

HIDRÁULICA FLUVIAL E REGULARIZAÇÃO DE CANAIS

Aeroportos, portos e vias navegáveis



Tópicos

1. Noções de hidrografia
2. Noções de hidrologia
3. Morfologia fluvial
4. Dimensões desejáveis para canais de navegação
5. Melhoramentos dos cursos d'água para navegação
 - Melhoramentos gerais ou Normalização
 - Regularização
 - Canalização



Noções de Hidrografia

Representação de aspectos reais

Áreas MARÍTIMAS ou FLUVIAIS

No caso de rios ou canais

- Seções transversais
- Vazões
- Velocidades
- Transporte de material sólido
- Qualidade da água



Noções de Hidrografia

Elementos gerais de uma bacia hidrográfica

- Área
- Forma
- Geologia
- Declividade
- Ventos e Chuvas



Noções de Hidrografia

Técnicas para obtenção de dados

- Geodésia/Topografia
- Altimetria Fluvial
- Vazão/Velocidades



Noções de Hidrologia

Estudo da ÁGUA

- **Estados**
- **Ocorrência**
- **Distribuição**
- **Circulação na natureza**

Precipitação

Infiltração

Evaporação



Morfologia fluvial

Conformação dos cursos d'água

ÁGUAS LIVRES

- Cabeceiras das bacias
- Leito **NÃO** definido
- Declividade acentuada
- Dependem das precipitações
- Regime descontínuo
- Intensa erosão
- **TORRENTES**



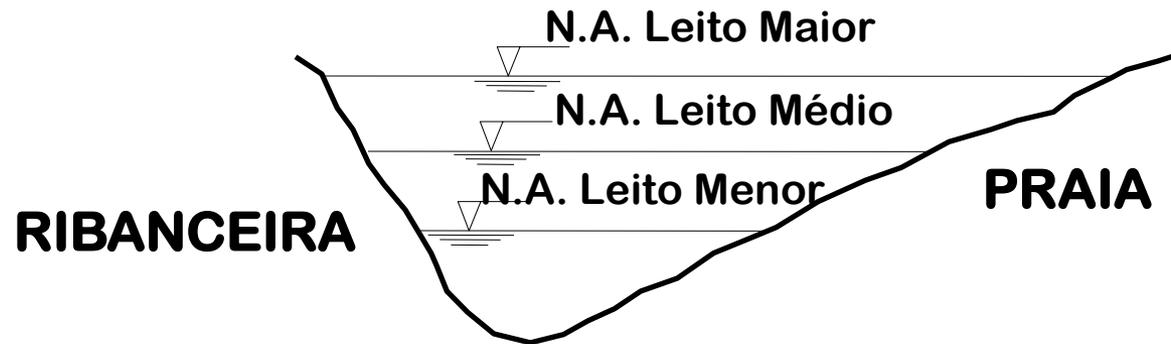
Morfologia fluvial

Conformação dos cursos d'água

ÁGUAS SUJEITAS

- Menor declividade
- Menor velocidade
- Caminho definido
- **TALVEGUES**
- Fluem em calha denominada **ÁLVEO** ou **LEITO**
- **RIOS**

Morfologia fluvial



Características da seção transversal de um rio



Morfologia fluvial

Rios podem ser

Estáveis

- Água sem poder erosivo
- Declividade baixa

Errantes (ou Divagantes)

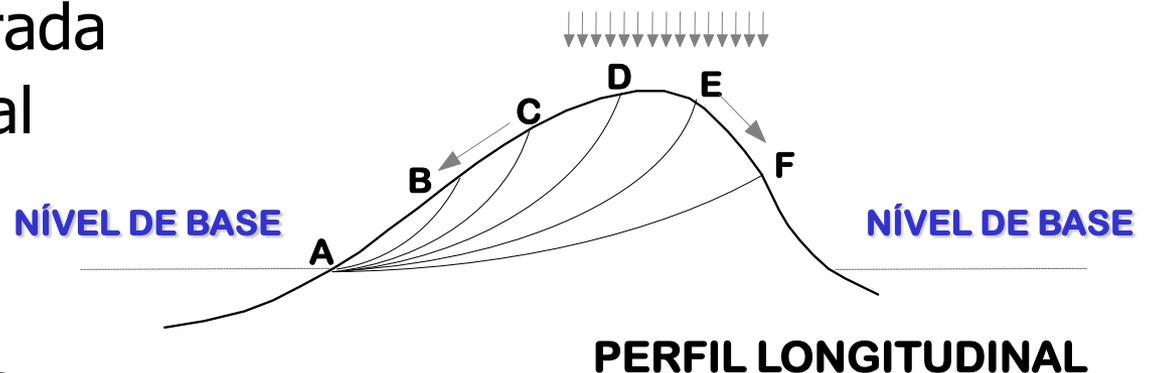
- Altera a posição do leito

Morfologia fluvial

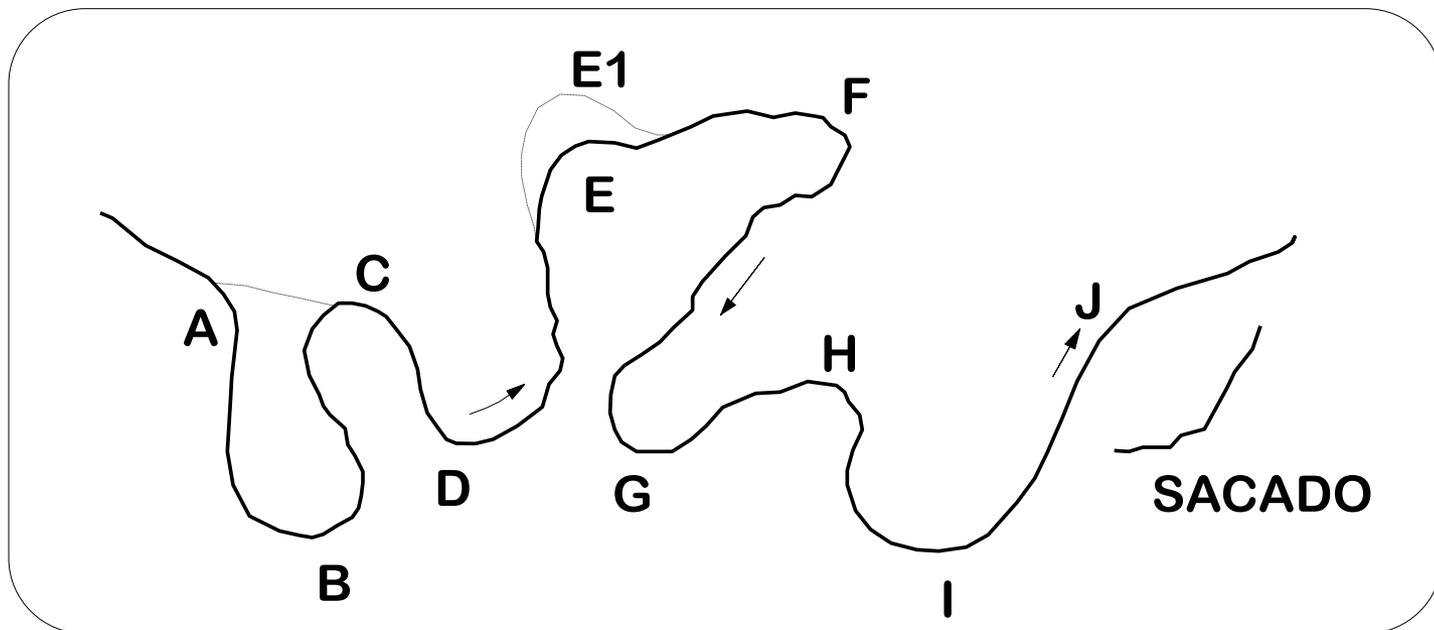
Evolução dos cursos d'água

Leis de Surel (1938)

- Erosão é retrógrada
- Perfil longitudinal
 - Curva contínua
 - Concavidade para o zênite
 - Tangente a uma horizontal



Morfologia fluvial



Vista em planta de um rio meândrico



Morfologia fluvial

Rios não são ESTÁVEIS

Ciclo vital dos rios (William Morris Davis)

MOCIDADE	Busca talvegue definitivo
MATURIDADE	Talvegue definido Busca perfil de equilíbrio
VELHICE	Perfil estabilizado Acúmulo de matéria sólida Meandros
MORTE	Migração da linha de partilha



Morfologia fluvial

Curvas representam um problema para a navegação

- Maior dificuldade e risco
- Acréscimo na distância

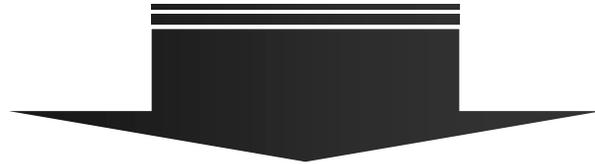
Qual é a solução?

RETIFICAÇÃO dos meandros????



Morfologia fluvial

Retificação de meandros



Busca de novo perfil de equilíbrio

- Erosão à montante
- Assoreamento à jusante

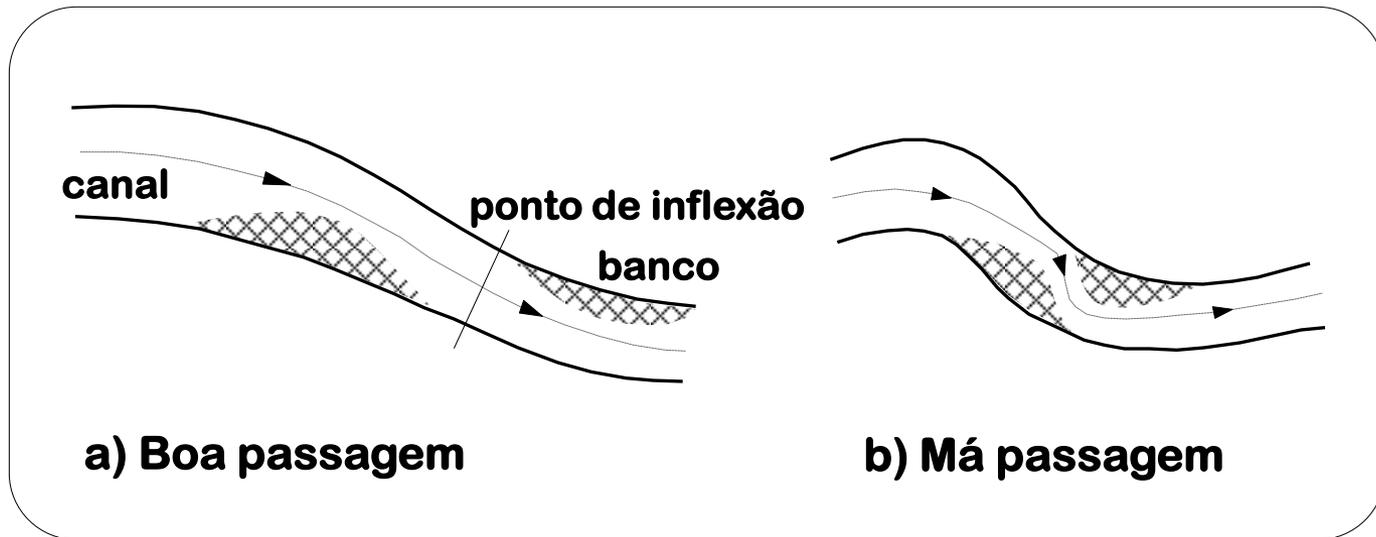


Morfologia fluvial

Leito de curso d'água definido pela erosão

- Pode começar no fundo do rio
- Concentração da corrente no ponto frágil
- Alteração da seção
- Filetes d'água incidem sobre margem
- Filetes "refletem" e atingem outra margem
- Até atingir o perfil de equilíbrio

Morfologia fluvial



Vista em planta de bancos nas curvas de rios



Morfologia fluvial

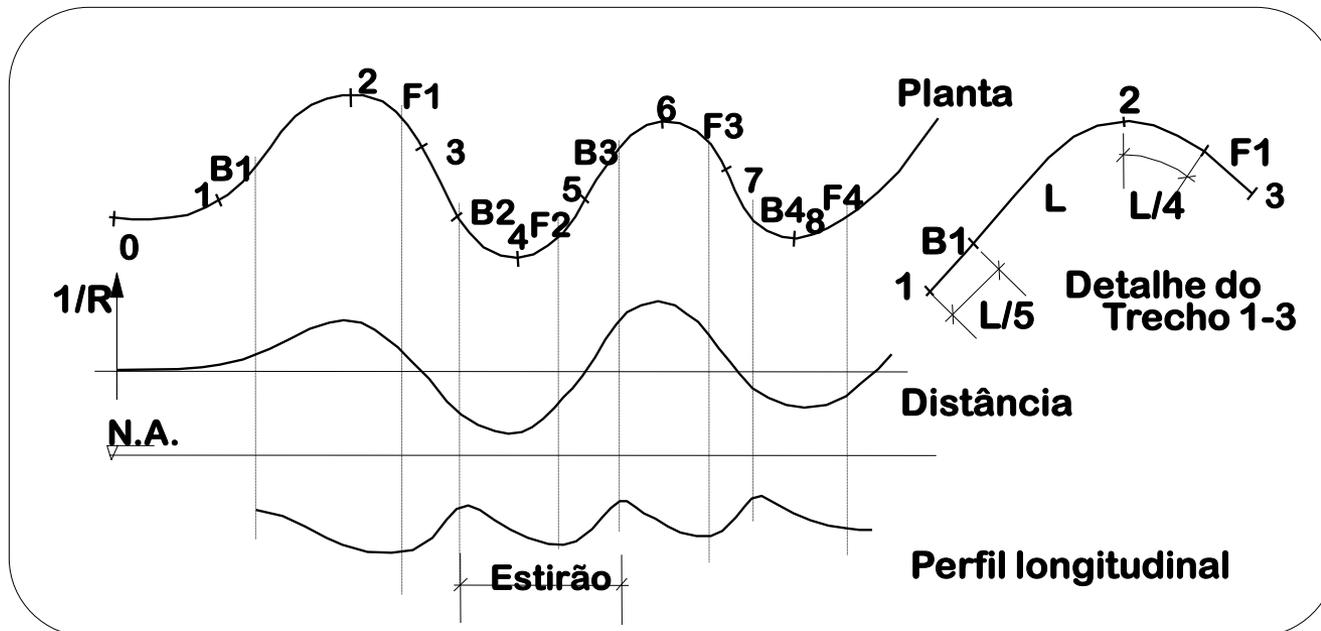
Princípios gerais que regem a formação dos cursos d'água (H. Girardon)

- 1) Forma sinuosa em planta
- 2) Perfil transversal sem profundidades uniformes
- 3) Perfil longitudinal sem declive uniforme
- 4) Série de fossas, separadas por bancos
- 5) Cheias renovam o leito, modificando a forma

**MELHORAMENTOS podem
INDUZIR comportamento
natural do rio!!!!!!**

Morfologia fluvial

Fargue identificou correlações entre acidentes em planta e perfil



Características gerais de um rio, segundo Fargue



Morfologia fluvial

Sendo L o comprimento da curva considerada

- Bancos a L/5 a jusante do ponto de inflexão
- Fossas a L/4 a jusante do vértice da curva
- Valores estudados por Fargue (17 pontos) geraram relação numérica:

$$C = 0,03.H^3 - 0,23.H^2 + 0,78.H - 0,76$$

**Curvatura
quilométrica (inverso
do raio de curvatura)**

**Profundidade máxima
da fossa
(em metros)**

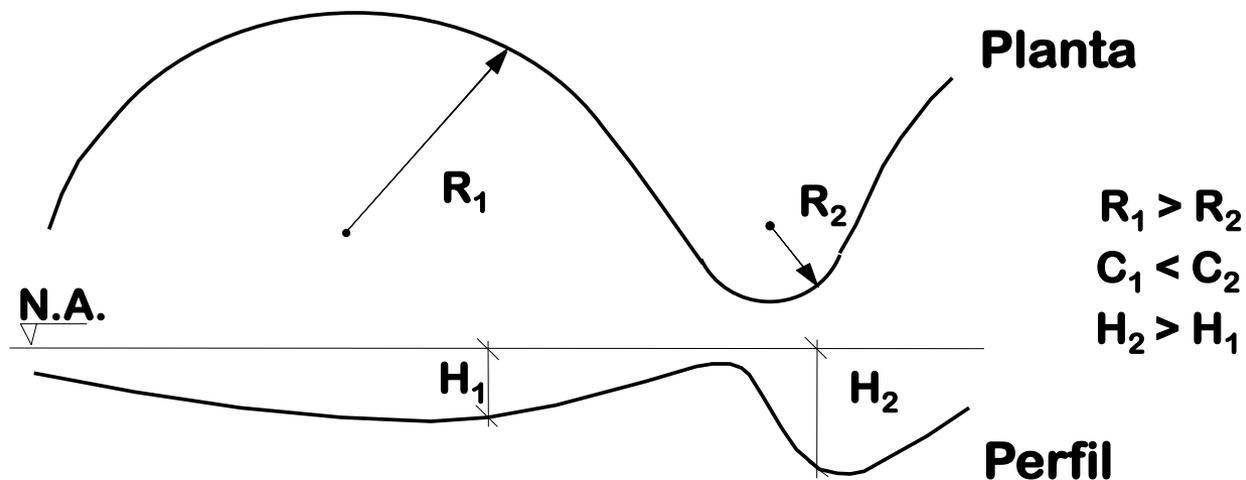
Seis leis de caráter geral e base empírica

1) Lei dos afastamentos

- Profundidades máximas e mínimas à jusante dos vértices e inflexões

2) Lei das fossas (ou da maior profundidade)

- Profundidade de uma fossa é tanto maior, quanto maior a curvatura dos vértices correspondentes



3) Lei dos desenvolvimentos

- Para maiores profundidades máxima e média, o desenvolvimento das curvas deve ter um valor médio, específico para cada rio

4) Lei dos ângulos

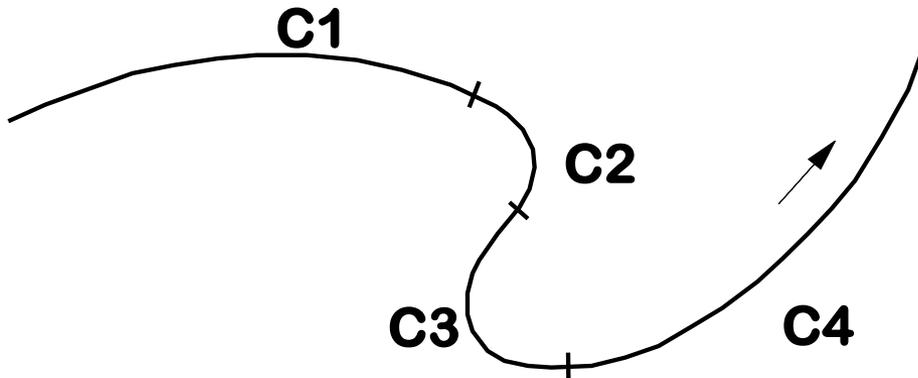
- Para desenvolvimentos iguais de curvas, a profundidade média é tanto maior, quanto maior o ângulo externo formado pelas tangentes



$$\begin{aligned} D1 &= D2 \\ a1 &< a2 \\ Hm1 &< Hm2 \end{aligned}$$

5) Lei da continuidade

- Toda a mudança brusca de curvatura produz uma redução brusca de profundidade

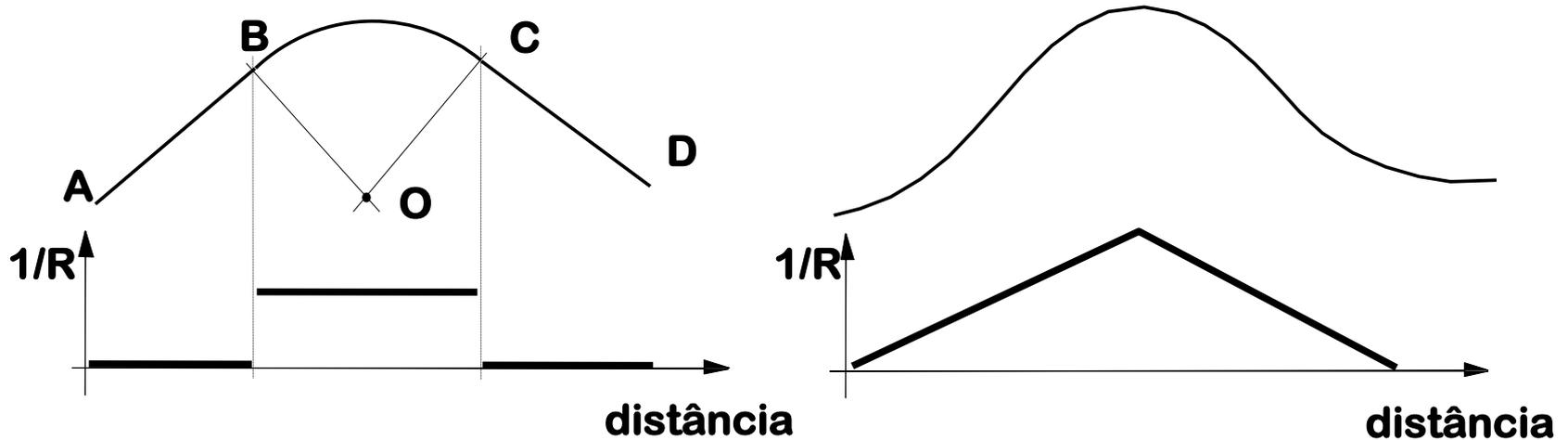


$C1 < C2$ - aumento da profundidade a jusante

$C3 > C4$ - redução da profundidade a jusante

6) Lei da inclinação dos fundos

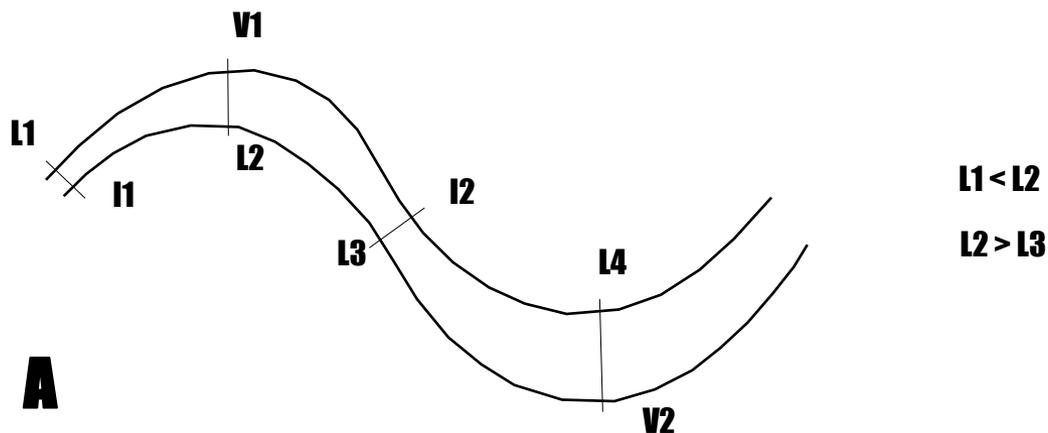
- Se a curvatura varia de maneira contínua, a inclinação da tangente à curva das curvaturas (inverso do raio) determina, em qualquer ponto, a declividade do fundo



Morfologia fluvial

REGRAS COMPLEMENTARES

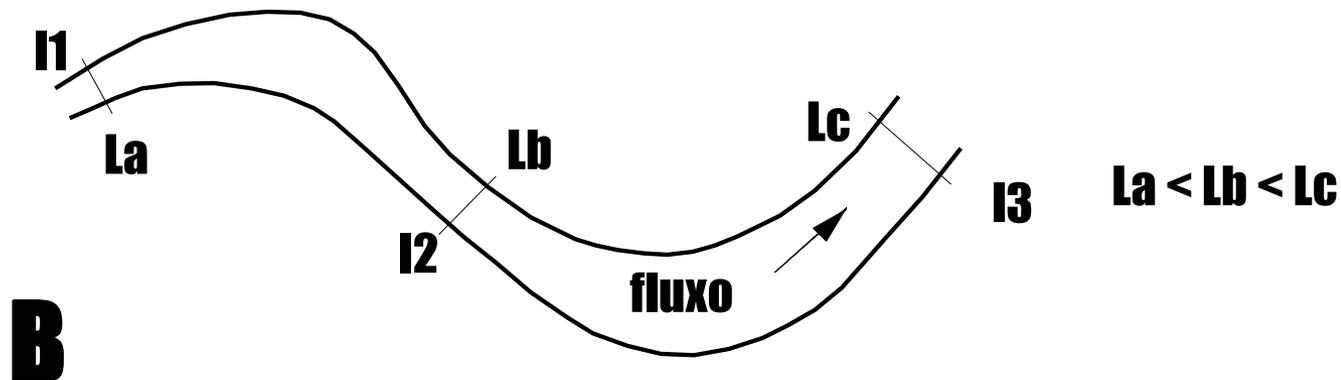
Entre pontos de inflexão consecutivos, a largura deve crescer junto com a curvatura, com o valor máximo no vértice da curva



Morfologia fluvial

REGRAS COMPLEMENTARES

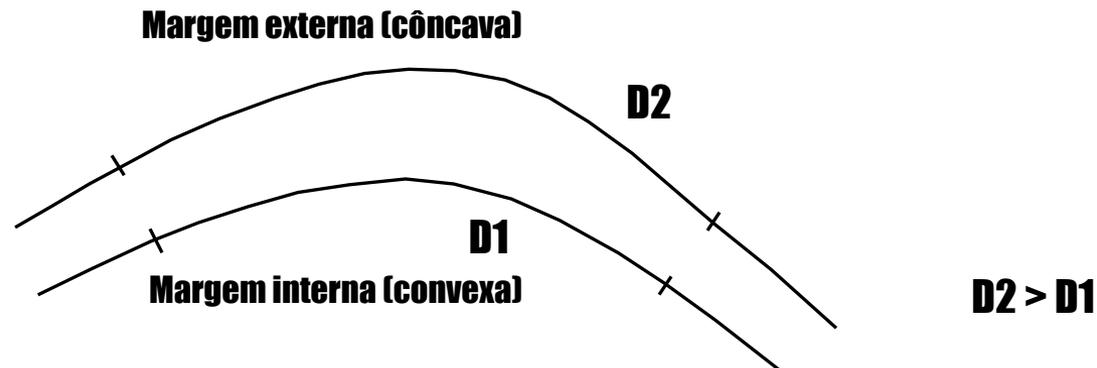
As larguras dos pontos de inflexão sucessivos crescem de montante para jusante

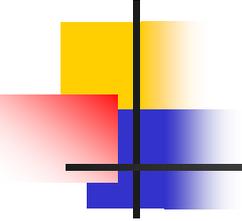


Morfologia fluvial

REGRAS COMPLEMENTARES

Margens côncavas devem ter um desenvolvimento notavelmente superior ao das margens convexas

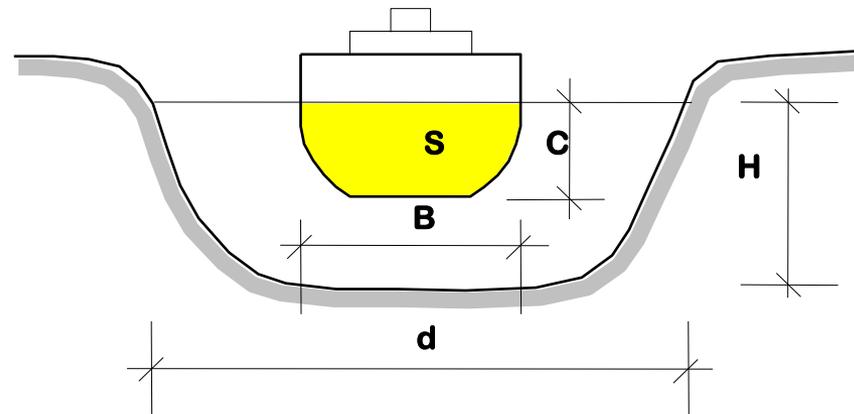




Dimensões desejáveis para canais de navegação

**DEFINIDAS, A PRINCÍPIO, SEGUNDO
CRITÉRIOS ECONÔMICOS**

Dimensões desejáveis para canais de navegação



Profundidade: $h_{min} = C + 0,5$ metros, $h_{desejável} = 1,5.C$

Largura: $d_{min} = 4.B$, $d_{desejável} = 10.B$

Área da seção molhada (seção): $A_{min} = 6.S$ $A_{desejável} = 15.S$

Raio de Curvatura (em função do comprimento - l): $R_{min} = 10.L$

Raios menores só com superlargura (s): $s = \frac{L^2}{2.R}$



Melhoramentos dos cursos d'água para navegação

PROBLEMAS QUE DIFICULTAM UTILIZAÇÃO PLENA DE CURSOS D'ÁGUA PARA NAVEGAÇÃO

- Obstáculos naturais ou acidentais
- Desbarrancamentos
- Irregularidade das vazões
- Instabilidade do canal (talvegue pode se alterar após uma enchente)
- Pluralidade de canais
- Corredeiras e quedas

Melhoramentos dos cursos d'água para navegação

MELHORAMENTOS GERAIS ou NORMALIZAÇÃO

LIMITAÇÃO DO LEITO DE INUNDAÇÃO

REMOÇÃO DE OBSTÁCULOS

PROTEÇÃO DAS MARGENS

FECHAMENTO DE BRAÇOS SECUNDÁRIOS

RETIFICAÇÃO DE MEANDROS

REGULARIZAÇÃO

SIMPLES CONTRAÇÃO

CONSERVAÇÃO DE SOLEIRAS

CORRENTES HELICOIDAIS

CANALIZAÇÃO

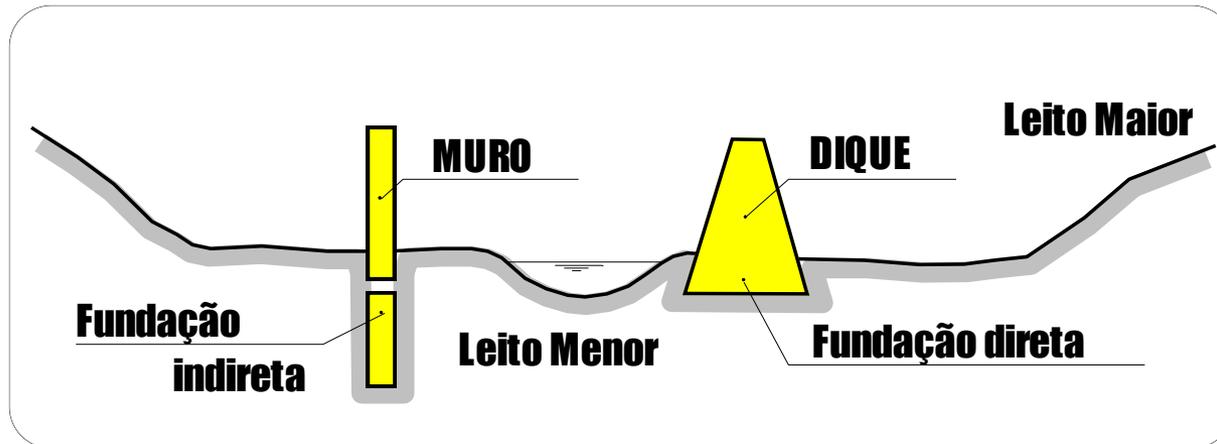


Melhoramentos Gerais ou Normalização

- **Obras de baixo custo**
- **Simplex**
- **Necessitam de grande manutenção**
- **Menor vida útil**
- **Não se utilizam da energia natural do rio**

Limitação do Leito de Inundação

- Protege terrenos ribeirinhos
- Barragens longitudinais no leito maior
- Diques ou muros
- Limitam as águas nas cheias, prevenindo inundações





Limitação do Leito de Inundação

Diques

- Barragens de terra ou enrocamento
- Geralmente de gravidade
- Materiais impermeáveis
- Solo local ou gabiões, com núcleo impermeável

Muros

- Estruturas esbeltas
- Em geral, de concreto armado
- Podem ser de alvenaria de pedra e madeira



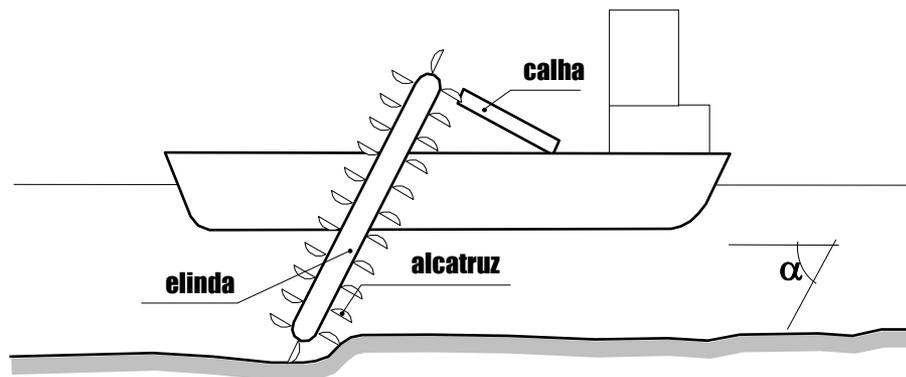
Remoção de Obstáculos

- Retirada de material sólido do leito do rio
- Obstáculo ocasional
- Rochas permanentes
- Sedimentos trazidos pela corrente

Remoção de Obstáculos

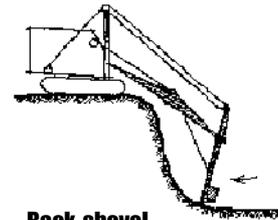
Dragagem

- Equipamentos mecânicos ou hidráulicos
- Pouca influência no regime dos rios
- Comum sedimentação do canal dragado
- Material pode ser removido do leito ou deixado no mesmo
- Equipamentos contínuos (alcatruzes)

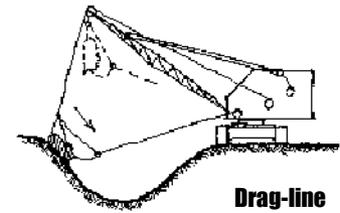


Remoção de Obstáculos

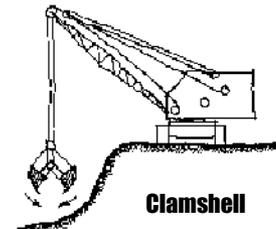
- Equipamentos descontínuos
 - Colher
 - Concha
 - Pá-de-arrasto



Back-shovel



Drag-line

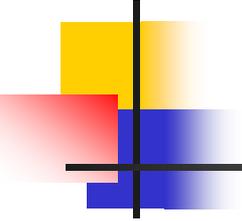


Clamshell



Remoção de Obstáculos

- Equipamentos hidráulicos (dragas de sucção)
 - Simples
 - Com desagregador giratório
 - Com pá de sucção



Material sólido e água são despejados:

- Nas próprias dragas
- Em batelões
- Na corrente, fora do canal
- Na margem, recalçados por tubulação

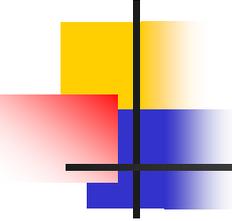
Derrocamento fluvial

- Explosivos
- Percussão (hastes de derrocagem ou marteletes pneumáticos)



Proteção das Margens

- Busca a fixação do canal navegável
- Reduz transporte de sólidos
- Permite o equilíbrio da seção transversal
- Protege terrenos ribeirinhos
- Desgaste das margens pode ser provocado por:
 - Arrancamento (oriundo da erosão)
 - Escorregamento da ribanceira (erosão no pé das margens ou escoamento de águas de infiltração)
 - Ação das ondas (vento ou embarcações)



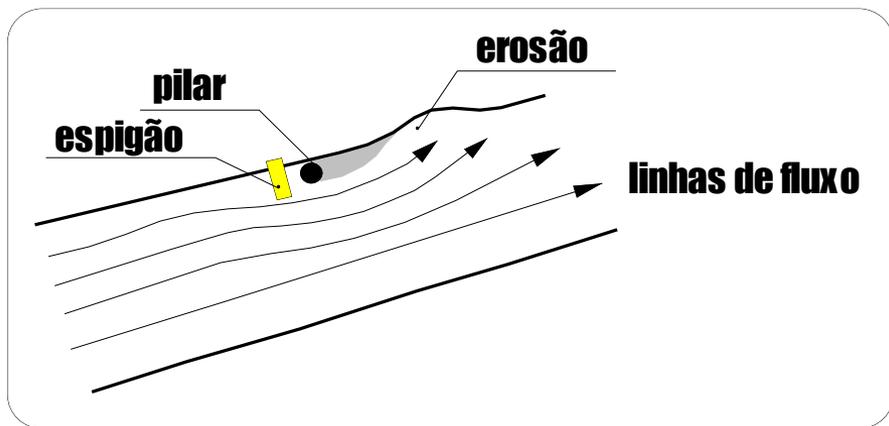
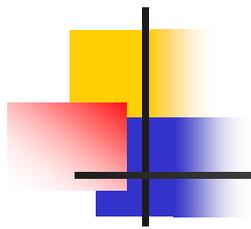
Proteção das Margens

Diretas ou Contínuas

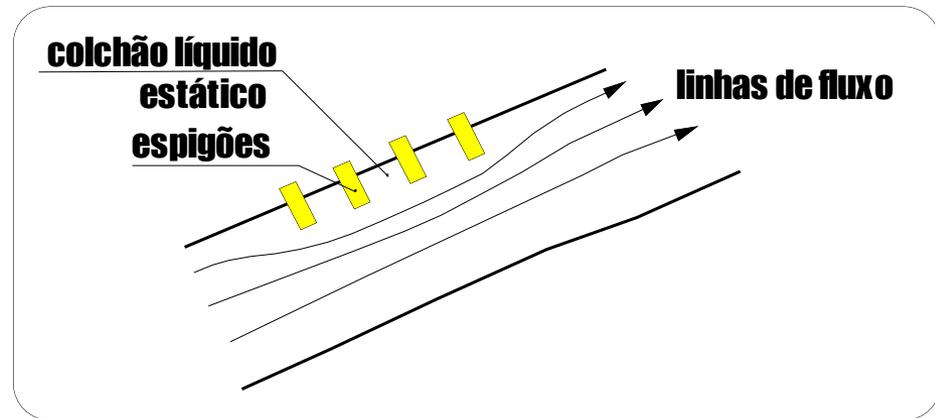
- Taludamento
- Revestimento simples
- Proteção com enrocamentos, alvenaria de pedra e cortinas contínuas

Indiretas ou Descontínuas

- Obras localizadas
- A curta distância das margens
- Desviam o curso d'água
- Provocam a deposição de material sólido
- Espigões isolados
- Espigões de repulsão
- Espigões de sedimentação



Espigão isolado e seu efeito na margem a jusante

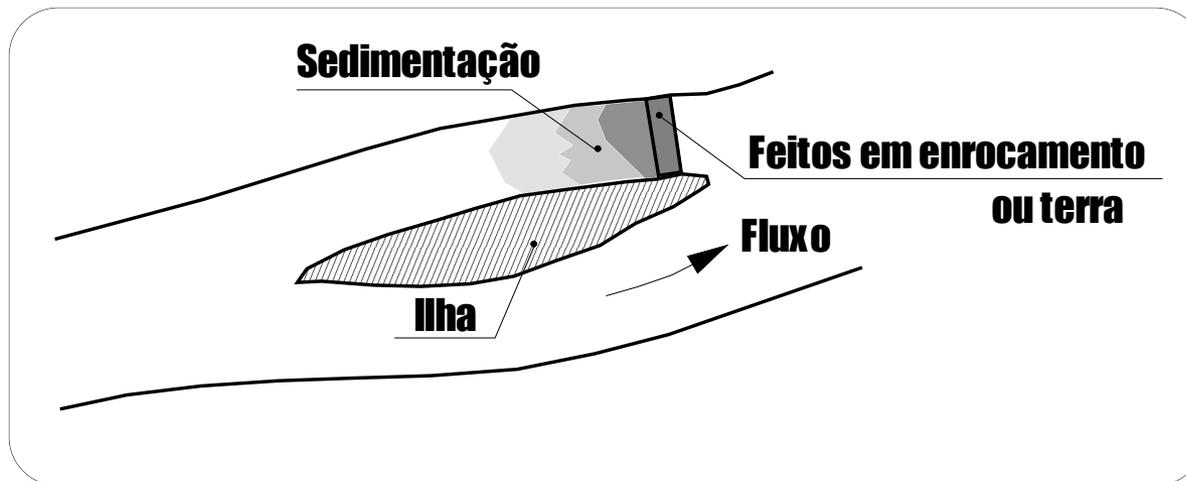


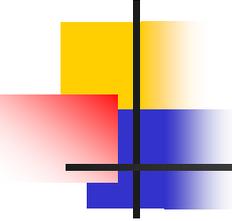
Rio com espigões de repulsão

Fechamento de Braços Secundários

Aprofundamento do canal principal

- Deposição dos materiais sólidos, à jusante





Retificação de Meandros

Pode gerar problemas

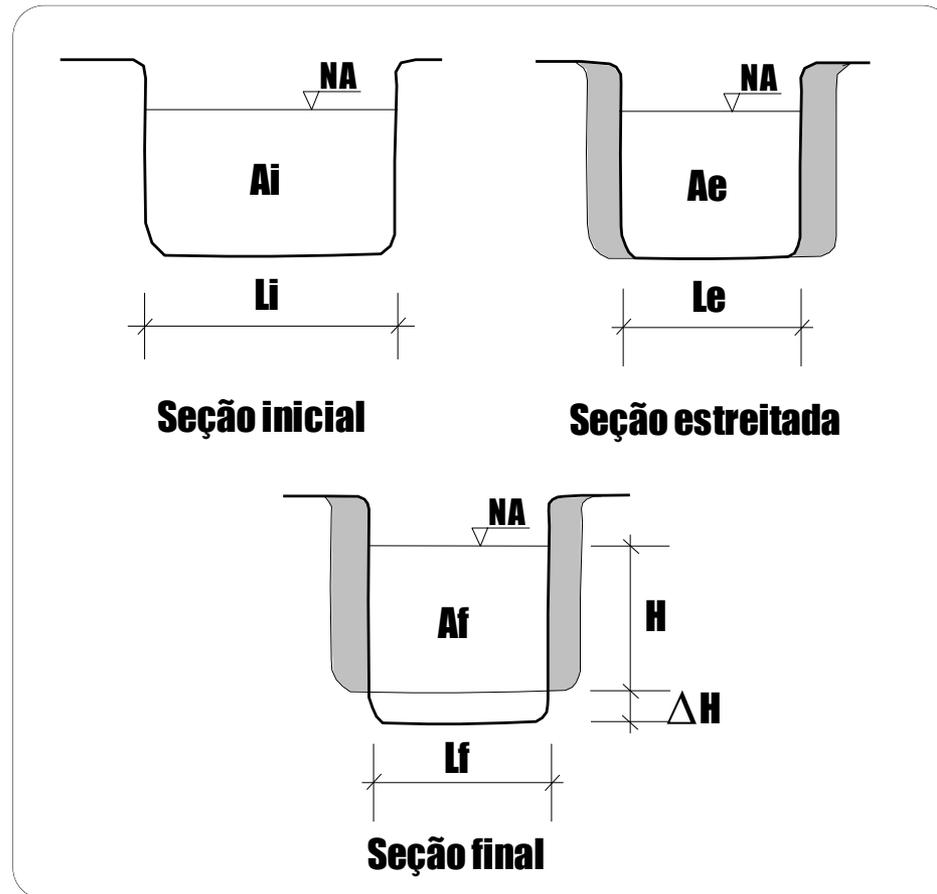
- Embocadura do novo canal próxima do vértice da curva pode evitar que o rio consiga refazer o meandro



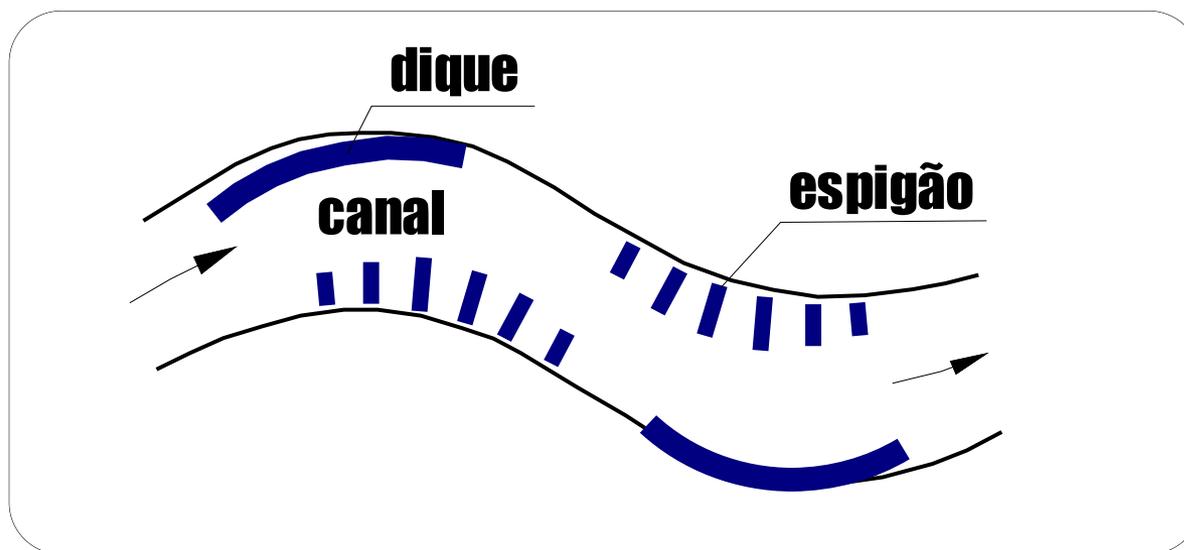
REGULARIZAÇÃO

- **Obras de custo elevado**
- **Necessitam de pouca manutenção**
- **Resultados permanentes**
- **Se utilizam da energia natural do rio**

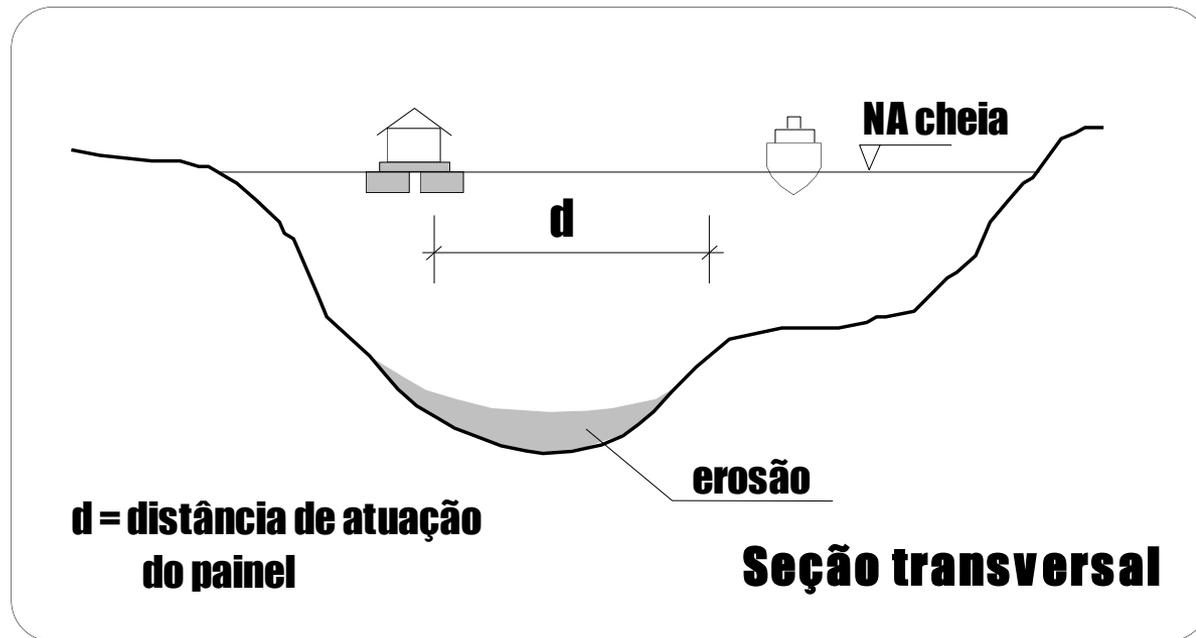
Simple Contraction



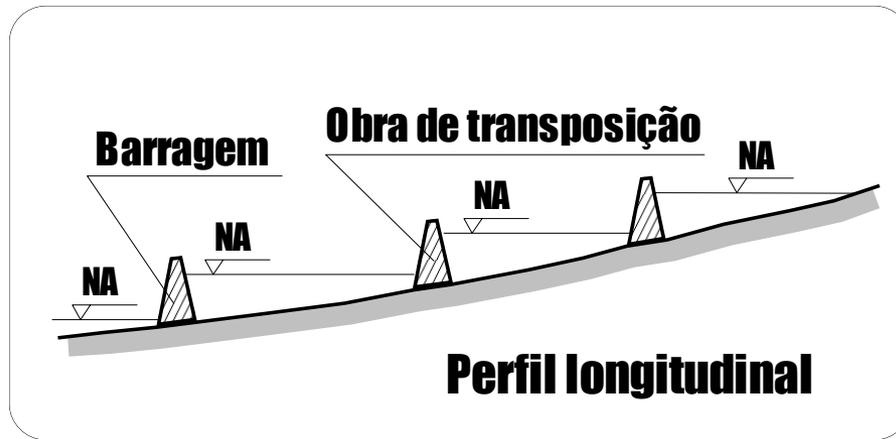
Conservação de Soleiras



Correntes Helicoidais



CANALIZAÇÃO



Vantagens

- Permite maiores calados
- Reduz os tempos de viagem
- Menor percurso pela retificação por recobrimento
- Controle da vazão na estiagem
- Facilidade para construção de portos
- Aproveitamento hidrelétrico
- Irrigação