



EQUIPAMENTOS HIDROMECAÂNICOS

Prof^{ra} Dra YVONE DE FARIA LEMOS DE LUCCA

São Paulo, 6 de dezembro de 2016.

Parte 3-

1-FORÇA HIDROSTÁTICA

1.1- Comportas de translação com paramento plano

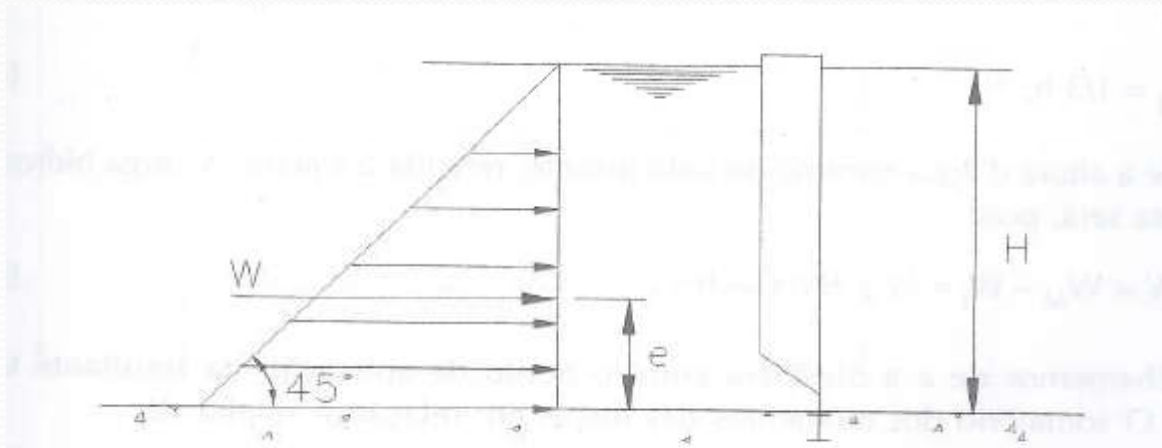
1.1.1- Comportas de superfície

1.1.2- Comportas de fundo

1.1.3- Comportas radiais

1.- Comportas de translação com paramento plano

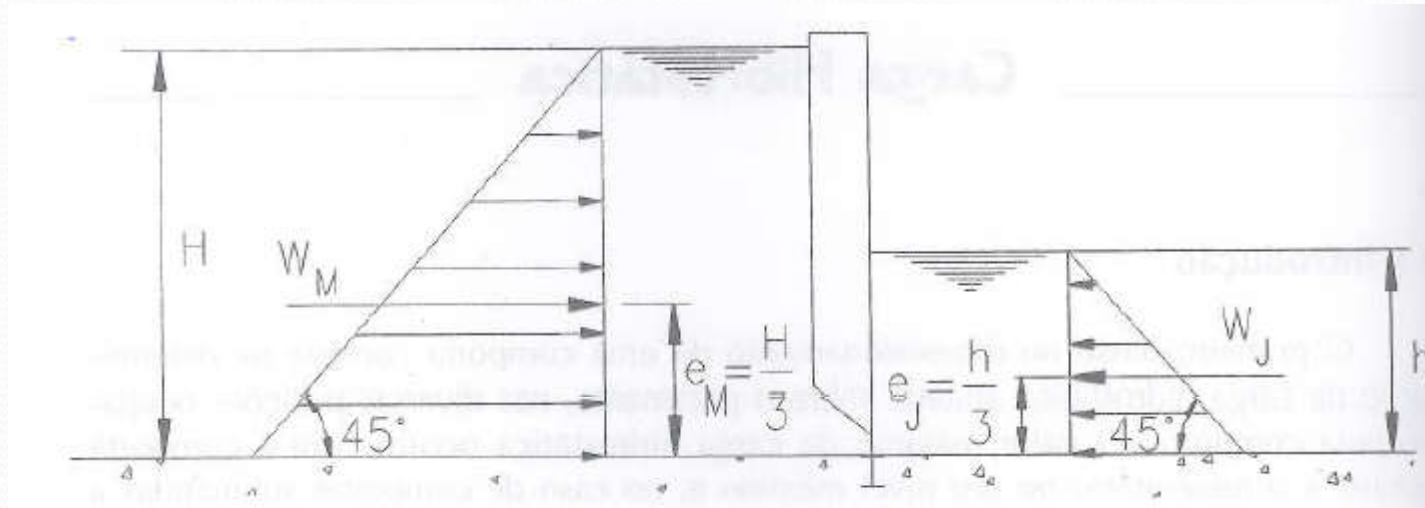
1.1- Comportas de superfície (Pressão d'água de um único lado)



$$W = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot H^2$$

$$e = \frac{1}{3} \cdot H$$

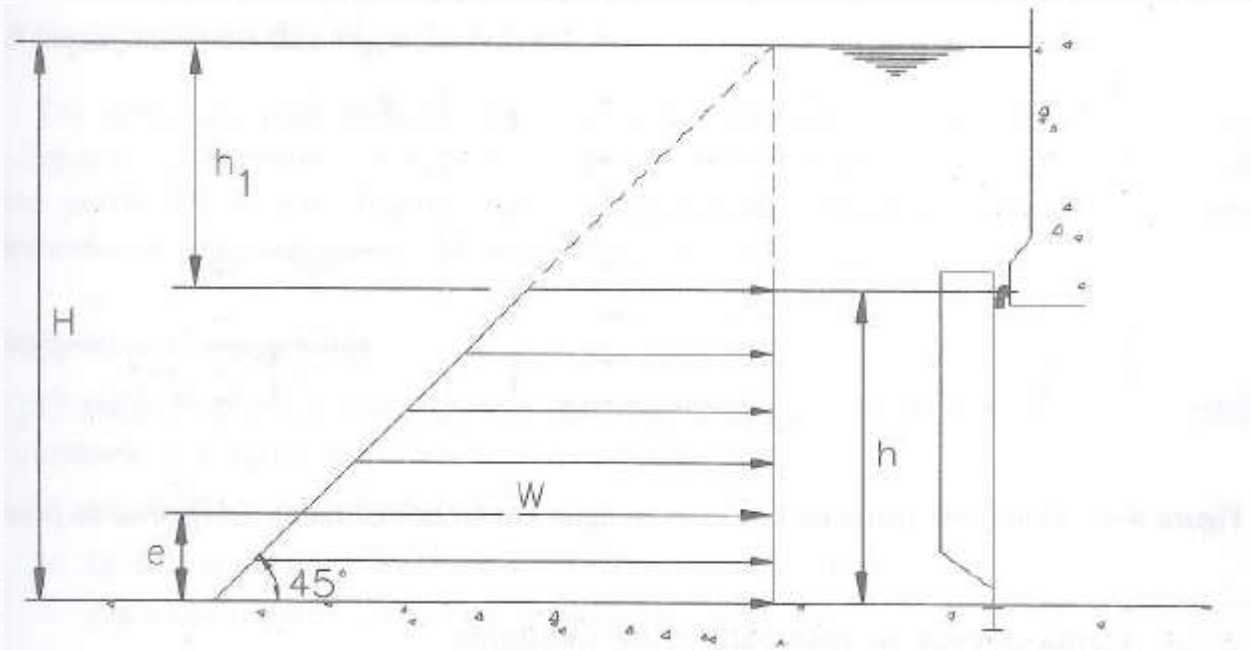
1.2- Comportas de superfície com água em ambos os lados



$$W = W_m - W_j = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot (H^2 - h^2)$$

$$z = \frac{H^3 - h^3}{3 \cdot (H^2 - h^2)}$$

1.3- Comportas de fundo (pressão d'água em um único lado)

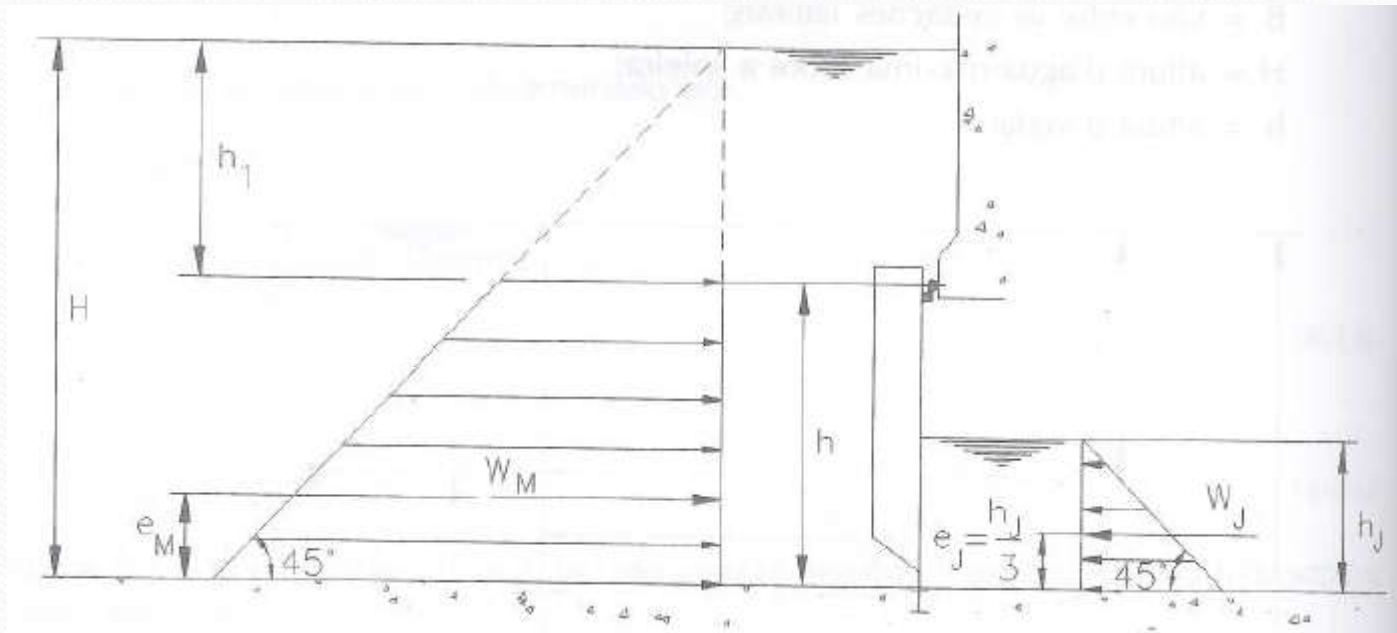


$$W = \gamma \cdot B \cdot h \cdot \left(H - \frac{h}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot (H^2 - h_1^2)$$

$$e = \left(\frac{H - h_1}{3} \right) \left(\frac{H + 2h_1}{H + h_1} \right)$$

$$e = \frac{h}{3} \left(1 + \frac{H - h}{2H - h} \right)$$

1.4- Comporta plana de fundo (com água em ambos os lados)



$$W = \frac{1}{2} \gamma B (H^2 - h_1^2 - h_j^2)$$

$$z = \frac{(H - h_1)^2 \cdot (H + 2h_1) - h_j^3}{3(H^2 - h_1^2 - h_j^2)}$$

Parte 4

2- Solicitações nas estruturas

2.1- Tipos de carregamento

2.2- Tensões admissíveis

2.3- Chapa de paramento

2.4- Vigas horizontais

2.5- Comportas segmento



Parte 4

3- Peças fixas, guias e apoios

- 3.1- Ranhuras e nichos
- 3.2- Caminho de rolamento
- 3.3- Caminho de deslizamento
- 3.4- Compressão do concreto
- 3.5- Guiamento lateral
- 3.6- Rodas e eixos
- 3.7- Buchas



4- Estimativas de peso

4.1- Comporta segmento

4.2- Comporta vagão

4.3- Comporta vagão dupla

4.4- Comporta ensecadeira

4.5- Comporta basculante

4.6- Peças fixas



1.3-Espaçamento das vigas horizontais

1.3.1- Comportas de superfície

Analíticamente: a profundidade h_k é:

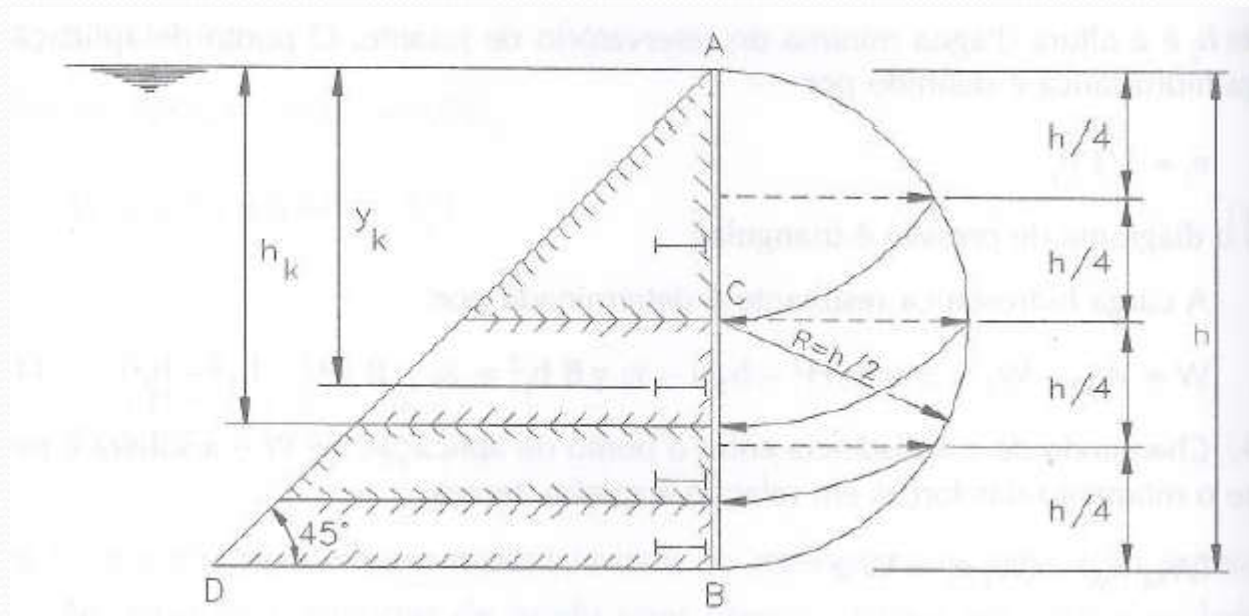
$$h_k = h \cdot \sqrt{\frac{k}{n}} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n)$$

E a posição das vigas horizontais :

$$y_k = \frac{2 \cdot h}{3 \cdot \sqrt{n}} \left[k^{3/2} - (k-1)^{3/2} \right]$$

1.3.1- Comportas de superfície- (continuação)

Método gráfico para divisão do diagrama de pressão em áreas equivalentes





1.3.2- Comportas de fundo

Analíticamente, a profundidade h_k

$$h_k = H \cdot \sqrt{\frac{k + \beta}{n + \beta}} \quad (k=1,2,3,\dots,n)$$

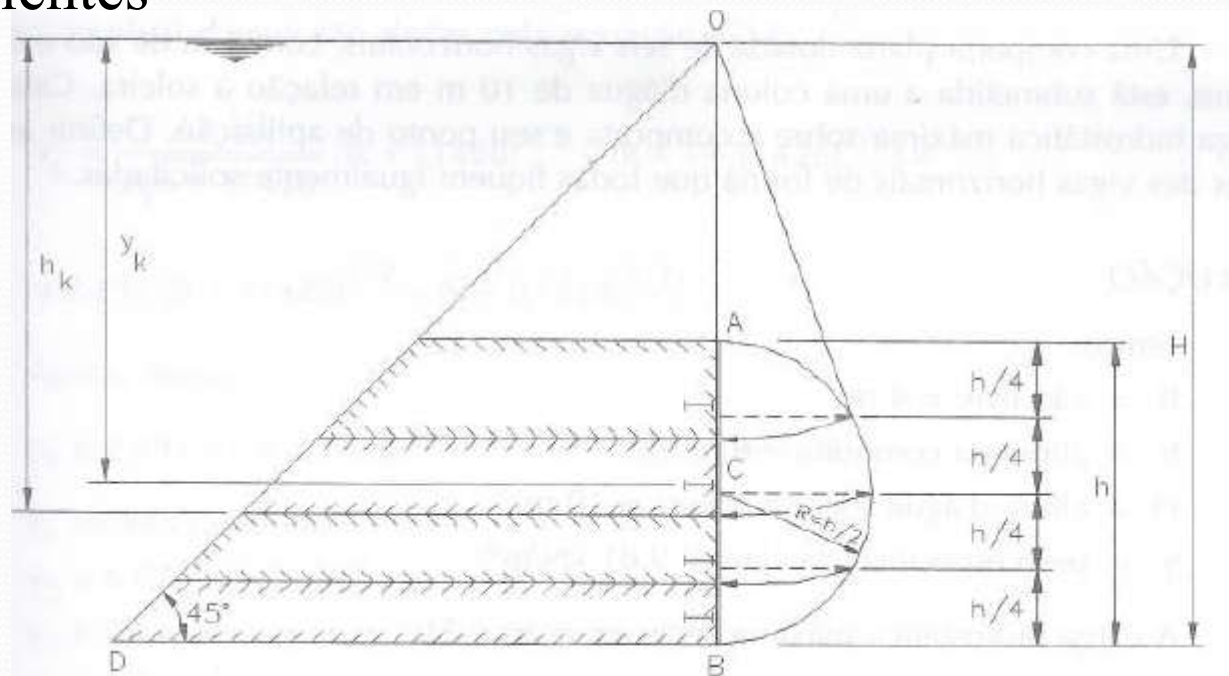
$$\beta = \frac{n \cdot (H - h)^2}{H^2 - (H - h)^2}$$

A posição das vigas horizontais é:

$$y_k = \frac{2 \cdot H}{3 \sqrt{n + \beta}} \left[(k + \beta)^{3/2} - (k - 1 + \beta)^{3/2} \right]$$

1.3.2- Comportas de fundo (Continuação)

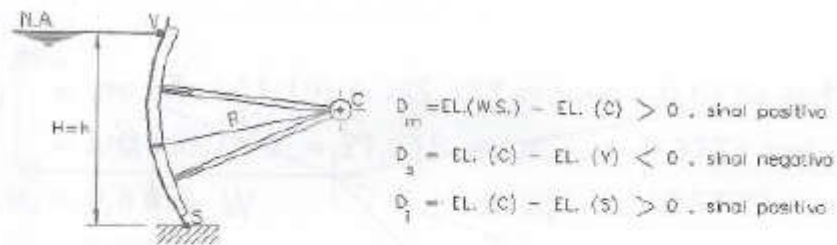
Método gráfico para divisão do diagrama de pressão em áreas equivalentes



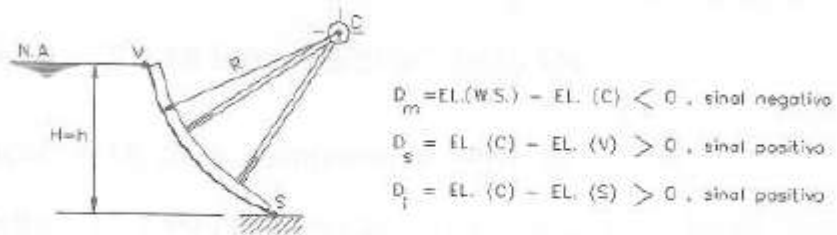
Este processo pode ser adotado para a localização das rodas de uma comporta vagão de modo que todas recebam cargas iguais!!!!

1.3- Comportas radiais

Parâmetros para o cálculo da carga hidrostática máxima



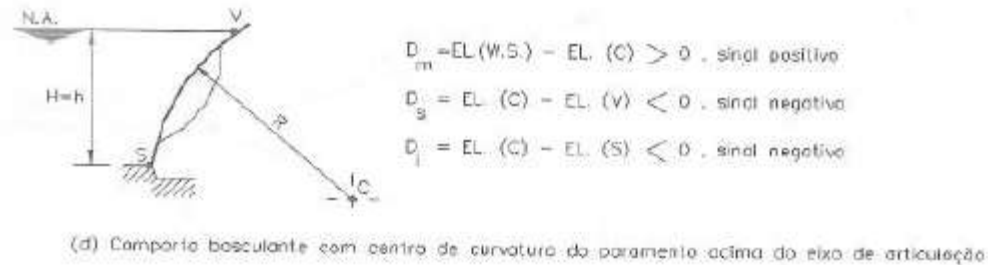
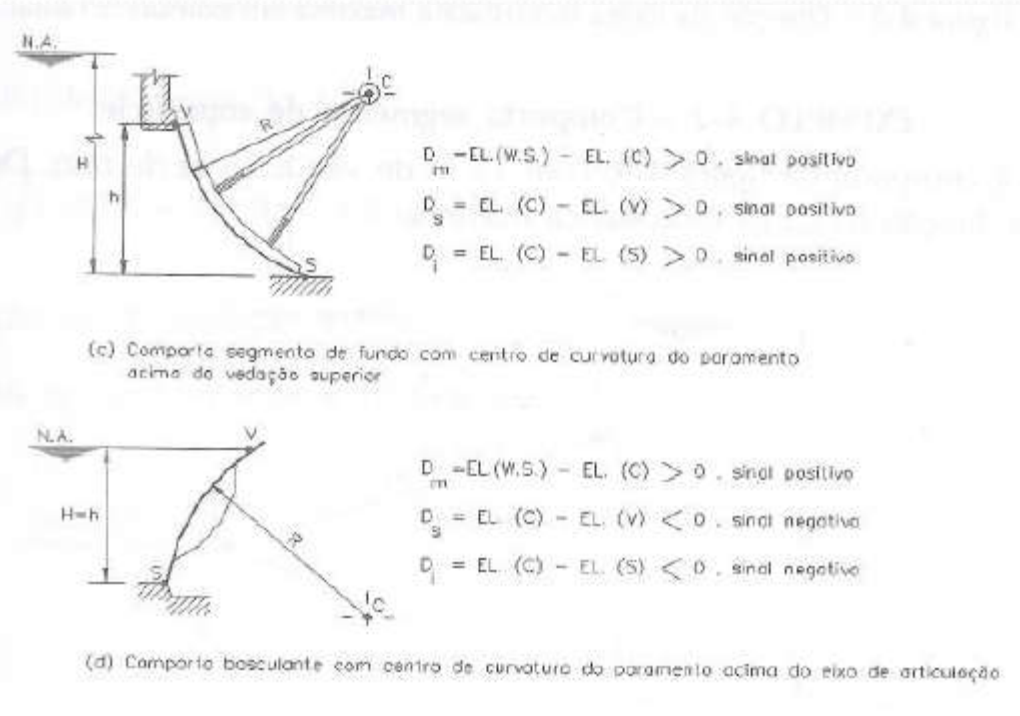
(a) Comporta segmento de superfície com centro de curvatura do parâmetro abaixo do N.A.



(b) Comporta segmento de superfície com centro de curvatura do parâmetro acima do N.A.

1.3- Comportas radiais (continuação)

Parâmetros para o cálculo da carga hidrostática máxima)





Direção da carga hidrostática máxima

γ = Peso específico da água: 9,81 kN/m³

B= vão da vedação;

R=raio de curvatura do paramento(face molhada);

H= altura d'água referida a soleira;

h-= altura d'água a vedar (altura da comporta sob carga);

D_m = diferença entre a elevação do nível d'água e a do centro de curvatura do paramento;

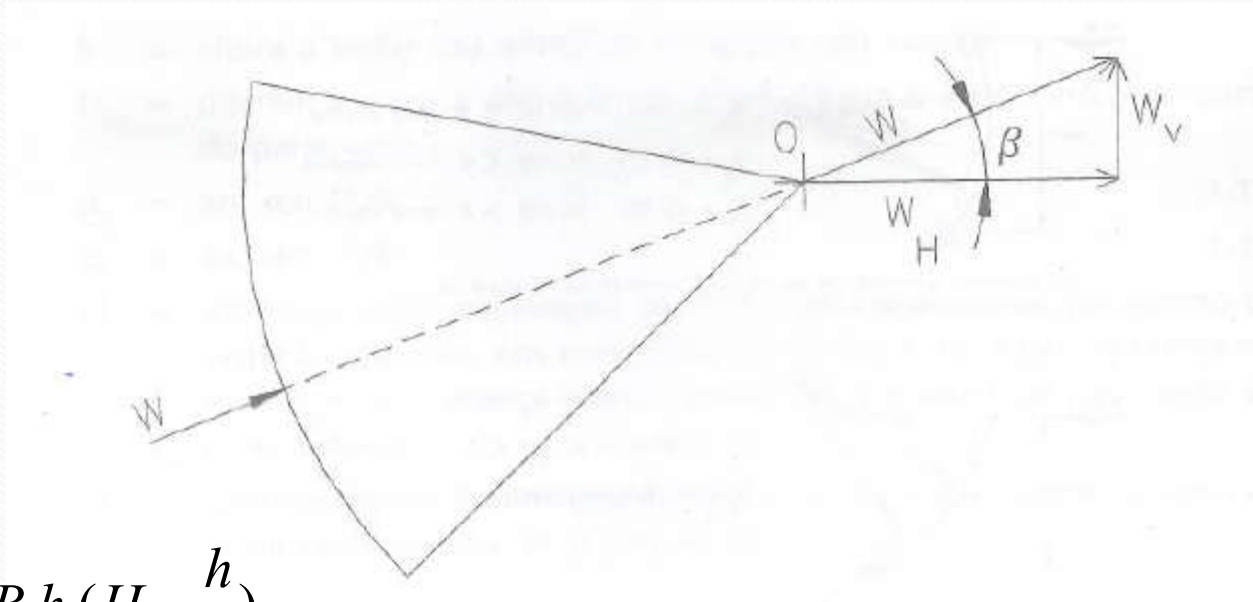
D_i =diferença entre a elevação do centro de curvatura do paramento e a da soleira;

D_s =diferença entre a elevação do centro de curvatura do paramento e a da vedação superior(comportas de fundo) e em comportas de superfície é a diferença entre a elevação do centro de curvatura do paramento e a do nível d'água;

$$\alpha_s = \arcsen(D_s / R)$$

$$\alpha_i = \arcsen(D_i / R)$$

Direção da carga máxima em comporta radial



$$W_h = \gamma \cdot B \cdot h \cdot \left(H - \frac{h}{2}\right)$$

$$W_v = \gamma \cdot B \cdot R \cdot \left[D_m (\cos \alpha_s - \cos \alpha_i) + R(\alpha_i - \alpha_s) / 2 + R(\operatorname{sen} \alpha_s \cos \alpha_s - \operatorname{sen} \alpha_i - \cos \alpha_i) / 2 \right]$$

$$W = \sqrt{W_h^2 + W_v^2}$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{W_v}{W_h}$$



2- Solicitações nas estruturas

Norma NBR-8883 : natureza, frequência e a probabilidade de simultaneidade das cargas:

- ✓ **Carga normal:** valores e combinações mais desfavoráveis das cargas hidrostáticas (nível normal), cargas hidrodinâmicas, forças de atrito, peso, empuxo, cargas de transito e aos esforços de manobra.
- ✓ **Carga ocasional:** cargas com menor frequência: as devido aos níveis de água extraordinários, cargas de vento, variação da temperatura, atrito de embarcações, impacto e pressão de gelo.
- ✓ **Carga excepcional:** transporte, montagem, manutenção: esforços de manobra devido a ruptura de blindagens, de condutos forçados, travamentos de comportas, impacto de embarcações, efeitos sísmicos e Alterações das condições de apoio.



Forças hidrodinâmicas: ensaios em modelos reduzidos.

- ✓ Laboratórios;
- ✓ Oneram os custos de fornecimento de comportas de pequeno porte;
- ✓ Métodos analíticos.

A influência dos esforços de manobra sobre os elementos estruturais deve ser considerada no projeto da comporta :

- ✓ capacidade máxima do sistema de acionamento- caso excepcional;
- ✓ Capacidade nominal do sistema de acionamento- caso normal.




Capacidade máxima do sistema de acionamento

- ✓ em sistemas oleodinâmicos é o correspondente à pressão da válvula de segurança;
- ✓ Sistemas eletromecânicos é a do dispositivo limitador, ou na sua ausência a do torque máximo do motor;
- ✓ Comporta que fecham pelo peso próprio, comprovada a preponderância com uma margem de segurança de 20% (carga normal) e 15% (carga excepcional).



Cargas devido ao vento

- ✓ Atuando horizontalmente;
 - ✓ Área exposta ao vento: área da projeção ortogonal da superfície exposta ao vento sobre um plano perpendicular à direção do mesmo.
-
- ✓ **Pressão do vento:**
 - igual a 500 N/m^2 comporta em movimento;
 - Igual a 1000 n/m^2 , comporta em repouso.



✓ **Efeitos térmicos:** Variação da temperatura em relação à temperatura de montagem para:

➤ Estruturas que trabalham permanentemente fora d'água ou que na maior parte do tempo de sua utilização estejam a céu aberto:

$$T = \pm 30 \text{ } ^\circ \text{C};$$

➤ Estruturas que trabalhem submersas na maior parte do tempo, ou que trabalhem fora d'água em ambiente protegido de grandes variações de temperatura : $\pm 20^\circ \text{C}$;

➤ Estruturas permanentemente submersas: $T = \pm 10 \text{ } ^\circ \text{C}$.



Cargas devido as ondas superficiais:


São função das condições locais, exemplo, em comportas de eclusas deve ser considerado um acréscimo de 0,25 m à coluna d'água.

Choque de embarcações:

É função da massa da maior embarcação inteiramente carregada, prevista para a hidrovia.

As comportas devem resistir a uma força cujo valor (KN), seja o dobro do valor numérico da massa, expressa em 10^6 kg, da embarcação.

Cargas provenientes de um eventual atrito de embarcações com as comportas, $F_H = 50 \text{ kN}$ (direção e sentido do movimento) e $F_V = 100 \text{ kN}$ (Perpendicular a direção do movimento).

- 
- ✓ **Cargas** provenientes das eventuais **condições de apoio** devidas aos recalques diferenciais da fundações ou ao deslocamento das estruturas de concreto são consideradas no projeto das comportas em função das condições locais.
 - ✓ Influência dos **sismos**, simulando uma força horizontal de intensidade igual a da massa da comporta multiplicada pela aceleração sísmica horizontal provável na região.
 - ✓ Possibilidade do fenômeno de ressonância e seus efeitos.
 - ✓ Influência da **pressão** e do **impacto de gelo**, é considerada em função das condições locais.



2.1- Tensões admissíveis

- ✓ São calculadas em função do limite de escoamento do material e o caso da carga.
- ✓ Norma NBR-8883 - Cálculo de comportas hidráulicas, de 1996 foi revisada , sugerindo equipamentos mais robustos!!!!
 - Tabela dos:
 - ✓ coeficientes de tensões admissíveis para elementos estruturais para cada caso de carga!!!!
 - ✓ Pressão de contato admissível entre pinos e apoios !!!!
- ✓ DIN 19704, 05/1998 foi revisada!!!!



2.3- Chapas de paramento .

2.3.1- Espessura

- ✓ Maior peso do tabuleiro se encontra na chapa do paramento.
- ✓ Projetista : menor espessura possível compatível com a necessária resistencia estrutural!!!!
- ✓ Menor espessura é 8mm!!!! (Não empena durante a solda)
- ✓ Eventualmente # 6,5 mm- comportas de superficie
- ✓ Comportas de alta pressão: # 40 mm!!!!
- ✓ Espessura : estudos comparativos entre as várias alternativas de espaçamento dos enrijecedores e vigas nela soldadas!!!



2.3.2- Tensões de placa

✓ Norma NBR-8883

✓ Tensões de flexão devido a pressão de água, são calculadas pela Teoria da Elasticidade;

2.3.3- Largura Útil

✓ Paramento atua como aba da seção das vigas do tabuleiro;

✓ Norma NBR-8883.

2.4-Vigas Horizontais

- ✓ Quantidade de vigas processo de ensaio e erro;
- ✓ Inicialmente são arbitrados os números de vigas e suas dimensões;
- ✓ Calculadas as tensões e deformações;
- ✓ Se os resultados não forem satisfatórios, novos valores são arbitrados!!!!
- ✓ Fórmula empírica (só para comportas planas)

$$N = \frac{100h}{t} \sqrt{\frac{H_m}{2\sigma_{adm}}}$$

N= quantidade de vigas horizontais;

h= altura de vedação da comporta, em m;

t= espessura do paramento;

Hm= coluna d'água no centro da comporta;


σ =tensão admissível à flexão do aço, MPa.

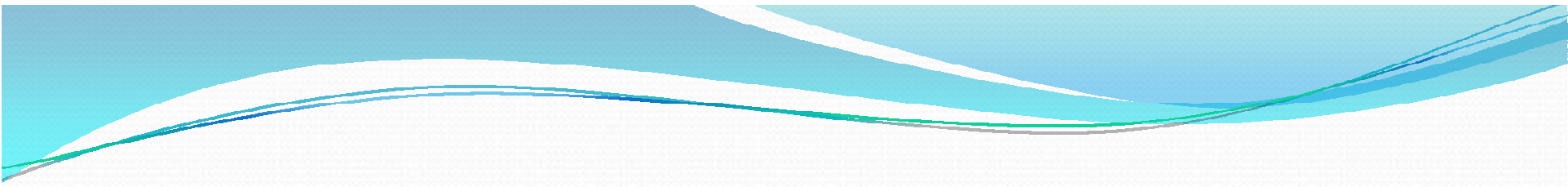


3- Peças fixas, guias e apoios

3.1- Ranhuras e nichos:

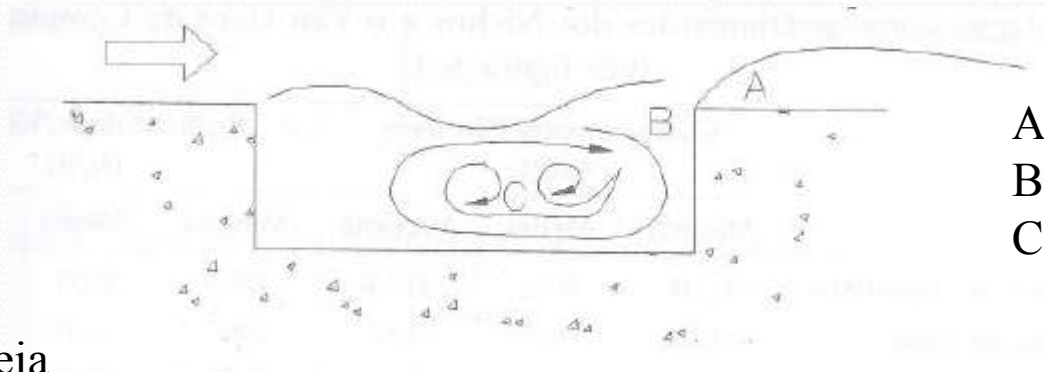
- ✓ Comportas gaveta, ensecadeira, vagão, lagarta, rolante e Stoney apoiam-se em peças fixas instaladas em ranhuras construídas nas paredes laterais.
- ✓ Ranhuras tem: caminho de rolamento ou deslizamento, apoio das vedações, guias laterais, contraguias, proteção das arestas de concreto e blindagem da ranhura.
- ✓ Peças fixas ficam no interior de nichos construídos de concreto de 1º estágio e, após seu ajustamento e a colocação de formas, envolvidas pelo concreto de 2º estágio.
- ✓ Posicionamento dos componentes das peças fixas no interior dos nichos é feito com auxílio de chumbadores, ou parafusos de regulagem soldados a ferros de armação ou chapas de espera embutidas no concreto de 1º estágio.
- ✓ Regulagem das peças fixas é feita na direção do fluxo e na ortogonal ao fluxo.

- 
- ✓ Concretagem de 2º estágio tem auxílio de formas (metálicas ou de madeira).
 - ✓ Se a ranhura for blindada, a blindagem serve como forma para a concretagem.
 - ✓ Blindagens das ranhuras são fabricadas em módulos, para permitir o acesso de todos os elementos das peças fixas.
 - ✓ Instalação dos módulos é apos o termino da ajustagem da posição das peças fixas.
 - ✓ Projeto de peças fixas deve ser previsto furos nos enrijecedores e nervuras horizontais de forma a facilitar o lançamento e a vibração do concreto.

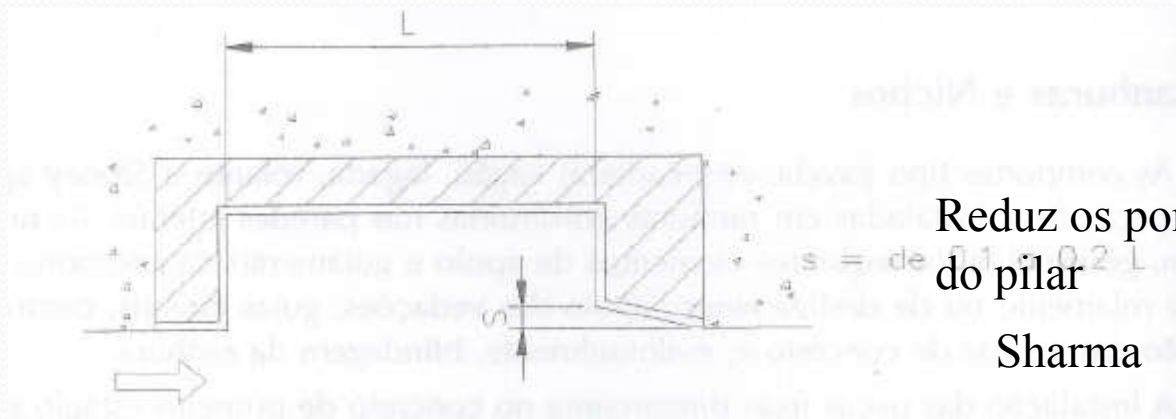


Ranhuradas

Criam vórtices, e provocam o descolamento da veia líquida!!!!!!!



A- baixa pressão
B- estagnação
C- Vórtices



Reduz os pontos de baixa pressão na face do pilar

Sharma

Perfil da ranhura após a concreto de 2º estágio é definido pelo fabricante da comporta, em função do projeto das suas peças fixas!!!!!!



3.2- Caminho de rolamento

- ✓ Dimensionamento pode ser feito como uma viga de comprimento infinito, assente em base elástica contínua e submetida a cargas concentradas transmitidas pelas rodas(Biot);
- ✓ Dimensionamento através do Método de Andrée-Fricke ou seja o diagrama de pressão entre o perfil de apoio e o concreto tem a forma de uma parábola;



3.3- Caminho de deslizamento

A carga hidrostática que atua sobre comportas ensecadeira ou gaveta é transmitida pelos cutelos laterais ao caminho de deslizamento e, deste, à fundação.

- ✓ Dimensionamento devem ser checados a compressão no concreto e as tensões fletoras do caminho de deslizamento.
- ✓ Dimensionamento como uma viga assente sobre base elástica.
- ✓ No sentido transversal ao fluxo considera-se a viga com comprimento finito.
- ✓ No sentido longitudinal das peças fixas, considera-se a viga como comprimento unitário.



3.4 - Compressão do concreto

- ✓ Norma DIN 19704 (1963) , considerava que o concreto abaixo da superfície de transmissão era armado;
- ✓ (1976) , compressão do concreto deveria ser calculada de acordo com DIN 1045- (1972) e que trata exclusivamente de concreto armado, mas nem sempre ocorre essa situação!
- ✓ Caminhos de rolamento e de deslizamentos são instalados em ranhuras , que posteriormente serão preenchidas com concreto de segundo estágio, sem armadura!!!!
- ✓ Cálculos : concreto simples (sem armadura) e concreto armado , segundo NB1!!



3-5 Guias laterais

- ✓ Comportas de translação tem que manter o prumo no plano normal ao fluxo, em posição totalmente levantada.
- ✓ Guiamento lateral por meio de rodas auxiliares montadas sobre apoios elásticos (molas ou coxins de borracha).
- ✓ Rodas guias ficam em contato com as peças fixas laterais, e a comporta mantém-se centrada por ação de molas.
- ✓ Rodas montadas em buchas cilíndricas auto lubrificantes, elimina-se o perigo de sobre carga devido aos esforços laterais excessivos. instalando-se as rodas entre molas cônicas tipo prato (Belleville). Com a comporta levantada as rodas são mantidas centradas pelas molas. Com a comporta se movimentando sob cargas, as rodas se deslocam lateralmente sobre o tabuleiro e os esforços axiais transmitidos às vigas cabeceiras são limitados!!!!




3.6 -Rodas e eixos

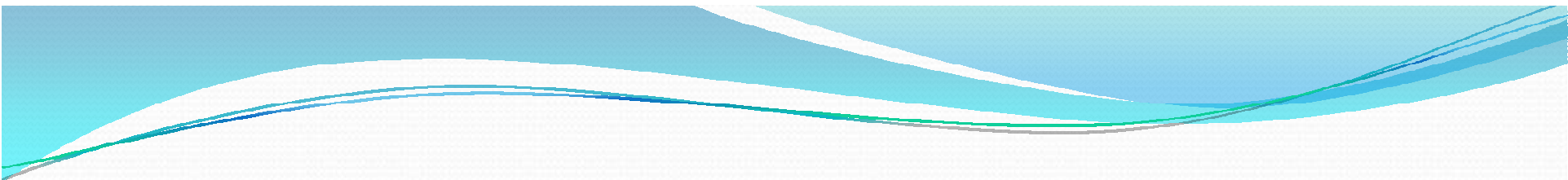
- ✓ Rodas são projetadas para resistir à carga hidrostática máxima que atua sobre o tabuleiro.
- ✓ Recomenda-se que a sua localização, todas recebam a mesma carga hidrostática!!!!
- ✓ São montadas sobre mancais de rolamento ou buchas!!!



4- Estimativas de peso

- ✓ Peso da comporta influi diretamente na capacidade do mecanismo de manobras ;
- ✓ Custo de fornecimento é calculado no peso do equipamento;
- ✓ Determinação precisa do peso de uma comporta é complexa!!
- ✓ Calcula-se:
 - carga hidrostática;
 - Solicitações nos elementos da estrutura;
 - As tensões atuantes nos pontos principais;
 - Meios de ligação (soldas, parafusos, etc);
 - Elementos de articulação e apoio (rodas, eixos, buchas, mancais, etc);
 - Peso da comporta.

- 
- ✓ Cálculo se desenvolve num lento processo de ensaio e erros!!!!
 - ✓ As dimensões dos principais elementos são arbitradas e as tensões são calculadas!!!!
 - ✓ Muitas vezes são recalculadas até que as tensões fiquem dentro dos limites aceitáveis!!!!
 - ✓ Fase de projeto recorre-se a comparações com comportas similares instaladas recentemente ou a processos gráficos.
 - ✓ O desenvolvimento de equações para a estimativa de peso das comportas foram definidas por ajustes de curvas de dados estatísticos de 266 comportas, das quais 154 instaladas no Brasil.

- 
- ✓ Para todos os tipos de comportas, exceto a basculante, o peso G é função de :

$$B^2 h H$$

Onde:

$B =$ Vão livre

$h =$ Altura da comporta

$H =$ Altura d'água na soleira

Tabela 1 – Peso de comportas

Tipo de comporta	Expressão do peso	Coefficiente de determinação (R^2)
Comporta segmento de superfície	$G = 0,640 (B^2hH)^{0,682}$	0,951
Comporta segmento de fundo	$G = 3,688 (B^2hH)^{0,521}$	0,865
Comporta vagão com $B^2hH > 2000m^4$	$G = 0,735 (B^2hH)^{0,697}$	0,921
Comporta vagão com $B^2hH < 2000m^4$	$G = 0,886 (B^2hH)^{0,654}$	0,967
Comporta vagão dupla	$G = 0,913 (B^2hH)^{0,669}$	0,949
Comporta ensecadeira de superfície	$G = 0,601 (B^2hH)^{0,703}$	0,937
Comporta ensecadeira de fundo	$G = 0,667 (B^2hH)^{0,678}$	0,928
Comporta basculante	$G = 2,387 B^2hH^{0,643}$	0,878
Comporta lagarta	$G = 2,102 (B^2hH)^{0,576}$	0,880

G = Peso da comporta, kN; B = Vão da comporta, m; h = Altura da comporta, m; H = Altura d'água na soleira, m.

Tabela 2- Peso das peças fixas

Tipo de comporta	Relação entre o peso das peças fixas e o peso da comporta		
	Mínima	Máxima	Média
Comporta segmento de superfície	0,09	0,21	0,13
Comporta segmento de fundo	0,15	1,10	0,60
Comporta vagão com $B^2hH > 2000m^4$	0,10	0,50	0,32
Comporta vagão com $B^2hH < 2000m^4$	0,11	0,54	0,30
Comporta vagão dupla	0,10	0,40	0,21
Comporta ensecadeira de superfície	0,04	0,10	0,06
Comporta ensecadeira de fundo	0,07	0,36	0,18
Comporta basculante	0,07	0,78	0,30

B = Vão da comporta, m; h = Altura da comporta, m; H = Altura d'água na soleira, m.