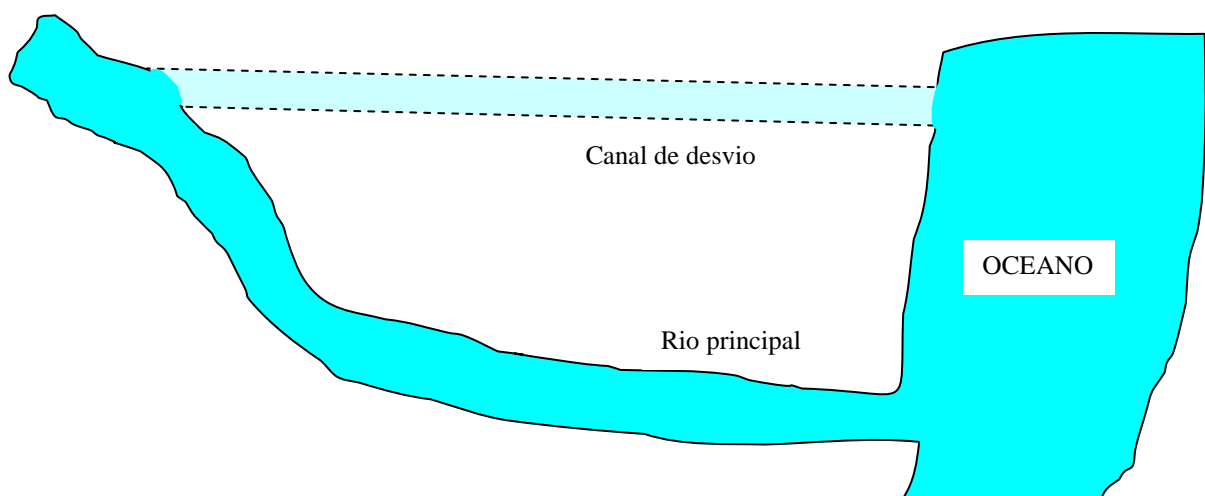


Figura 2.8 – Canal de desvio



**h) Canais paralelos:** um canal paralelo é utilizado quando, por diversas razões, não se pode incrementar a capacidade do canal principal. Neste tipo de obra a vazão é repartida em dois ou mais ramos, por um certo trecho, após o desvio a água retorna a escoar por um único canal. Assim, o nível da cheia do canal principal no trecho interessado diminui. Os inconvenientes deste tipo de obra são os mesmos descritos para o canal de desvio. Obra deste tipo pode ser vista no rio Danúbio em Viena.

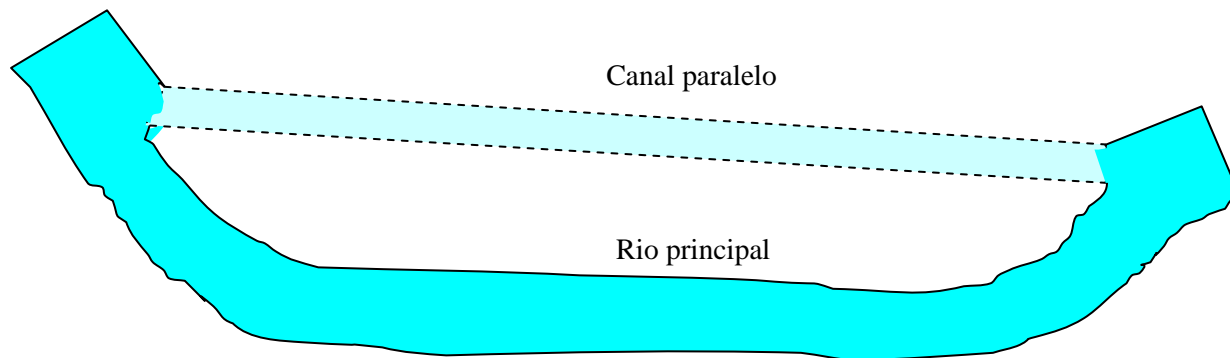


Figura 2.9 – Canal paralelo

**i) Canais extravasores:** um canal extravasor não é outro que um canal de desvio ou paralelo. A diferença é que o canal extravasor é alimentado pelo rio somente durante as maiores cheias, quando a vazão na seção do álveo em correspondência com o vertedor supera um valor pré-fixado e extravasa do canal principal. Um canal extravasor é normalmente privo de água e permite o crescimento de vegetação, mas está sempre em condições de receber parte da vazão do rio, quando este supera o valor pré-fixado. Os mesmos inconvenientes dos canais de desvios e paralelos ocorrem também nos canais extravasores, mas com muito menor grau porque funcionam de um modo não contínuo. Por permanecer seco durante o período que não há cheias e permitir o crescimento de vegetações o canal extravasor é chamado também canal verde.

## 2.2. Medidas estruturais extensivas

O controle extensivo das cheias é realizado mediante intervenções de conservação do solo, com práticas agrícolas corretas e através do reflorestamento da bacia. Este tipo de medida produz benefícios diversos que influenciam no fenômeno de formação da cheia segundo os seguintes mecanismos: (a) aumento da capacidade de infiltração do terreno e, conseqüentemente, redução dos defluxos superficiais (que constituem a componente mais importante da cheia); (b) redução da velocidade média de escoamento d'água e incremento dos volumes hídricos contidos temporariamente no solo, com conseqüente aumento dos tempos de concentração e da capacidade de laminação da bacia. A onda de cheia resulta, portanto, mais achatada e com a vazão de pico inferior com respeito ao caso da bacia não sistematizada.

## 2.3. Medidas não-estruturais

As medidas estruturais, geralmente, não são projetadas para fornecer uma proteção completa. Isto requer uma proteção contra a maior enchente possível. Esta, além da dificuldade em prevê-la, tem sua proteção física e economicamente muitas vezes inviável. Além disto, as medidas estruturais podem criar uma falsa sensação de segurança, permitindo o aumento da ocupação das áreas inundáveis, que no futuro podem gerar danos significativos. As medidas não-estruturais, juntas com as estruturais ou sozinhas, podem minimizar significativamente os danos com um menor custo. As medidas não-estruturais consistem basicamente nos sistemas de alertas, nos sistemas resposta, nos mapas de alagamento, nos seguros contra danos produzidos pelas enchentes e na educação da população. Estas medidas são descritas a seguir.

**a) Sistemas de alerta:** um sistema de alerta serve para informar e alertar as pessoas que habitam em zonas sujeitas a inundações sobre os riscos e a eminência de uma enchente. Os alertas são baseados nas previsões dos eventos de cheia, que são simulados por meio de modelos matemáticos hidrológicos em tempo real. Tais modelos consistem em prever a evolução do fenômeno de cheia, nível do rio, com uma certa antecipação. Os alertas, por sua vez, servem para acionar os dispositivos de controle das cheias pré-dispostos no sistema resposta. Um exemplo de sistema de alerta podemos citar o da bacia do rio Itajaí, o qual é composto de uma rede de coleta de dados e uma central. Os dados são coletados e transmitidos em tempo real pelos tele-observadores e pelas estações telemétricas para a central que fica localizada na Universidade Regional de Blumenau (CEOPS), onde em épocas de cheias são realizadas as previsões e repassadas para as Defesas Civil de cada município que tem problemas de enchentes.

**b) Sistema resposta:** este sistema compreende os procedimentos de decisões e os respectivos planos de ações de proteção, que possam ser implementados a curto prazo, como por exemplo: a retirada dos bens materiais móveis, a evacuação da população e dos animais das zonas inundáveis, elevação de diques com sacos de areia, abertura e fechamento das comportas dos reservatórios ou polders construídos para o controle de enchente, etc. Um exemplo deste sistema podemos citar o plano de enchente da cidade de Blumenau, estruturado pela Defesa Civil da Prefeitura Municipal de Blumenau.

**b) Educação:** o sucesso de um plano de controle das cheias baseado nas medidas não-estruturais depende muito do conhecimento do risco das enchentes por parte das pessoas que habitam as áreas inundáveis. Por isto, um trabalho de conscientização para a população dos riscos que elas estão sujeitas com as enchentes é fundamental e deve ser incrementado imediatamente após a ocorrência de cada evento de cheia. Também no município de Blumenau tem-se realizado várias campanhas educativas sobre a problemática das cheias. Nestas campanhas tem participado a Universidade Regional de Blumenau, a Prefeitura Municipal, diversos colégios, a imprensa de modo geral, além de outros segmentos da sociedade.

**c) Seguros contra enchentes:** os seguros contra enchentes são apólices de seguro, estipuladas por companhias especializadas, para aquelas habitações, indústrias ou casas comerciais localizadas nas zonas sujeitas a serem inundadas com as enchentes. Ainda não há no Brasil uma empresa que realiza seguro contra perdas totais causadas pelas enchentes.

**d) Mapas de inundação:** os mapas de inundação podem ser de dois tipos: “*mapa de planejamento ou carta enchente*” e “*mapa de alerta ou mapa cota enchente*”. O mapa de planejamento define as áreas atingidas por cheias de tempo de retorno escolhidos. O mapa de alerta informa em cada esquina ou ponto de controle, o nível da régua no qual inicia a inundação. Este mapa permite o acompanhamento da evolução da enchente, com base nas observações da régua, pelos moradores nos diferentes locais da cidade.

Tucci (1997) descreve que para a elaboração desses mapas são necessários os seguintes dados: a) nivelamento da régua a um zero absoluto b) topografia da cidade no mesmo referencial absoluto da régua linimétrica. Cota da rua no meio de cada esquina das áreas de risco; c) estudo de probabilidade de inundações de níveis para uma seção na proximidade da cidade; d) níveis de enchentes, ou marcas ao longo da cidade que permita a definição da linha de água; e) seções batimétricas ao longo do rio no perímetro urbano. Caso a localização da seção de observação se encontre fora do perímetro urbano, a batimetria deve ir até a referida seção. O espaçamento das seções depende das modificações do leito e da declividade da linha de água, mas espaçamentos entre 500 e 1.000 m são suficientes; f) cadastramento das obstruções ao escoamento ao longo do trecho urbano como pontes, edifícios e estradas, entre outros.

Quando a declividade da linha de água ao longo da cidade é muito pequena e não existem arroios significativos no perímetro urbano os itens d, e e f são desnecessários. No caso das obstruções, essas podem ser importantes se reduzirem significativamente a seção transversal. Na prática, é muito difícil a obtenção de todas as informações relacionadas acima, portanto, é conveniente dividir o estudo em duas fases. Na primeira fase, dita preliminar, seriam delimitadas com precisão reduzida as áreas de inundação com bases em mapas topográficos existentes e marcas de enchentes. Na segunda fase, com a delimitação aproximada das áreas de inundação, a topografia com maior detalhe seria realizada nas áreas definidas, juntamente com a batimetria do rio, e calculados com precisão os dois mapas referidos.

### **i) Mapeamento preliminar**

Nas cidades de porte superior a 10.000 habitantes existem projetos de abastecimento de água. Para esses projetos é realizada uma topografia com espaçamento de 5m em 5m. Por exemplo as cidades de Timbó, Rio do Sul, Gaspar, Apiúna, Indaial, etc. Estes mapas não possuem a precisão desejadas para este tipo de estudo, mas podem ser utilizados preliminarmente. Os erros podem ser minimizados com visitas *in loco*, fotografias aéreas e verificação de pontos característicos do levantamento. Nem sempre estes mapas se referem à cota absoluta desejada; nesse caso é necessário procurar o RN desejado e estabelecer a referência com o mapa disponível. A seguir pode-se estabelecer a relação entre o zero da régua linimétrica e o RN escolhido, utilizado na elaboração do mapa topográfico.

Considerando que os níveis de enchentes são conhecidos na seção da régua, para transportá-lo para as seções ao longo do trecho urbano é necessário conhecer a declividade da linha de água. Esta declividade pode ser obtida através das marcas de enchentes ou medindo a mesma durante a estiagem. Este último procedimento pode apresentar erros, já que se existirem obstruções ao escoamento durante as enchentes, a declividade pode se modificar significativamente.

Para a determinação da declividade da linha de água deve-se recomendar, ao topógrafo, o seguinte: a) nivelar todas as marcas de enchente existentes na cidade; b) medir o nível de água com espaçamento entre 500m e 1000m ao longo do trecho urbano, anotando a cota da água para o momento do levantamento.

Para verificar o trabalho do topógrafo pode-se utilizar o seguinte: a) conferir se a declividade é decrescente na direção do fluxo; b) para verificar o nivelamento das marcas na vizinhança da seção da régua linimétrica some ao zero da régua os valores observados no linígrafo e verifique se correspondem às marcas niveladas. Deve-se considerar que a marca de enchente não corresponde ao nível máximo ocorrido, já que o rio mancha a parede quando o nível quando o nível se mantém por algum tempo. No caso do rio ficar muito pouco tempo no pico, a marca deve aparecer para níveis menores.

Os critérios para a determinação da linha de água e os níveis de enchente ao longo da cidade são os seguintes: 1) **Mapa de planejamento:** a) conhecida a curva de frequência de níveis de inundação na seção da régua linimétrica, obtenha os níveis absolutos correspondentes aos tempos de retorno desejados; b) defina as seções ao longo do rio. Essas seções são escolhidas com base nas marcas existentes e/ou nos níveis medidos a cada 500m e 1000m; c) calcule a declividade da linha de água para os diferentes trechos definidos pelas seções referenciadas. A declividade é calculada com distância medida ao longo do rio. Deve-se tomar cuidado quando existirem pontes e/ou estradas que obstruam o escoamento; d) para os níveis calculados nas seções do posto, obtenha as cotas correspondentes para as outras seções, utilizando a declividade da linha de água obtida. 2) **Mapa de alerta.** No estudo preliminar, as informações disponíveis nem sempre permitem a elaboração do mapa de operação.

### **ii) Mapeamento definitivo**

Neste caso é necessário o levantamento detalhado da topografia das áreas de risco com o tempo de retorno menor ou igual a 100 anos. A escolha do tempo de retorno é arbitrária e depende

da definição do futuro zoneamento. Caso tenha ocorrido uma enchente com tempo de retorno superior a 100 anos, deve-se escolher o maior valor ocorrido.

O levantamento detalhado engloba a determinação das curvas de nível com espaçamento de 0,5 m ou 1,0 m, dependendo das condições do terreno. Em algumas cidades o espaçamento pode ser muito detalhado. Nesse levantamento deve constar o nível do meio da rua de cada esquina das áreas de risco.

Além da topografia é necessário o levantamento das obstruções ao escoamento, como pilares e encostos de pontes, estradas com taludes, edifícios, caracterizando em planta e, em seção, o tipo de cobertura e obstrução.

Com a batimetria ao longo da cidade é possível determinar as cotas de inundação, de acordo com o seguinte procedimento: a) um modelo de escoamento permanente, para cálculo da linha de água, deve ser utilizado. O método é utilizado, inicialmente, para ajuste das rugosidades, com base nas marcas de enchentes e na curva de descarga do posto fluviométrico. Para tanto, a linha de água é determinada para a vazão máxima registrada, no posto fluviométrico, e o nível correspondente no sentido de jusante para a montante. A rugosidade correta será aquela cuja linha de água se aproximar das marcas de enchente; b) conhecidas as rugosidades pode-se estabelecer a linha de água para as vazões correspondentes aos diferentes tempos de retorno e, em consequência, elaborar o mapeamento das áreas atingidas.

No caso do mapeamento para alerta, o procedimento é semelhante, já que o ajuste também é necessário. As linhas de água serão determinadas para diferentes níveis na seção do posto. Com a declividade da linha de água é possível obter a cota correspondente a inundação em cada esquina.

Como exemplo de mapa de planejamento e de alerta podemos citar o da cidade de Blumenau, SC. Estes dois mapas foram elaborados, pela Universidade Regional de Blumenau em conjunto com a Prefeitura Municipal de Blumenau, com base em mapas com curvas de nível com espaçamento de 1,0 m e nas marcas de enchentes.

### **iii) Zoneamento**

O zoneamento propriamente dito é a definição de um conjunto de regras para a ocupação das áreas de maior risco de inundação, visando à minimização futura das perdas materiais e humanas em face das grandes cheias. Conclui-se daí, que o zoneamento urbano permitirá um desenvolvimento racional das áreas ribeirinhas.

A regulamentação do uso das zonas de inundação apoia-se em mapas com demarcação de áreas de diferentes riscos e nos critérios de ocupação das mesmas, tanto quanto ao uso quanto aos aspectos construtivos. Para que esta regulamentação seja utilizada, beneficiando as comunidades, a mesma deve ser integrada à legislação municipal sobre loteamentos, construções e habitações, a fim de garantir a sua observância. Sendo assim, o conteúdo deste capítulo tem a finalidade de servir de base para a regulamentação da várzea de inundação, através dos planos diretores urbanos, permitindo às prefeituras a viabilização do controle efetivo.

O Water Resources Council (1971) definiu Zoneamento por: “Zoneamento envolve a divisão de unidades governamentais em distritos e a regulamentação dentro destes distritos de: a) usos de estruturas e da terra; b) altura e volume das estruturas ; c) o tamanho dos lotes e a densidade de uso. As características do Zoneamento, que o distingue de outros controles é que a regulamentação varia de distrito para distrito. Por essa razão, o Zoneamento pode ser usado, para estabelecer padrões especiais para uso da terra em áreas sujeitas à inundação. A divisão em distritos de terra em áreas sujeitas à inundação. A divisão em distritos de terras, através da comunidade é usualmente baseada em planos globais de uso, que orientam o crescimento da comunidade”.

### **iv) Condições técnicas do zoneamento**

O risco de ocorrência de inundação varia com a respectiva cota da várzea. As áreas mais baixas obviamente estão sujeitas a maior frequência de ocorrência de enchentes. Assim sendo, a delimitação das áreas do zoneamento depende das cotas altimétricas das áreas urbanas.

O rio possui normalmente um ou mais leitos. O leito menor corresponde a seção de escoamento em regime de estiagem, ou de níveis médios. O leito maior pode ter diferentes lances, de acordo com a seção transversal considerada e a topografia da várzea inundável. Esse leito, o rio costuma ocupar durante as enchentes. Quando o tempo de retorno de extravasamento do leito menor é superior a 2 anos, existe a tendência da população em ocupar a várzea nas mais diversas e significativas formas sócio e econômicas. Essa ocupação gera, por ocasião das cheias, danos de grande monta aos ocupantes dessas áreas e, também, às populações à montante, que são afetadas pelas elevações de níveis decorrentes da obstrução ao escoamento natural causada pelos primeiros ocupantes.

A seção de escoamento do rio pode ser dividida em três faixas principais conforme mostra a Figura 2.2.

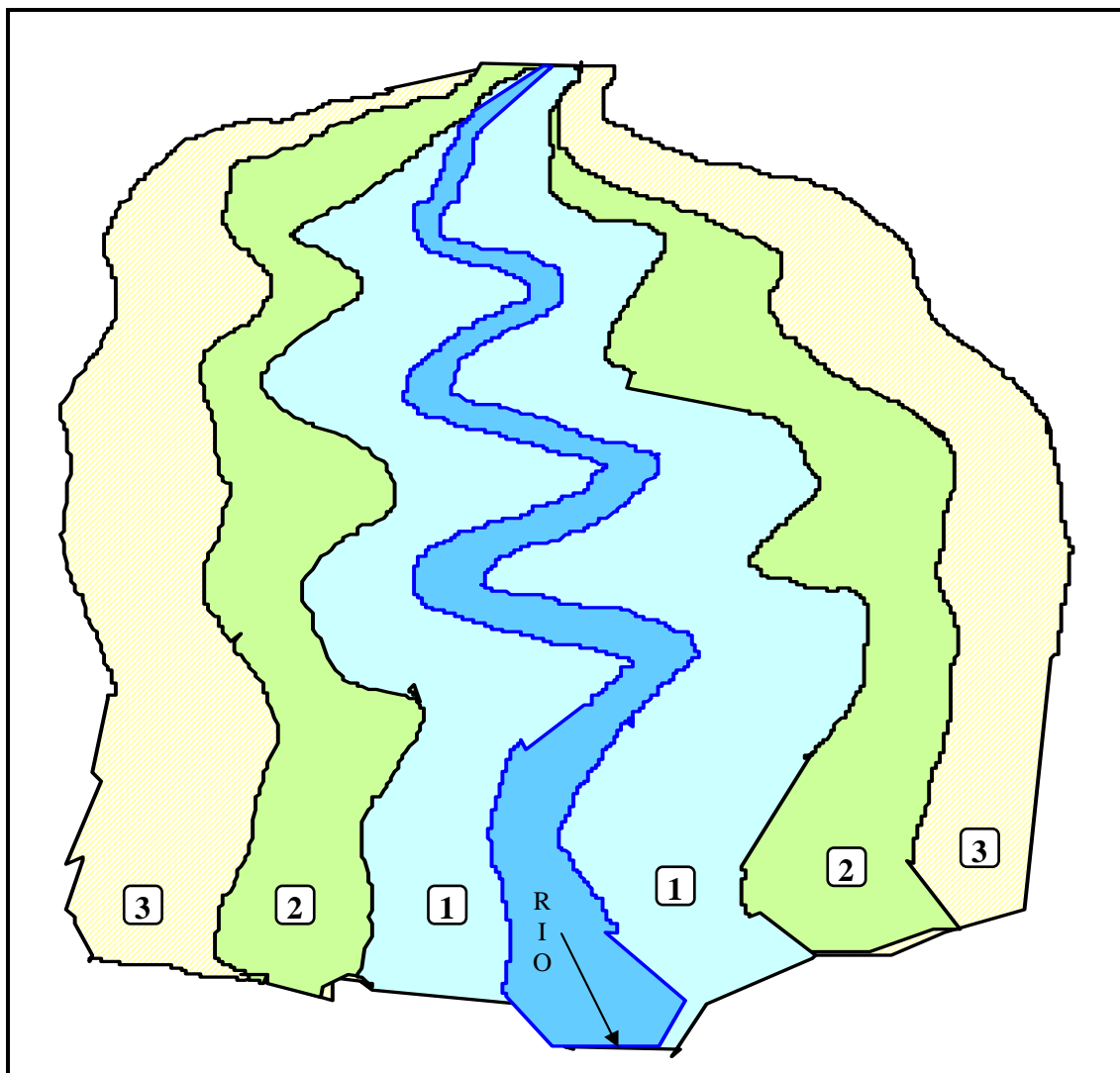


Figura 2.2 - Regulamentação da zona inundável

**Zona de passagem da enchente** (faixa 1) – Esta parte da seção funciona hidraulicamente e permite o escoamento da enchente. Qualquer construção nessa área reduzirá a área de escoamento, elevando os níveis à montante desta seção. Portanto em qualquer planjamento urbano, deve-se procurar manter esta zona desobstruída.

**Zona com restrições** (faixa 2) – Esta é a área restante da superfície inundável que deve ser regulamentada. Esta zona fica inundada mas, devido às pequenas profundidades e baixas velocidades, não contribuem muito para a drenagem da enchente.

**Zona de baixo risco** (faixa 3) – Esta zona possui pequena probabilidade de ocorrência de inundações, sendo atingida em anos excepcionais por pequenas lâminas de água e baixas velocidades. A definição dessa área é útil para informar a população sobre a grandeza do risco a que esta sujeita. Esta área não necessita regulamentação, quanto às cheias.

A primeira faixa depende das condições hidráulicas do escoamento da enchente, as demais são escolhidas com base no risco que se deseja assumir na convivência com as enchentes.

#### v) Regulamentação das zonas de inundação

Usualmente, nas cidades brasileiras, a população de menor poder aquisitivo e marginalizada ocupa as áreas ribeirinhas de maior risco. Na bacia do rio Itajaí, isso nem sempre é verdade (por ex. Blumenau, Rio do Sul, Gaspar, Timbó, Indaial, etc.), uma vez que durante uma seqüência longa de anos sem enchentes significativas, houve uma ocupação importante de áreas planas em patamares intermediários devido, também, aos inconvenientes do restante do relevo acidentado das cidades.

A regulamentação da ocupação de áreas urbanas é um processo iterativo, que passa por uma proposta técnica que é discutida pela comunidade antes de ser incorporada ao Plano Diretor da cidade. Portanto, não existem critérios rígidos aplicáveis a todas as cidades, mas sim recomendações básicas que podem ser seguidas em cada caso.

Water Resources Council (1971) orienta a regulamentação com base em distritos, definindo-se em cada um o seguinte: a) um texto que apresente os regulamentos que se aplicam a cada distrito, junto com as providências administrativas; b) um mapa delineando os limites dos vários usos nos distritos.

O zoneamento é complementado com a subdivisão das regulamentações, onde são orientadas as divisões de grandes parcelas de terra em pequenos lotes, com o objetivo de desenvolvimento e venda de prédios. Portanto, essa é a fase de controle sobre os loteamentos. O Código de Construções orienta a construção de prédios quanto à aspectos estruturais, hidráulicos, de material e vedação. A regulamentação das construções permite evitar futuros danos. A seguir relacionamos alguns indicadores gerais que podem ser usados no zoneamento.

**Zona para passagem das enchentes:** essa faixa do rio deve ficar desobstruída para evitar danos de monta e represamentos. Nessa faixa não deve ser permitida nenhuma nova construção e a prefeitura poderá, paulatinamente, relocar as habitações existentes.

Na construção de obras como rodovias e pontes deve ser verificado se as mesmas produzem obstruções ao escoamento. Naquelas já existentes deve-se calcular o efeito da obstrução e verificar as medidas que podem ser tomadas para a correção. Não deve ser permitida a construção de aterro que obstrua o escoamento. Essa área poderia ter seu uso destinado a agricultura ou outro similar às condições da natureza. Adicionalmente, seria permitido a instalação de linhas de transmissão e condutos hidráulicos.

Em algumas cidades poderão ser necessárias construções próximas ao rio. Nessa circunstância, deve ser avaliado o efeito da obstrução e as obras devem estar estruturalmente protegidas contra inundações.

**Zona com restrições:** Esta zona pode ser subdividida em subáreas, mas essencialmente os seus usos podem ser: a) parques e atividades recreativas ou esportivas cuja manutenção, após cada cheia, seja simples e de baixo custo. Normalmente uma simples limpeza a reporá em condições de utilização, em curto espaço de tempo; b) uso agrícola; c) habitação com mais de um piso, onde o piso superior ficará situado, no mínimo, no nível do limite da enchente e estruturalmente protegida

contra enchentes; d) industrial-comercial, com áreas de carregamento, estacionamento, áreas de armazenamento de equipamentos ou maquinaria facilmente removível ou não sujeitos a danos de cheia. Neste caso, não deve ser permitido o armazenamento de artigos perecíveis e principalmente tóxicos; e) serviços básicos: linhas de transmissão, estradas e pontes, desde que corretamente projetados.

**Zonas de baixo risco:** Nesta área, delimitada por cheia de baixa frequência, pode-se dispensar medidas individuais de proteção individuais para as habitações, mas orientar a população para a eventual possibilidade de enchente e dos meios de proteger-se das perdas decorrentes, recomendando o uso de obras com, pelo menos, dois pisos, onde o segundo pode ser usado nos períodos críticos.

Um exemplo de regulamentação do uso do solo é o da cidade de Blumenau que incorporou, ao Plano Diretor da cidade, o mapa de planejamento (realizado pela FURB e PMB), no qual por exemplo não é permitido construções abaixo da cota enchente de 10,00 m (referenciada na estação fluviométricas da ponte Adolfo Konder).

### 3. Erosões

#### 3.1. Processos de erosão, transporte e depósito de sedimentos

Os complexos processos responsáveis pela sedimentação, transporte e depósito de sedimentos, são responsáveis pela forma atual da superfície da Terra. Os principais agentes dinâmicos externos do processo de sedimentação são a água, o vento, a gravidade, o gelo e os agentes biológicos, e ultimamente a ação antrópica que podem atuar combinados ou isoladamente. A erosão corresponde a separação e remoção da partícula da rocha e do solo pela ação da água, do vento ou por outro efeito, sendo que diversos fenômenos têm ação preponderante nesse processo. O destaque da partícula no processo de erosão ocorre através da energia de impacto da gota de chuva no solo e pelas forças geradas devido à ação do escoamento das águas. As gotas de chuva, caindo principalmente em terrenos inclinados (Fig. 3.1), desagregam as partículas, provocam o deslocamento e lavam o solo, removendo a camada superficial. Quanto menor a proteção do solo tanto maior é a erosão.

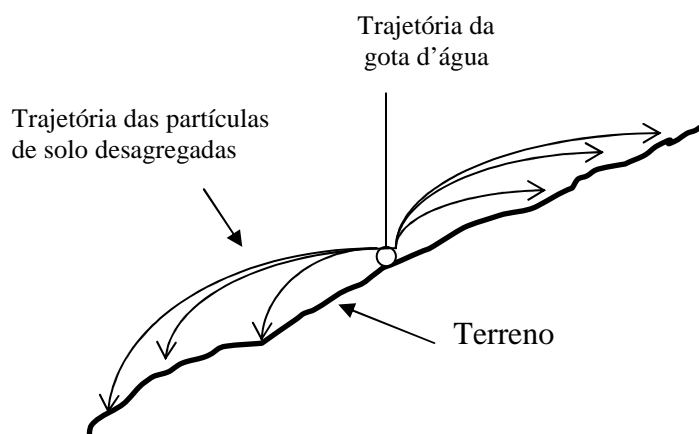


Figura 3.1 - Erosão de partículas de solo provocada pelo impacto de gotas de chuva.

As partículas soltas podem ser deslocadas de sua posição, e ser transportada pelas enxurradas para os cursos d'água. Uma quantidade de partículas minerais transportadas ou depositadas pela ação do escoamento das águas define o sedimento fluvial. O deslocamento e transporte do sedimento dependem da forma, tamanho, peso da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento. Se essas forças se reduzem até a condição de não poderem continuar a deslocar a partícula, ocorre o processo de deposição. Esses depósitos podem ser de pequeno, médio, ou de

grande volume; transitórios ou permanentes (como o assoreamento). Um depósito sedimentar permanente sofre o peso da água e do seu próprio peso, compactando-se.

O excesso ou falta de carga sólida num rio provoca diversas alterações. A capacidade que um fluxo de água, com uma certa vazão, tem de transportar uma certa quantidade máxima de material sólido é denominado valor de saturação. Os fatores que determinam o valor de saturação são a vazão, a declividade do rio, a granulometria e o peso específico do sedimento. Se a quantidade de material for maior que o valor de saturação, haverá formação de depósito; se for menor, haverá tendência à erosão. Em condições de carga sólida elevada, o leito do rio começa a se elevar, pela deposição de sedimentos; assim as enchentes passam a ser mais frequentes, devido a diminuição da capacidade da calha; caso haja um reservatório, este passará a reter o sedimento, assoreando-se. Em condições de quase nenhuma carga sólida, as margens e o leito começam a ser erodidos, se não forem suficientemente resistentes.

A quantidade total de material erodido que completa o percurso, desde a origem até o ponto de controle (ou de medição), tal como um reservatório ou uma posição do curso d'água (ex.: posto fluviométrico), é denominada contribuição ou produção de sedimento ou ainda de rendimento sólido. A produção de sedimento, quando considerada para jusante do ponto de medição, é denominada de transferência ou remoção de sedimentos.

Quando as águas conseguem penetrar, com certa facilidade, em terrenos muito porosos e permeáveis, verifica-se um solapamento subterrâneo com desmoronamentos consecutivos, formando-se imensos rasgos no terreno, com centenas de metros de extensão por vários metros de profundidade. Esta forma erosiva, tão prejudicial ao terreno, é denominada vossoroca, palavra tupi que significa “terra rasgada”. As vossorocas se formam, de preferência, em terrenos arenosos que sofreram o desmatamento.

Mais importante no esculpimento da superfície terrestre é a ação mecânica da água corrente. Logo após, ou mesmo durante uma chuva torrencial formam-se as enxurradas, de aspecto barrento, conforme a natureza do solo, e os rios se tornam lamacentos. Dependendo das condições de declividade e de tipo de solo, uma única chuva pode remover muitas dezenas de milhares de toneladas de solo, normalmente se a região for desprovida de vegetação.

### **3.2. Necessidade do controle das erosões**

A erosão do solo constitui um dos maiores problemas ambientais à ameaçar a viabilidade da vida na Terra. Além deste fator inestimável em termos de valores financeiros, a erosão causa perdas acentuadas em cidades, como é o caso da queda de taludes ocorrendo muitas vezes perdas de vidas humanas. Os sedimentos erodidos são deslocados pelas enxurradas para os cursos d'água, assoreando as calhas dos rios ou reservatórios, trazendo danos elevadíssimos ou irrecuperáveis.

A História registra muitos exemplos de civilizações que declinaram por que não conseguiram lutar contra os problemas decorrentes da sedimentação; o Vale da Ribeira (litoral sul de São Paulo) teve declínio em sua atividade econômica, durante o século XIX, por razão do assoreamento e conseqüente inviabilização do porto da cidade de Iguape. Regiões brasileiras, tais como as nordestinas atualmente assoladas pela desertificação, já abrigaram solos férteis e aprazíveis condições ambientais. Muitos reservatórios de água (inclusive lagos de hidrelétricas) encontram-se assoreados no Brasil, por falta de um planejamento de caráter previsionista no desenvolver dos projetos e atividades, tanto quanto em relação aos hábitos e cultura popular carente de conscientização ambiental (Carvalho, 1994).

A atividade antrópica influencia consideravelmente o processo de sedimentação natural, de forma benéfica ou prejudicial para o seu próprio bem estar. A perturbação do solo traz um benefício esperado para o momento, mas traz problemas de extrema gravidade em prazos mais longos. A partir da acumulação de conhecimentos sedimentológicos nas últimas décadas, tem-se chegado a um melhor entendimento dos fundamentos na criação, na solução ou na mitigação dos problemas de sedimentação.



A solução aparente para as questões relativas ao transporte e deposição de sedimentos seria a interrupção completa da erosão à montante, na bacia de drenagem, resolvendo também o problema desta. Porém, esta interrupção não é física e economicamente viável na solução de problemas específicos de sedimentos à jusante; além da possibilidade de produzir outros problemas. Então, é necessário procurar a solução adequada em cada caso, através da realização de estudos específicos.

A mitigação dos efeitos danosos do sedimento exige o estudo das suas causas; um problema, por exemplo, pode ser causado pela quantidade total de sedimento que é transportada, ou se corresponde a certas limitações granulométricas (problemas de estabilidade de canais devido à areia, ou a redução de drenagem devido a argilas). Estando determinadas as causas, a natureza do prejuízo, as características críticas do sedimento, a granulometria e outros aspectos, então começa a se delinear uma melhor solução para o problema. Deve-se investigar os tipos de medidas de redução dos danos, considerando-se os métodos alternativos para se alcançar, de forma econômica, a solução adequada.

### **3.3. Controle das erosões através da sistematização hidráulico-florestal**

As obras de sistematização hidráulico-florestal além de laminar o pico das enchentes ordinárias tem também o escopo de reduzir o fenômeno da degradação do solo, pois após a retirada da floresta, principalmente naqueles terrenos onde existe uma certa declividade, acaba ocorrendo o “*desequilíbrio hidrogeológico*” Nome este usado para indicar a gravidade dos problemas que são gerados com a retirada da floresta que vão desde os grandes deslizamentos das montanhas até as pequenas erosões localizadas, incluindo as erosões dos álveos fluviais, a sobrelevação dos cursos d’água, etc. (Maione, 1984).

O controle de tais fenômenos se obtêm através de intervenções de vários tipos voltados a redução do aporte do transporte sólidos proveniente; das zonas agrícolas, das encostas das montanhas em degradação e/ou em deslizamento, da regularização do perfil longitudinal dos cursos d’água, da proteção das margens dos rios, da criação de novos bosques, da criação e o ordenamento do deflúvio das águas superficiais, da drenagem das águas das infiltrações das encostas instáveis, do revestimento dos solos em erosão com vegetação e da proteção dos mesmos com manufaturados usados da engenharia hidráulica, da bioengenharia, etc.

Em síntese, as obras de sistematização hidráulico-florestal podem ser subdivididas em duas categorias: “obras extensivas e obras intensivas”.

As primeiras são diretamente dirigidas à reconstituição da cobertura vegetal do território, objetivando dar estabilidade às encostas e compreendem nas intervenções de “*inerbamento*” (plantações de herbáceas e gramíneas) e de cobertura vegetal, além de outras obras hidráulico-florestal de menor porte. São também consideradas obras extensivas algumas intervenções complementares, tal como: o reforçamento da cobertura vegetal, as intervenções silvo-culturais sobre as faixas de bosques não eficientes, as práticas agronômicas corretas, tal como: a sistematização dos pastos degradados, sistematização dos terrenos com terraceamentos em zonas cultivadas, plantio direto, etc.

As obras intensivas são de natureza prevalentemente hidráulicas e consistem em artefatos projetados e dimensionados com critérios e métodos da Engenharia Civil. As principais finalidades são a sistematização dos álveos dos cursos d’água corrigindo as declividades, protegendo as margens e dando oportunas linhas e dimensões harmoniosas às seções transversais. Trata-se em geral de obras para conter as erosões do fundo do álveo (obras transversais), de defesa das margens (obras longitudinais) e de intervenções de movimentação de materiais do álveo. Também podemos considerar como obras intensivas a categoria de obras de contenção e consolidação dos deslizamentos (muros, barreiras, drenagens, etc.).

A atual situação do nosso território evidencia claramente como muitos casos de intervenções de sistematização executados no passado nas calhas dos rios com fins de conseguir uma proteção das margens dos cursos d’água e de garantir então o uso dos territórios circundados das obras, tem modificado as características geomorfológicas e hidráulicas dos rios (declividade, seção, andamento

planimétrico, vazões, níveis, velocidade), da vegetação das margens e as propriedades físico-químicas das águas, causando muitas vezes a destruição ou o degrado do mosaico de biotopos e biocenose, ocasionando a substituição da paisagem natural com outra artificial ecologicamente empobrecida.

Por estas razões, atualmente se vai cada vez mais afirmando projetos que deixam de lado intervenções que consideram somente soluções tradicionais da engenharia hidráulica para projetos do tipo bioengenharístico, de modo que haja uma integração dessas obras, e que possam haver garantias maiores no que diz respeito não só na defesa hidrogeológica do território mas também que seja assegurado um satisfatório inserimento das obras na paisagem e no ambiente.

#### **4. Considerações finais**

As atuais situações do território de muitos países, inclusive as do nosso, evidenciaram claramente como em muitos casos de intervenções executadas no passado nas calhas dos rios com fins de conseguir uma proteção das margens dos cursos d'água e garantir então o uso dos territórios protegidos pelas obras, tem modificado gradualmente as características geomorfológicas e hidráulicas dos rios, tais como: a declividade, a seção, o andamento planimétrico, as vazões, os níveis e a velocidade. As modificações ocorridas com a vegetação das margens dos rios e das características físico-químicas das águas, tem causado muitas vezes a destruição ou a degradação do mosaico de biotopos e biocenose, e a substituição da paisagem natural por outra artificial, ecologicamente empobrecida.

A intenção deste trabalho foi apresentar as principais medidas para o controle de cheias e erosões acompanhados de alguns exemplos práticos. De uma forma geral as medidas de controle foram classificadas em duas categorias: estrutural e não-estrutural. Enfocamos que a forma moderna atual de buscar a minimização das cheias e das erosões é aquela que leva em consideração um conjunto de medidas, tanto para as cheias como para as erosões, pois as mesmas na maioria das vezes estão interrelacionadas. Desta forma, a busca das medidas para a minimização das cheias e erosões, além de levar em consideração as medidas da engenharia hidráulica tradicional necessita levar em consideração também a sistematização hidráulico-florestal.

#### **Referência bibliográfica**

- BUTZKE, I., C. “**Os meândros de Agrolândia**”. Dynamis, Revista tecno-científica, Editora da FURB, Blumenau, v.2, n.8, p.143-150, jul/set 1994.
- CARVALHO, N. O., 1994. “**Hidrossedimentologia prática**”. Rio de Janeiro, CPRM, 372p.
- CORDERO, A., 1996. “**Previsione di piena in tempo reale con un modello distribuito**”. Tese de Doutorado em Engenharia Hidráulica, Politécnico de Milão, Itália.
- MAIONE, M e BRATH, A., 1994 . “**Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali**”. Atti del corso di aggiornamento, Politécnico de Milão, Itália.
- TUCCI, C. E. M. (Organizador). “**Hidrologia: ciência e aplicação**”. Porto Alegre, Editora da Universidade, ABRH, 1997.
- WATER RESOURCES COUNCIL, 1971. “**Regulation of flood hazard areas to reduce flood losses**”. Washington. Não paginado.