

Capítulo 192
***Freeboard* de córregos, rios, reservatórios,**
pontes e outros

Capítulo 192- *Freeboard* de córregos, rios, reservatórios, pontes e outros

192.1 Introdução

O objetivo é mostrar os vários procedimentos de estimar o *freeboard*, ou seja, a Borda Livre e em alemão *Freibord*, de córregos, rios, reservatórios, pontes, bueiros e escadas hidráulicas.

O fluido é águas pluviais urbanas, água dos córregos, rios, lagos e reservatórios. Não se trata de fluido não-newtoniano, como o decorrente de barragens de rejeitos e de escorregamento de montanhas denominado de *debris flow*.

De modo geral, o *freeboard* é representado pela letra minúscula “ f ”.

Devido a ações de ondas provocadas por ventos, embarcações, ou flutuações das vazões, é necessário que se deixe uma borda livre.

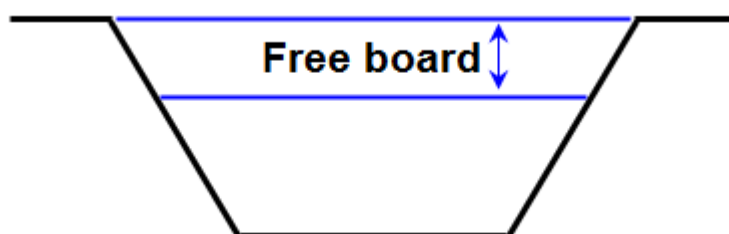


Figura 192.1- Esquema de *freeboard* de um canal

Uma discussão frequente, mesmo entre os especialistas, é o periodo de retorno a adotar.

Em microdrenagem, adotamos $Tr= 25$ anos, devido, principalmente, à ilha de calor e ao aumento das precipitações de curta duração que estão ocorrendo em todo o planeta

Para rios, canais e bueiros (travessias), adotamos $Tr= 100$ anos.

De modo geral, para rios, deve ser adotado $Tr= 100$ anos.

Na Europa, em alguns lugares como a Inglaterra, adota-se $Tr= 200$ anos, e, na Italia, adotam-se dois periodos de retorno $Tr= 100$ anos e $Tr= 200$ anos, mas sempre deve ser verificada a vazão catastrófica $Tr= 500$ anos.

Para o Brasil, deveria ser adotado $Tr= 100$ anos e verificar na vazão catastrofica de 350 anos já ocorrida na década de 90, em Paraibuna, e em 1929, conforme estudos do dr. Silvio Luiz Giudice do DAEE São Paulo.

192.2 U. S. Bureau de Reclamation

Conforme Chaudhry (1993), o *U. S. Bureau de Reclamation* adota para borda livre a seguinte fórmula:

$$\text{Borda livre (m)} = f = (k \cdot y)^{0,5}$$

Sendo:

y= altura da lâmina d'água (m) e

k= coeficiente que varia de 0,8 até 1,4, dependendo da vazão do canal.

Para vazão de 0,5m³/s, k=0,8 e, para vazão maior que 85m³/s, temos k=1,4.

O *Bureau de Reclamation* adota a fórmula para regime torrencial, ou seja, quando o número de Froude for maior que 1.

$$\text{Borda livre (m)} = 0,61 + 0,0372 \cdot V \cdot y^{1/3}$$

Sendo:

V= velocidade média da seção (m/s) e

y= altura da lâmina d'água (m).

Exemplo 192.1 de aplicação da Borda Livre de um Canal

Seja com altura da lâmina d'água de 2,50m e vazão de 67m³/s. Calcular a borda livre.

Adotando k=1,2

$$\text{Borda livre (m)} = (k \cdot y)^{0,5} = (1,2 \cdot 2,5)^{0,5} = 1,73\text{m}$$

192.3 Central Board of Irrigation and Power na Índia

A Tabela (192.1) fornece sugestões para bordas livres, conforme as vazões nos canais, de acordo com a *Central Board of Irrigation and Power*, na Índia. Fornece valores bem menores que a fórmula do *Bureau de Reclamation*.

Tabela 192.1 – Sugestões de borda livre recomendado pela Central Board of Irrigation and Power, na Índia (Raju, 1983)

| Vazão (m ³ /s) | Vazão < 1,5 m ³ /s | Vazão entre 1,5 a 85 m ³ /s | Vazão > 85 m ³ /s |
|---------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|
| Borda Livre | 0,50m | 0,75m | 0,90m |

Fonte: Chaudhry (1993).

192.4 DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo)

Conforme Instrução DPO 002/ 2007 do DAEE temos, na Figura (192.2), as recomendações do Estado de São Paulo.

Figura 192.2- Instrução DPO 002/ 2007 DAEE

| Obra hidráulica | Folga (<i>freeboard</i>) f (m) |
|--|------------------------------------|
| Canalização aberta ou fechada e galerias | $f \geq 0,20 h$ |
| Pontes | $f \geq 0,20 h$ com $f \geq 0,40m$ |
| Barramento | $f \geq 0,10 h$ com $f \geq 0,50m$ |
| Bueiro | Não tem recomendação |

Em canalização aberta ou fechada, o DAEE recomenda um *freeboard* mínimo de 0,2 x da altura da lâmina de água.

Para barramentos, o *freeboard* mínimo é de 0,50m e sempre maior que 0,1 da altura da água.

192.5 Pontes

Para pontes, o DAEE recomenda um mínimo de 0,40m e maior que 0,2 da altura da lâmina de água.

Nas normas europeias, o remanso máximo provocado pelo estreitamento de uma ponte é de 0,30m, entretanto, em pontes antigas feitas no Brasil, e adotando-se período de retorno de 100 anos para os rios, obtemos valores bem mais altos. A situação piora quando o rio desemboca no mar e, no Estado de São Paulo, consideramos altura máxima do mar em 2,00m, que, juntamente com o período de retorno de 100 anos e do estreitamento da ponte, fornecerão um remanso bem elevado.

192.5 Alemanha

Conforme o livro digital *Wasserbau* de Heinz e Gonsowski (2011), são recomendados os *freeboards* da Tabela (192.3), na Alemanha e Suíça.

Tabela 192.3- *Freeboard* recomendado na Alemanha

| Tipo de escoamento | <i>Freeboard</i> nas margens | <i>Freeboard</i> em pontes |
|--------------------|------------------------------|----------------------------|
| Córregos | 0,5m a 0,8m | 0,7m a 1,00m |
| Rios | 0,8m a 1,3m | 1,0m a 1,5m |
| Águas torrenciais | 2,5m | |

Fonte: Heinz e Gonsowski, 2011

192.6 Piso da construção 1,5m acima da curva dos 100anos

Não existe lei brasileira, norma da ABNT e nem estrangeira que estabeleça a cota do piso das construções ao longo dos rios.

O LEED usa para pré-desenvolvimento que o nível de construção esteja no mínimo 1,5m acima da curva dos 100 anos, conforme Figura (192.3).



Figura 192.3- Soleira de construção

192.7-Efeito do vento em rios e lagos

Em lagos, é muito importante a determinação da borda livre, pois a ação do vento faz criar ondas na superfície da água que atingem até uma

determinada altura. A Figura (192.4) mostra esquematicamente o comprimento, altura e o período da onda.

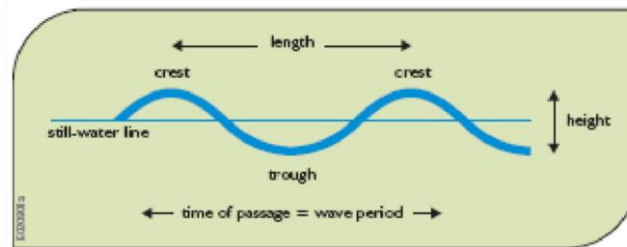


Figura 192.4- Comprimento, altura e período da onda
Fonte: Unesco (2005).

Conforme ASCE (1996), as ondas na água podem ter diversas origens: vento, força gravitacional devido a Lua, atividade sísmica ou movimento de água dentro de um vaso ou deslocamento de um navio.

Existem teorias para as ondas do mar, mas para ondas em lagos e rios o processo é estatístico.

Em rios e lagos, é importante a velocidade do vento e o *fetch*.

192.8 Determinação da borda livre de um lago, conforme Stevenson

Conforme Prof. dr. K. Tamada (1999), da EPUSP, a altura da onda h_o é obtida através da fórmula empírica de Stevenson.

$$h_o = 0,028 \times (V \times F)^{0,5} + 0,76 - 0,26 \times (F)^{(1/4)}$$

Sendo:

h_o = altura da onda (m)

V = velocidade do vento (km/h). São Paulo: velocidade do vento adotada está entre 100km/h e 120km/h

F = *fetch* (km). *Fetch* é a medida, em linha reta, sem cortar qualquer obstáculo físico como ilhas e penínsulas, até o barramento, conforme Figura (192.5). O ângulo entre o *fetch* e a direção do vento é denominado de Φ . O *fetch* é normalmente representado pela letra maiúscula " F ".

h = borda livre (m)

$$h = 1,40 \times h_o$$

Notar que o *freeboard* a ser adotado é 40% maior que o calculado h_o .

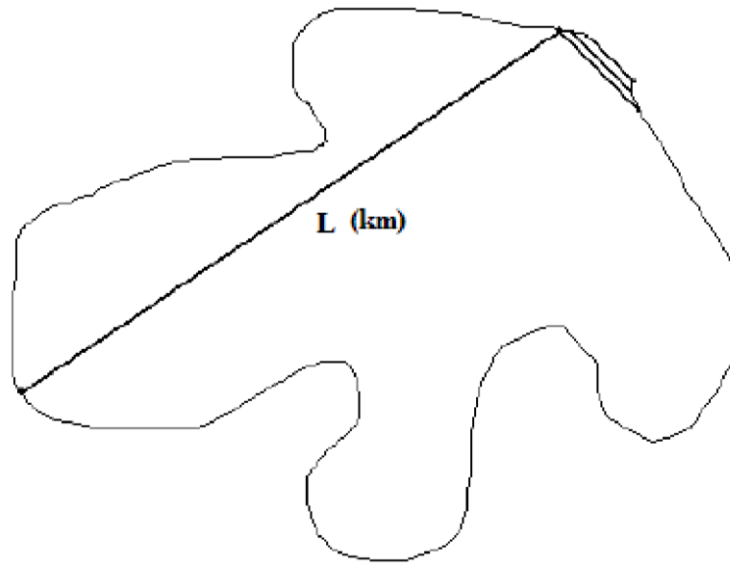


Figura 192.5- Fetch de comprimento L, em km

Conforme Novak (2007), temos:

$$F < 20 \text{ km} \quad H = 0,34 \times F^{0,5} + 0,76 - 0,26 \times F^{1/4}$$

Para *fetch* maior que 20km, desprezam-se os últimos dois termos, ficando:

$$F > 20 \text{ km} \quad H = 0,34 \times F^{0,5}$$

Sendo:

F= *fetch* (km)

H= altura da onda (m)

Conforme Novak (2007), em reservatórios de tamanho médio, o *freeboard* fw pode ser estimado por:

$$fw = 0,75H + c^2/2g$$

Sendo:

fw=

freeboard

(m)

H= altura da onda

(m)

c= velocidade da

onda (m/s)

g= 9,81 m/s² =aceleração da gravidade

Mas o valor de c é:

$$c = 1,5 + 2H$$

E, então, teremos:

$$fw = 0,75 H + (1,5 + 2H)^2 / 2g$$

Onda significativa H_s

O conceito de altura de onda significativa H_s é a altura média do terço da onda mais alta.

É recomendado por ICE (1996), conforme Novak (2007), que a altura de projeto, H_d , seja um múltiplo de H_s , variando de $H_d = 0,75 H_s$ a $1,3 H_s$, para barragens de concreto.

Para barragens em terra, $H_d = 1,67 H_s$. O valor de H_s pode ser obtido, conforme Novak (2007), pela equação:

$$H_s = V \cdot F^{0,5} / 1760$$

Sendo:

H_s = altura da onda significativa (m)

V = velocidade do vento (m/s)

F = *fetch* (m)

H_d = altura significativa da onda (m). É a altura da onda para o projeto.

$H_d = 0,75 H_s$ ou $1,3 H_s$, para barragens de concreto

$H_d = 1,67 H_s$, para barragens em terra

Novak (2007) salienta que a decisão final é do projetista, que terá que levar em consideração as várias situações, como:

- Efeito do nível do reservatório devido ao *flood routing*;
- Efeitos sísmicos;
- Efeitos dos ventos na superfície da água do reservatório; e
- Efeitos e ação dos ventos na barragem.

Fórmula de Gaillard

$$v = 1,5 + 2 \times h_o$$

Sendo:

v = velocidade das ondas (m/s).

Nota: não é a mesma coisa que velocidade do vento V

h_o = altura das ondas (m).

Exemplo 192.2

Calcular a folga, para uma barragem que tem um *fetch* de $F=25\text{km}$.

<http://www.carisia.com.br/barragensG-Aula3-projetodebarragens.pdf>

Acessado em 31 de outubro de 2007

$F > 18\text{km}$

$$h_o = 0,34 \times F^{0,5}$$

$$h_o = 0,34 \times 25^{0,5} = 1,70\text{m}$$

$$v = 1,5 + 2 \times h_o$$

v = velocidade das ondas

$$(\text{m/s}) \quad v = 1,5 + 2 \times 1,70 =$$

$$4,90\text{m/s}$$

$$\text{Folga} = 0,75 \times h_o + \frac{v^2}{2g} = 0,75 \times 1,70 + \frac{4,9^2}{(2 \times 9,81)} = 2,50\text{m}$$

Exemplo 192.3

Calcular a borda livre de uma represa do Cabuçu, em Guarulhos, com *fetch* = $1,5\text{km}$, velocidade do vento de 120km/h .

$$h_o = 0,028 \times (V \times F)^{0,5} + 0,76 - 0,26 \times (F)^{(1/4)}$$

$$h_o = 0,028 \times (120 \times 1,5)^{0,5} + 0,76 - 0,26 \times (1,5)^{(1/4)}$$

$$h_o = 0,38 + 0,76 - 0,29 = 1,27\text{m (altura da$$

$$\text{onda}) \quad h = 1,40 \times h_o = 1,4 \times 1,27 = 1,78\text{m}$$

(borda livre)

192.9 Fórmula de Molitor

Para $F < 30\text{km}$

$$h_o = 0,75 + 0,032 \times (V \times F)^{0,5} - 0,27 (V \times F)^{(1/4)}$$

Para $F > 30\text{km}$

$$h_o = 0,032 \times (V \times F)^{0,5}$$

Sendo: h_o = altura da onda (m)

V = velocidade do vento (km/h)

F = *fetch* (km). Nota: não confundir o *fetch* F com a folga F .

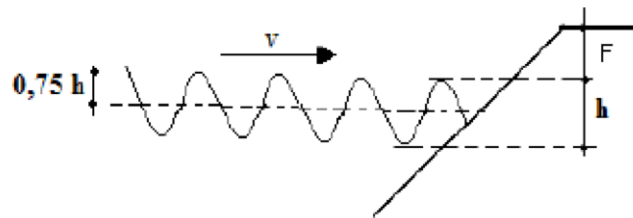


Figura 192.7- Altura da onda h e F = folga

A folga F é 0,75 vezes a altura das ondas mais $V^2/2g$.

$$F = 0,75h + \frac{v^2}{2g}$$

Onde:

h = altura das ondas (m)

v = velocidade das ondas (m/s)

g = aceleração da gravidade (m^2/s)

192.10 Determinação da altura da onda, conforme Narfet

Conforme Allan et al. (2000), a estimativa da altura da onda e do período pode ser obtida usando-se as equações de Narfet.

$$h_o = 0,0015 \times g^{-0,5} \times F^{0,5} \times [V \cos(\Phi)] \quad T_p = 2,6 \times g^{0,72} \times F^{-0,28} \times [V \times \cos(\Phi)]^{-0,44}$$

Sendo:

h_o = altura da onda (m)

F= *fetch* na direção do vento (m)
V= velocidade do vento (m/s)
(Φ)=ângulo entre a direção do vento
e o Fetch
g= 9,81m/s²
Tp= período da onda (s)

De modo geral, segundo observações de Allan (2000), a equação de Narfet aumenta um pouco o valor da altura da onda e diminui um pouco o período da onda, mas mesmo assim é usada.

Exemplo 192.4

Dada a velocidade do vento de 120km/h (33,33m/s) e *fetch* de 500m, calcular a altura da onda h_o e o período da onda T_p .

$$h_o = 0,0015 \times g^{-0,5} \times F^{0,5} \times [V \cos(\Phi)]$$
$$T_p = 2,6 \times g^{0,72} \times F^{-0,28} \times [V \cos(\Phi)]^{-0,44}$$

$$h_o = 0,0015 \times 9,81^{-0,5} \times 500^{0,5} \times [33,33 \cos(0)] = 0,36\text{m (altura da onda)}$$
$$T_p = 2,6 \times 9,81^{0,72} \times 500^{-0,28} \times [33,33 \cos(0)]^{-0,44} = 0,5\text{s (período)}$$

192.11 Comprimento da onda, conforme Eckart (1952)

Conforme Eckart (1992) *in* Allan (2000), o comprimento da onda pode ser obtido usando-se a equação:

$$L = (g \times T_p^2 / (2 \times \text{PI})) \times \{\tanh [(4 \times \text{PI}^2 \times d) / (T_p^2 \times g)]\}^{0,5}$$

Sendo:

L= comprimento da onda (m)
g= 9,81m/s²
Tp= período (s)
tanh= tangente
hiperbólica
d= profundidade do lago (m)

Exemplo 192.5

Dado um lago com profundidade d=1,20m, período $T_p= 2,46\text{s}$

$$L = (g \times T_p^2 / (2 \times \text{PI})) \times \{\tanh [(4 \times \text{PI}^2 \times d) / (T_p^2 \times g)]\}^{0,5}$$
$$L = (9,81 \times 2,46^2 / (2 \times \text{PI})) \times \{\tanh [(4 \times \text{PI}^2 \times 1,20) / (2,46^2 \times 9,81)]\}^{0,5} = 7,69\text{m}$$

Portanto, o comprimento da onda $L=7,69\text{m}$.

192.12 Tensão trativa em rios

Conforme Tomaz (2002), a tensão trativa média T é dada pela equação: $T = \gamma \cdot R \cdot S$

Sendo:

T = tensão trativa média no perímetro molhado da seção transversal (N/m^2) ou Pascal Pa

γ = peso específico da água = $10000N/m^3$ (valor mais exato = 9800)

R = raio hidráulico (m)

S = declividade (m/m)

Sendo b a largura do rio e y a altura da lâmina de água para um rio muito largo ($b/y > 4$), a tensão trativa no fundo do rio é:

$$T = \gamma \cdot y \cdot S$$

No talude, a tensão trativa é menor, ou seja:

$$T = 0,7 \cdot \gamma \cdot y \cdot S$$

Conforme a Unesco (2005), a tensão trativa nos rios é a soma da tensão trativa devido ao escoamento e tensão trativa devido ao vento.

$$T = T_{\text{escoamento}} + T_{\text{vento}}$$

Tensão trativa devido ao escoamento do rio

Usando a equação da tensão trativa combinada com a equação de Manning, obtemos a tensão trativa em N/m^2 ou $kg/m/s^2$ no fundo do rio, dada pela equação:

$$T_{\text{vento}} = 1000 \times 9,81 \times U^2 \times n^2 / d^{(1/3)}$$

Sendo:

T_{vento} = tensão trativa devido ao vento

U = velocidade média do rio (m/s)

n = coeficiente de Manning do rio

d = profundidade do rio (m)

Tensão trativa devido ao vento

A tensão trativa no fundo do rio devido ao vento é dada pela equação:

$$T_{\text{vento}} = 0,25 \times 1000 \times f_w \times U_o^2$$

Sendo:

T = tensão trativa devido ao vento (N/m^2)

f_w = fator de fricção (adimensional)

U_o= velocidade efetiva horizontal no fundo do rio devido a ondas (m/s)

$$U_o = \frac{\pi \times h_o}{T_p \times \sinh(2 \times \pi \times d / L)}$$

Sendo:

U_o= velocidade horizontal no fundo devido às ondas (m/s)

h_o= altura da onda (m)

T_p= período da onda (s)

senh= seno hiperbólico

L= comprimento da onda (m)

O valor aproximado de f_w:

$$f_w = \exp(-5,977 + 5,123 \times d^{-0,194})$$

Uma estimativa para f_w=0,32.

Geralmente, a tensão trativa no fundo dos rios devido ao vento é muito pequena e é desprezada.

192.13 Bueiros (travessias)

Não existe *freeboard* para bueiros. Geralmente, a carga H_w em relação à altura do mesmo é menor ou igual a 1,5 ou 1,2.

192.14 Escada hidráulica

Em escada hidráulica, adoto o mesmo critério do *Bureau of Reclamation*:

$$\text{Borda livre (m)} = f = (k \cdot y)^{0,5}$$

192.15 Vertedor

Adoto o mesmo critério do *Bureau of Reclamation*, já explicado.

192.16 Zona costeira do mar

Em praias e nas costas, adotam-se critérios especiais que não iremos mostrar.

192.17 Previsão de altura de ondas

Conforme Gomes (2014), na Tabela (192.1), temos um resumo das fórmulas usadas na previsão de altura de ondas devido ao vento.

Tabela 192.1- Fórmulas existentes para previsão de altura de ondas, conforme Gomes (2014).

| NOME DO MÉTODO | EXPRESSÃO | LIMITAÇÕES |
|--------------------------------------|---|---|
| Hasselman et al.(1976) | $\frac{g H_{m0}}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{g F}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$ $T_m = 6.238 \times 10^{-2} \left(\frac{g H_{m0}}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$ | H_{m0} apresenta valores próximos de H_s para grandes profundidades $\frac{g T_m}{U_A} \leq 8.134$ $\frac{H_{m0} g}{U_A^2} \leq 0.2433$ |
| Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB) | $\frac{g H_s}{U_{10}^2} = 0.283 \tanh \left(0.0125 \left(\frac{g F}{U_{10}^2} \right)^{0.42} \right)$ $\frac{g T_s}{U_{10}^2} = 7.54 \tanh \left(0.077 \left(\frac{g F}{U_{10}^2} \right)^{0.25} \right)$ $\frac{g t_{min}}{U_{10}} = 0.00183 \exp \left((0.0161m^2 - 0.3692m + 2.2024)^{\frac{1}{2}} + 0.8798m \right)$ | ---- |
| Bhomwik (1976) | $\frac{g * H_s}{U^2} = 3.23 * 10^{-3} * \left(\frac{g * F}{U^2} \right)^{0.435}$ | $\frac{g * H_s}{U^2} < 3 \times 10^4$ |
| Demirbilek, Bratos e Thompson (1993) | $\frac{g * H_{m0}}{U_A^2} = 4.13 * 10^{-2} * \left(\frac{g * F}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$ $\frac{g * T_p}{U_A} = 0.751 * \left(\frac{g * F}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}$ | $\frac{g * H_{m0}}{U_A^2} < 2.115 \times 10^2$ $\frac{g * T_p}{U_A} \leq 2.398 \times 10^2$ |
| Wilson (1965)/Goda(2003) | $\frac{g * H_s}{U_{10}^2} = 0.3 * \left(1 - \left(1 + 0.004 * \left(\frac{g * F}{U_{10}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{-2} \right)$ $\frac{g * T_s}{U_{10}} = 8.61 * \left(1 - \left(1 + 0.008 * \left(\frac{g * F}{U_{10}^2} \right)^{\frac{1}{3}} \right)^{-5} \right)$ | ---- |
| Kahma e Calkoen (1992) | $\frac{g * H_s}{U_{10}^2} = A * \left(\frac{g * F}{U_{10}^2} \right)^B$ $\frac{g * T_s}{U_{10}} = C * \left(\frac{g * F}{U_{10}^2} \right)^D$ | Ver Quadro 2. 1 e Quadro 2. 2 valor de A, B, C e D |
| Saville(1954)/Carlson e Sayre(1961) | $\frac{g * H_s}{Ue^2} = 3.23 * 10^{-3} * \left(\frac{g * Fe}{Ue^2} \right)^{0.435}$ | $\Phi < 45^\circ$; sinal de \bar{V} varia com a direção do escoamento (2.2.3.1.) e $0.05 < W/F < 0.6$ |
| Donelan (1980) | $\frac{g * H_s}{(U_{10} * \cos(\theta - \phi_w))^2} = 0.00366 * \left(\frac{g * F_\theta}{(U_{10} * \cos(\theta - \phi_w))^2} \right)^{0.38}$ $\frac{g * T_p}{U_{10} * \cos(\theta - \phi_w)} = 0.542 * \left(\frac{g * F_\theta}{(U_{10} * \cos(\theta - \phi_w))^2} \right)^{0.23}$ | $\frac{g * H_s}{(U_{10} * \cos(\theta - \phi_w))^2} \leq 0.28$ $\frac{g * T_p}{U_{10} * \cos(\theta - \phi_w)} \leq 7.56$ |
| Young e Verhagen (1996) | $\frac{g * H_s}{U_{10}^2} = 0.241 * \left(\tanh(A_1) * \tanh \left(\frac{B_1}{\tanh(A_1)} \right) \right)^{0.87}$ $\frac{g * T_p}{U_{10}^2} = 7.519 * \left(\tanh(A_2) * \tanh \left(\frac{B_2}{\tanh(A_2)} \right) \right)^{0.37}$ | Apresenta limitações para <i>fetches</i> pequenos |

192.18 Altura da onda em locais onde passam embarcações e navios

Também não iremos detalhar tais assuntos, mas vamos mostrar o método de Hochtein (1980).

$$H_i = 0,0448 \cdot V^2 (D/L)^{0,5} (1 - B \cdot D/Ac)^{-2,5}$$

Sendo:

H_i= altura da onda próxima da embarcação (m)

V= velocidade da embarcação

D= calado da embarcação (m). Nota: o que está submerso

L= comprimento da embarcação (m)

B= largura da embarcação (m)

A_c= área da seção transversal do canal (m²)

Conforme Gomes (2014), na Tabela (192.2), temos um resumo das fórmulas usadas na previsão de altura de ondas devido a embarcações.

Tabela 192.2- Previsão de altura de ondas devido a embarcações, conforme Gomes (2014).

| NOME DO MÉTODO | EXPRESSÃO | LIMITAÇÕES |
|--------------------------|---|---|
| Sorensen e Weggel (1984) | $H^* = \alpha x^{*n}$ $\log(\alpha) = a + b \log(h^*) + c \log^2(h^*)$ | Para $0.2 < Fr_h \leq 0.8$ |
| Balanin e Bykov (1965) | $H_i = 2.5 \frac{V^2}{2g} \left(1 - \left(1 - \frac{1}{(4.2 + \frac{A_c}{A_m})^{0.5}} \right) \left(\frac{A_c - 1}{\frac{A_m}{A_c}} \right)^2 \right)$ | Unidades dos parâmetros não estão nas unidades SI |
| Hochstein (1980) | $H_i = 0.0448 V^2 \left(\frac{D}{L} \right)^{0.5} \left(1 - \frac{BD}{A_c} \right)^{-2.5}$ | ----- |
| Kriebel e Seelig (2005) | $\frac{g H_i}{V^2} = \beta (Fr_* - 0.1)^2 \left(\frac{x}{L} \right)^{-\frac{1}{2}}$ | $0.9 < \frac{x}{L} < 1.1$ $0.3 \leq Fr_h \leq 0.8$ |
| Bhowmik (1975) | $\left(\frac{H_i}{D} \right)^2 = 0.139 V^{1.174} \left(\frac{x}{L} \right)^{-0.915}$ | Condições de deslizamento e semi-deslizamento |
| Bhowmik et al. (1991) | $H_i = 0.537 V^{-0.356} x^{-0.345} L^{0.56} h^{0.355}$ | Condições de semi-deslizamento e deslizamento |

192.19 Canais com muita declividade

É dimensionado conforme critério de Vedernikov onde se usa o número de Froude e o número de Vedernikov já explicado por Ven Te Chow. Notar que a Alemanha, para estes casos, adota o mínimo de 2,5m.

192.20 *Freeboard* devido a efeitos sísmicos

Não iremos tratar deste assunto.

192.21 Bibliografia e livros consultados

- ALLAN, JONATHAN et al. *Wind wave characteristics at Lake Dunstan, South Island, New Zeeand*,
- ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEER). *Hydrology handbook*, 2A ED.2006, 784 páginas.
- GOMES, DIOGO NUNES DE PINHO LEAL. *Avaliação da geração de ondas por ação do vento e de embarcações em albufeiras. Estudo de caso*. Dissertação de Mestrado de julho de 2014, Universidade do Porto, 255 páginas.,
- INTERNET- <http://www.carisia.com.br/barragensG-Aula3-projetodebarragens.pdf> Acessado em 31 de outubro de 2007
- INTERNET- <http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/hid.htm>. Acessado em 31 de outubro de 2007.
- NOVAK, P. et al. *Hydraulic Structures*. Editora E& FN Spon, 4a ed, 2007 com 700 páginas, ISBN 13-978-0-415-38625-8.
- PATT, HEINZ E GONSOWSKI, PETER. *Wasserbau*. Amazon- Kindle, Editora Springer Ver777lag Berlin Heidelberg, 2011. ISBN978-3-642-11963-7.
- TAMADA, K. *Construções hidráulicas*. EPUSP, 1999. Notas de aula PHD-511
- UNESCO. *Water resources systems planning and management*. Ano 2005. 22 de março 2000.