

# Considerações sobre o Efeito de Escala no Dimensionamento do Material de Ensecadeiras Construídas em Ponta de Aterro

Marcos Aurélio Cassias Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Copel – Companhia Paranaense de Energia

cassias@copel.com

**Abstract:** Different methods and equations are used for defining the rockfill size for end-dump river closure. These experimental and theoretical studies are difficult and complex, with a large quantity of variables related which present considerable differences among them, and do not present an adequate sizing criterion which is evidenced by a brief bibliographic review and a practical application based on data from a reduced scale model study. As a consequence, reduced scale modelling is still the best procedure available for obtaining good results. However, this technique presents some problems as far as the similarity between model and prototype is concerned: the scale effects. The main contribution of this article consists of an experimental research programme, along with its results and conclusions, aiming at identifying the real cause of the scale effects.

**Resumo:** Diversos métodos e equações são utilizados para se definir o tamanho do enrocamento de ensecadeiras construídas em ponta de aterro. Esses estudos teórico-experimentais são complexos e difíceis, com grande número de variáveis envolvidas que conduzem a resultados discrepantes entre si, não se conseguindo um adequado dimensionamento do enrocamento, que é evidenciado através de uma breve revisão bibliográfica e uma aplicação prática com base em dados de um estudo em modelo reduzido. Como consequência dessas dificuldades, os estudos em modelos reduzidos continuam se constituindo no melhor procedimento capaz de conduzir a bons resultados. Essa técnica experimental, entretanto, ainda apresenta aspectos não totalmente esclarecidos no que se refere à transposição de resultados do modelo ao protótipo, que são os efeitos de escala. A principal contribuição desse artigo é a apresentação de

uma investigação experimental, com seus resultados e conclusões, na busca de se encontrar a real causa desses efeitos.

**Palavras-Chave:** Dimensionamento, Ensecadeira, Ponta de aterro, Enrocamento.

## 1 Introdução

Dentre os diversos métodos de desvio do rio para a construção de hidrelétricas, segundo o Comitê Internacional de Grandes Barragens – CIGB [2], as ensecadeiras de enrocamento lançadas em ponta de aterro passaram a ser amplamente utilizadas a partir de 1960. Todavia, devido à grande quantidade de variáveis envolvidas, os estudos teórico-experimentais para dimensionamento do material do enrocamento tornam-se complexos e apresentam diferenças importantes entre si, não se conseguindo um adequado dimensionamento, o que foi comprovado através da aplicação desses métodos e equações com base nos dados obtidos em um estudo em modelo reduzido. Assim sendo, em obras de maior responsabilidade, onde maior grau de precisão é necessário, os estudos em modelos reduzidos continuam constituindo-se no melhor procedimento, conduzindo a bons resultados por permitir analisar detalhadamente as condições específicas de uma dada configuração natural e diversas alternativas para o desvio do rio. Contudo, essa técnica experimental apresenta aspectos não totalmente esclarecidos no que se refere à transposição de resultados do modelo ao protótipo, ocasionados por efeitos de escala decorrentes da imposição prática de limitar as dimensões do modelo. Na tentativa de se definir qual a origem desses efeitos de escala, usualmente atribuídos à ação viscosa do fluxo no entorno do material do enrocamento, desenvolveu-se uma investigação experimental. As observações efetuadas e as informações delas decorrentes permitiram identificar aquela que deve ser a causa principal da ausência de semelhança nas simulações em modelos reduzidos. Possibilitam, também, numa primeira aproximação, avaliar a natureza das correções a considerar na transposição de resultados do modelo ao protótipo.

## 2 Revisão bibliográfica

Em 1936, no 2º Congresso de Grandes Barragens, em Washington, D.C., Izbash [5] apresentou um enfoque sistemático da correlação entre a velocidade e o diâmetro estável de enrocamentos expostos à ação dinâmica da água. Essa correlação foi inicialmente desenvolvida para fechamentos por lançamento transversal uniforme e posteriormente teve sua aplicabilidade verificada para fechamentos em ponta de aterro. Em 1946, Blanchet [1] buscou aperfeiçoar o trabalho de

Izbash, apresentando uma fórmula similar. A partir de então, novos modelos conceituais e equações começaram a ser propostos, utilizando os próprios estudos de Izbash baseados na velocidade crítica de arrastamento e outros, tais como equações baseadas na distribuição logarítmica de velocidades, equações empíricas, equações baseadas na tensão tangencial crítica, na potência específica do escoamento, observações de campo e resultados obtidos em modelos reduzidos.

Na Tabela 1, apresentam-se as equações dos diversos métodos em suas formas de aplicação utilizadas pelo autor dentre os enfoques mais conhecidos que tratam da questão. Destaca-se que, para a aplicação prática, foram adotadas simplificações e assumidos valores médios de variáveis e outras constantes envolvidas, cujo detalhamento encontra-se em Pereira [8].

Além das equações relacionadas, há duas abordagens diferentes estudadas por Sandover [9] e Das [3] [4].

Sandover, em seu estudo, procurou estabelecer a largura mínima da brecha da enseadeira construída por ponta de aterro para a qual se daria o início do processo de arrastamento de material de diâmetro  $D$ . Dois métodos foram desenvolvidos para determinação da largura da brecha: o Método da Velocidade Crítica e o Método da Velocidade Logarítmica. No Método da Velocidade Crítica, Sandover estabeleceu que a instabilidade do material era causada pela velocidade média do escoamento pela brecha. Partindo do trabalho de Izbash, Sandover relacionou a velocidade crítica ( $V_{cr}$ ) com a largura da brecha ( $b$ ).

No Método da Velocidade Logarítmica, Sandover aplicando estudos de Prandtl e Nikuradse ao fluxo pela brecha, fez uma análise mais detalhada, em que foi assumida uma distribuição logarítmica de velocidades, normal à frente de avanço da enseadeira.

Em ambos os métodos, a determinação da brecha mínima ou do diâmetro crítico é feita por tentativas através de gráficos obtidos experimentalmente.

Considerando as diversas variáveis pertinentes ao problema, Das realizou um programa de verificações experimentais e uma análise dimensional que permitiu efetuar correlações empíricas de parâmetros essencialmente adimensionais, chegando à relação expressa na equação 1.

$$f(D/h, F_o, m) = 0 \quad (1)$$

onde  $D$  é o diâmetro do material,  $h$  a profundidade do escoamento,  $F_o$  o número de Froude do escoamento de aproximação e  $m$  o fator de contração  $[(B-b)/B]$ , sendo  $B$  a largura total do rio e  $b$  a largura da brecha da enseadeira. Com base

em tais parâmetros, apresentou curvas para a determinação direta do diâmetro do material estável.

Tabela 1: Resumo das equações dos diversos métodos.

EQUAÇÕES FUNDAMENTADAS NA VELOCIDADE CRÍTICA	
Izbash	$V_{cr} = 4,893 \sqrt{D}$ , $p/ C = 0,86$ $V_{cr} = 6,828 \sqrt{D}$ , $p/ C = 1,20$
Blanchet	$D = 0,327 \Delta H$ p/ mat. bem selecionado $D = 0,412 \Delta H$ p/ enrocamentos
Sternberg	$(U_b)_{cr} = 4\sqrt{D}$
Mavis e Laushey	$(U_b)_{cr} = 0,642D^{4/9}$ p/ veloc. em ft/s e diâmetro em mm.
Carstens	$(U_b)_{cr}^2 \cong 3,61(S_s - 1)gD(\text{tg} \phi \cos \alpha - \text{sen} \alpha)$
Jarocki	$V_{cr} = 1,4\sqrt{gD} \ln \frac{h}{7D}$ somente aplicável p/ $h/D > 60$
Neill	$V_{cr}^2 = 2,50(S_s - 1)gD \left(\frac{D}{h}\right)^{-0,2}$
Ackers e White	$V_{cr} = 5,235\sqrt{D}$
Bouvard	$V_{cr} = 6,71\sqrt{D}$
EQUAÇÕES FUNDAMENTADAS NA TENSÃO TANGENCIAL CRÍTICA	
Shields	$V_{cr} = 6,615\sqrt{D}$
Zeller	$V_{cr} = 5,859\sqrt{D}$
Andrews	$V_{cr} = 3,822\sqrt{D}$
MÉTODOS ESPECÍFICOS	
Pariset e Hausser	$\frac{D \cdot H_c^2}{H_m^3} = 0,80 \left(\frac{\Delta H}{H_m}\right)^{3/2}$
Naylor	$D = \frac{0,57V_{cr}^2}{(S_s - 1)g}$
Potência Específica do Escoamento	$D = 0,897 (q \Delta H)^{1/6}$

onde:

$V_{cr}$  = velocidade crítica de arrastamento do material lançado em água corrente [m/s];

$C$  = coeficiente determinado experimentalmente, sendo: = 0,86 para a situação em que não há apoio lateral para o material analisado;  
 = 1,20 para a situação em que há apoio lateral para o material analisado;  
 $g$  = aceleração da gravidade  $[m/s^2]$ ;  
 $D$  = diâmetro nominal do material estável  $[m]$ ;  
 $\Delta H$  = desnível entre seções a montante e a jusante da ensecadeira  $[m]$ ;  
 $(U_b)_{cr}$  = velocidade de fundo crítica  $[m/s]$ ;  
 $S_s$  = densidade relativa do material do enrocamento;  
 $\phi$  = ângulo de repouso do material a seco (regra geral  $\phi = \alpha + 10^\circ$ );  
 $\alpha$  = ângulo da superfície do enrocamento com a horizontal;  
 $h$  = profundidade média do escoamento  $[m]$ ;  
 $H_e$  = altura da ensecadeira  $[m]$ ;  
 $H_m$  = profundidade do escoamento a montante da ensecadeira  $[m]$ ;  
 $q$  = vazão específica  $[m^3/s.m]$ .

A partir de informações e análise de fechamentos por ponta de aterro de diversas obras, a Comissão Internacional de Grandes Barragens – CIGB [2] apresentou recomendações gerais para as dimensões do material hidráulicamente estável para diferentes condições de escoamentos, referentes aos estágios inicial e final do fechamento de um rio por ponta de aterro.

A Tabela 2 apresenta essas dimensões em termos do peso do material, sendo este referido ao diâmetro médio  $D_{50}$  (conceito da esfera de peso equivalente).

Tabela 2: Peso unitário de materiais para lançamento por ponta de aterro (densidade relativa do material:  $S_s = 2,4$ ) – Comissão Internacional de Grandes Barragens [2].

Desnível DH (m)	Primeiro Estágio		Estágio Final	
	Condições de águas profundas (acima de 3 vezes o desnível)	Pequenas profundidades (abaixo de 2 vezes o desnível)	Grandes perdas admisiv. de material	Perdas não-admissiv. de material
0,5	2-10 kp		10 kp	100 kp
1,0	60 kp	0,5 – 1 tf	120 kp	0,5 – 1 tf
2,0	500 kp	5 – 10 tf	1 tf	5 -10 tf
3,0	2 tf		4 tf	20 tf
4,0			8 tf	50 tf

### 3 Comparação entre os métodos de dimensionamento

Para possibilitar uma análise das diversas equações e métodos de dimensionamento relacionados, foram utilizados dados obtidos do Relatório dos Estudos Hidráulicos em Modelo Reduzido do Aproveitamento Hidrelétrico de Segredo, realizado por Olinger [7], obtendo-se os

diâmetros estáveis que foram comparados com os obtidos no estudo do modelo.

Nas Figuras 1 a 3 apresentam-se os resultados em forma gráfica, com o diâmetro estável ( $D$ ) em função da velocidade crítica de arrastamento ( $V_{cr}$ ). Os gráficos são separados conforme os critérios de estabilidade fundamentados na velocidade crítica (Figura 1), na tensão tangencial crítica (Figura 2) e em métodos específicos (Figura 3). Para manter-se menos densa a plotagem, facilitando a análise dos resultados, só se repetiram os dados referentes a Izbash ( $C = 0,86$  e  $C = 1,20$ ), Shields e os obtidos nos estudos em modelo reduzido desse fechamento, ajustando-se também a eles uma reta.

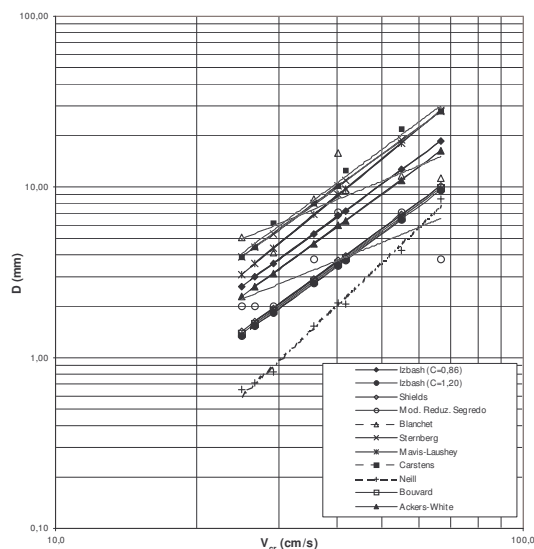


Figura 1: Relação  $V_{cr} \times D$  - Aplicação aos dados do modelo fechamento UHF Segredo

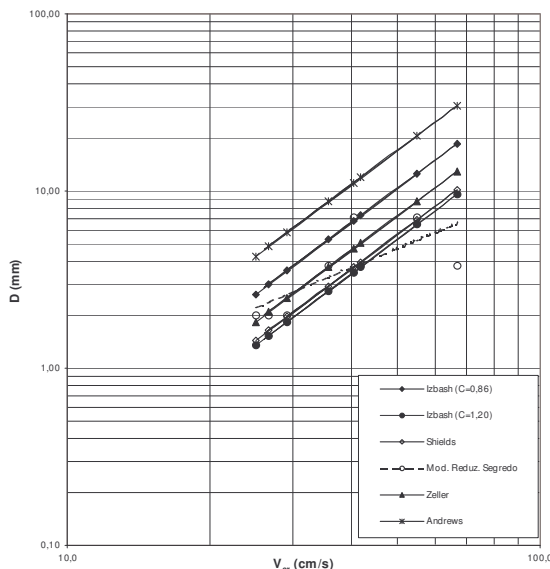


Figura 2: Relação  $V_{cr} \times D$  - Aplicação aos dados do modelo fechamento UHE Segredo.

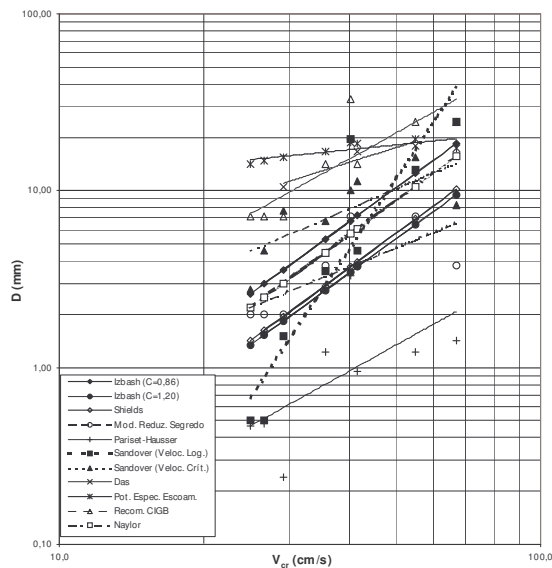


Figura 3: Relação  $V_{cr}$  x  $D$  - Aplicação aos dados do modelo fechamento UHE Segredo.

### 3.1 Observações sobre os diversos métodos analisados

Como observado nos gráficos, houve grande dispersão dos resultados. Os critérios fundamentados na “velocidade crítica” e na “tensão tangencial crítica”, conduzem, como regra geral, a resultados muito próximos, desde que referidos a condições físicas similares, isto é, desde que escoamentos, materiais de fundo e características de teste sejam semelhantes. Em outras palavras, as aparentes defasagens são devidas mais a diferenças nos fenômenos físicos analisados do que em diferenças conceituais. Particularmente ajustadas a fechamentos em ponta de aterro, as equações de Izbash para  $C = 1,20$  (maciços em que há interação entre os blocos que o constituem no sentido de estabelecer as forças resistentes ao movimento), de Bouvard e a equação obtida a partir do critério de Shields, quando na sua aplicação se adotam algumas simplificações, geraram resultados praticamente iguais, e as demais retas resultaram na mesma declividade, porém divergentes somente quanto à posição, ou seja, quanto ao coeficiente de proporcionalidade.

A equação que se pode considerar como geral tem a forma básica expressa em (2).

$$V_{cr} \propto D^{1/2} \quad (2)$$

com  $V_{cr}$  representando a velocidade na vizinhança dos blocos e  $D$  seu diâmetro equivalente.

Os métodos específicos para a definição de condições de estabilidade de ensecadeiras

construídas em água corrente de modo geral não conduziram a resultados consistentes quando aplicados a um canal hipotético de grande largura e a um estudo de fechamento efetivamente realizado em modelo e no protótipo. A dispersão dos resultados foi acentuada e pode, até mesmo, ter resultado em parte de falhas na definição de parâmetros utilizados nas duas aplicações, o que, na realidade, mostraria a dificuldade de utilizar esses métodos sempre que as condições às quais forem aplicados não forem muito parecidas com aquelas em que os métodos foram estabelecidos. Inclui-se, também, nos designados métodos específicos, o conjunto de recomendações do CIGB. Essas recomendações, além de subjetivas, parecem representar informações que tendem a superdimensionar o material necessário a fechamentos, em especial aqueles com desníveis superiores a 3,00 m. Talvez contribua para esse superdimensionamento a origem das informações utilizadas. Se as recomendações se fundamentaram em dados de diversos protótipos (Figura 4) [6], é natural o superdimensionamento, pois os materiais utilizados indicam dimensões quase sempre maiores que as correspondentes à equação de Izbash com  $C = 0,86$  (blocos não integrados ao maciço) ou da mesma ordem de grandeza que de um cubo isolado.

Os resultados de modelo reduzido, como regra geral, tendem a subdimensionar o material a ser empregado em um fechamento, com o subdimensionamento tanto mais marcado quanto menor a dimensão do material utilizado nos testes, como ilustrado na Figura 6, em que a linha de melhor ajuste aos resultados experimentais é comparada à reta de Izbash para  $C = 1,20$ , à qual converge nitidamente no entorno do diâmetro equivalente a 20 mm.

É usual atribuir essa defasagem a “efeitos de escala” e, em particular, à variação dos efeitos da viscosidade sobre a tensão tangencial crítica, como estabelecido no diagrama de Shields. Essa interpretação é, contudo, questionável e não parece esclarecer e permitir quantificar as defasagens observadas em modelos reduzidos.

Essa mesma tendência à constância da relação entre a tensão tangencial adimensional crítica  $\tau_*$  para a ausência de efeitos viscosos interferindo no mecanismo de arraste também é visível na relação dimensional entre a tensão tangencial crítica –  $\tau_{oc}$  – e o diâmetro equivalente do material de fundo –  $D$  – da Figura 5 ( $D \propto \tau_{oc}$ ). Dela, por outro lado, fica bem evidente que a alteração do mecanismo por ação viscosa nos menores diâmetros não tende a fazer com que o menor material se encontre em condições estáveis devido à ação viscosa e sim o oposto, isto é, a ação viscosa não conduz à redução da ação dinâmica e sim ao seu aumento. De fato, a condição de estabilidade com a presença da ação viscosa faz com que o diâmetro

aumentar, ou seja, material estável sem a presença da ação viscosa teria menor diâmetro (passagem de 2 mm a 1,3 mm) como destacado no gráfico da Figura 5, exatamente o oposto do que ocorre com os resultados obtidos em modelo reduzido, em que passar do resultado do modelo ao protótipo – sem ação viscosa – implica em aumentar o diâmetro do material (no caso do diâmetro de 2 mm, passar a aproximadamente 3,8 mm – Figura 6).

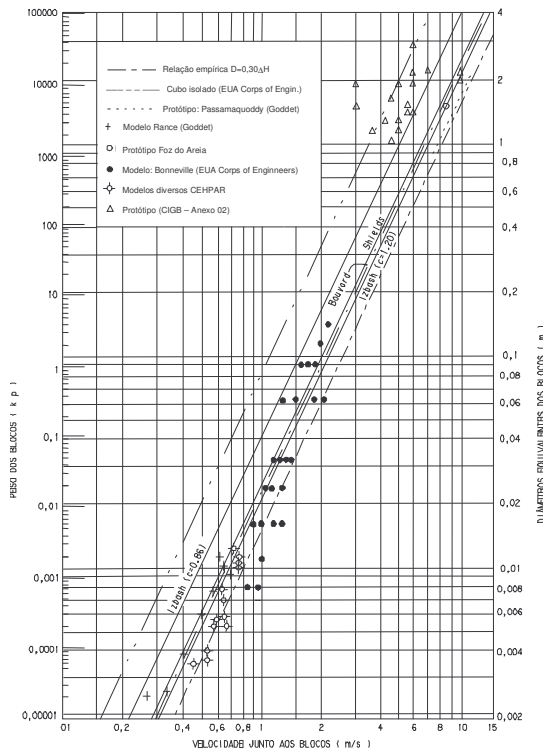


Figura 4: Relação “Velocidade do Escoamento x Peso/Diâmetro dos Blocos” ( $V \times P \times D$ ) [6]

Mesmo sem uma análise precisa e detalhada dessa aparente inconsistência, fica claro que as defasagens dos resultados obtidos em modelo reduzido não se explicam pelos critérios usuais utilizados na análise da estabilidade de leitos móveis, em particular o critério de Shields. As diferenças encontradas devem-se, também, a efeitos de escala com outra origem, pois são típicas a resultados em que as dimensões do material resultaram reduzidas devido à menor escala do escoamento analisado.

Na tentativa de se definir sua real origem, foi desenvolvida uma investigação experimental no Centro de Hidráulica Prof. Parigot de Souza – CEHPAR, na Universidade Federal do Paraná – UFPR, descrita a seguir.

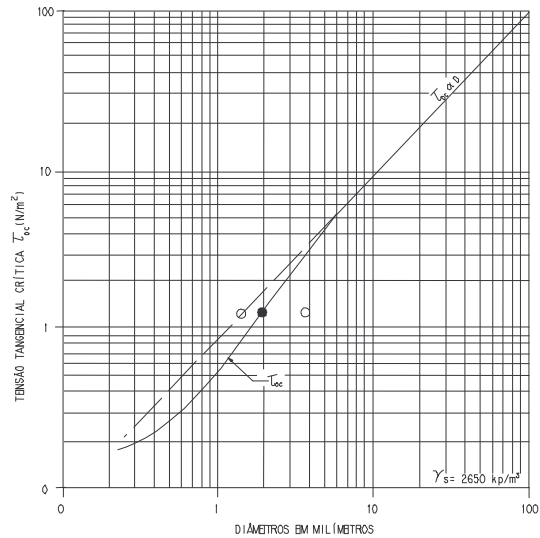


Figura 5 - Relação Diâmetro x Tensão Tangencial Crítica de Shields ( $D \times \tau_{oc}$ )

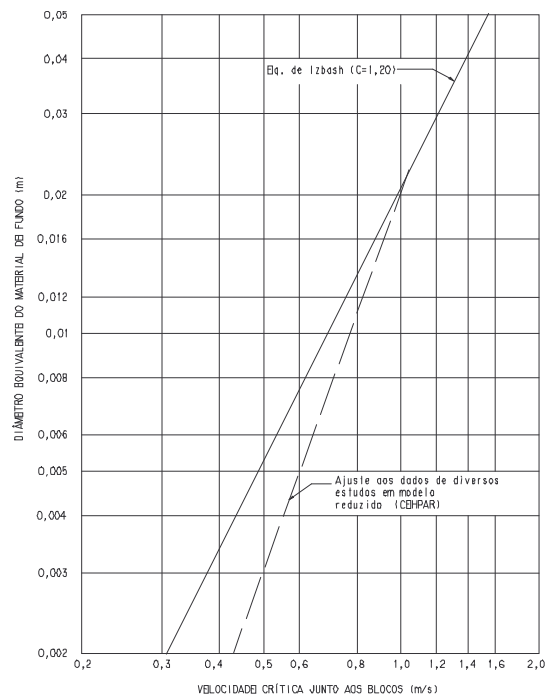


Figura 6: Comparação dos dados do CEHPAR com a equação de Izbash, para  $C = 1,20$  (Dimensões de modelo)

#### 4 Investigação experimental

Baseando-se no fato de que os efeitos viscosos merecem maior cuidado nos estudos do transporte de material sólido, e acreditando serem os causadores dos efeitos de escala, os ensaios limitaram-se à obtenção dos perfis de velocidades

junto ao material na frente de avanço da ensecadeira. As características básicas dos testes realizados estão apresentadas na Tabela 3.

As velocidades foram determinadas segundo três linhas em relação à linha do fluxo de aproximação: 0°, 45° e 90°. Em cada uma delas, efetuaram-se leituras a partir de três profundidades, A, B e C, perpendicularmente ao talude da ensecadeira, sendo A junto ao fundo, no pé da ensecadeira e B e C a um terço e dois terços da profundidade acima de A, no sentido do talude, respectivamente. A Figura 9 apresenta o esquema geral da localização dos pontos de medida. Então, partindo-se perpendicularmente do talude, nos pontos A, B e C, com um tubo de Pitot-Prandtl e um gabarito para fixação dos pontos de leitura (Figuras 7 e 8), mediram-se as velocidades em vários pontos, obtendo-se os respectivos perfis.

Tabela 3: Dados básicos dos testes realizados

Características	Teste 01	Teste 02	Teste 03
Largura do canal	0,80 m	1,60 m	2,40 m
Profundidade do escoamento montante	0,20 m	0,40 m	0,60 m
Vazão	14,817 l/s	83,818 l/s	230,974 l/s
Velocidade média do fluxo de aproximação	0,09261 m/s	0,13097 m/s	0,16040 m/s
Diâmetro médio do material	2,42 mm	4,92 mm	7,42 mm

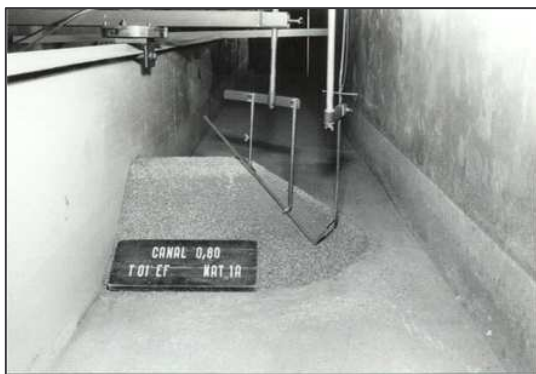
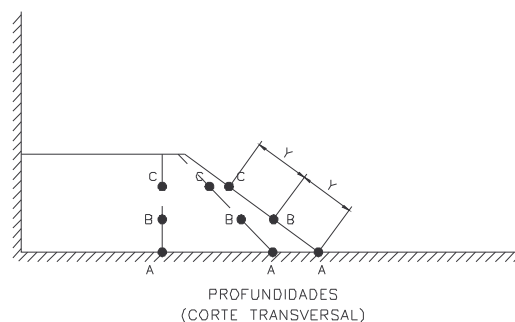
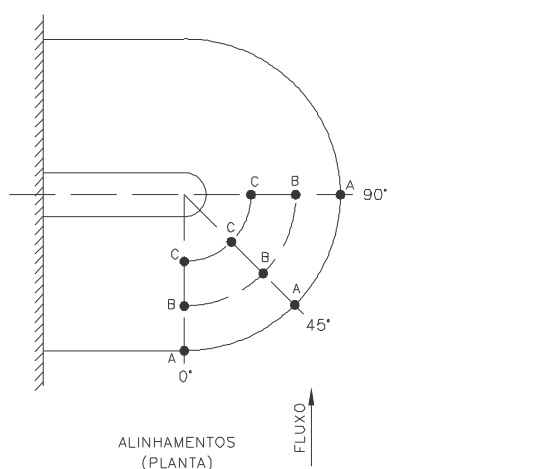


Figura 7: Tubo de Pitot-Prandtl posicionado para leitura a 45°.



Figura 8: Teste em execução



Para o canal de 0,80m de largura -  $Y=10,83\text{cm}$   
 Para o canal de 1,60m de largura -  $Y=21,66\text{cm}$   
 Para o canal de 2,40m de largura -  $Y=32,49\text{cm}$

Figura 9: Definição dos pontos de medida

#### 4.1 RESULTADOS OBTIDOS

Nas Figuras 10 a 12 apresentam-se os resultados obtidos nos três testes relacionando-se  $(v/U)$  e  $(h/H)$ .

Nesses gráficos:

- $v$  = velocidade do fluxo medido com tubo de Pitot-Prandtl;
- $U$  = velocidade média do fluxo de aproximação;
- $h$  = distância do ponto de medida à ponta de aterro (perpendicularmente);
- $H$  = profundidade do fluxo de aproximação.

A adimensionalização  $(v/U) \times (h/H)$  foi feita para se ter parâmetros bem definidos e de exata correlação entre os três canais. Como as três estruturas são geometricamente semelhantes inclusive no que se refere à rugosidade dos contornos, seria de se esperar que, a menos de efeitos de escala, também resultassem semelhantes os escoamentos, ou seja, os perfis de velocidade deveriam ser semelhantes entre si e iguais às relações entre velocidades em pontos homólogos. De forma mais simples, os perfis

adimensionais de velocidade, com a velocidade média de aproximação ( $U$ ) e a profundidade do escoamento de aproximação ( $H$ ) como parâmetros normalizadores, deveriam ser iguais.

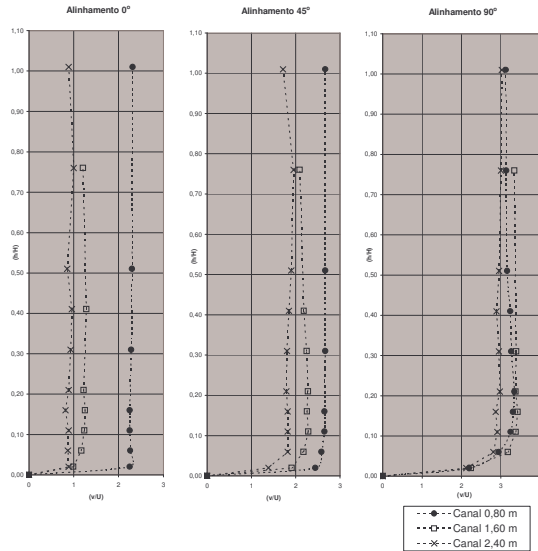


Figura 10: Relação  $(v/U) \times (h/H)$  – Seção A

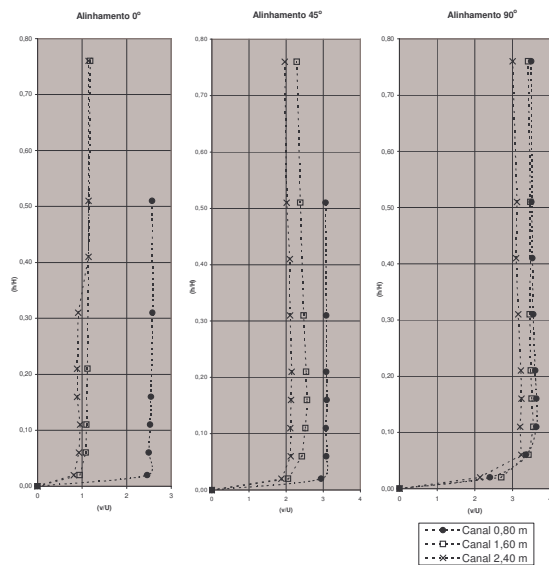


Figura 11: Relação  $(v/U) \times (h/H)$  – Seção B

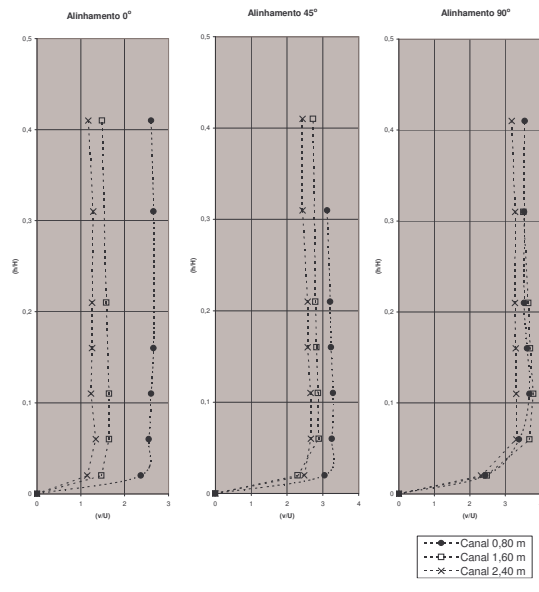


Figura 12: Relação  $(v/U) \times (h/H)$  – Seção C

## 5 CONCLUSÕES

Os perfis de velocidades que se obtiveram foram confrontados e mostraram diferenças muito importantes entre si, em especial no que se refere aos resultados com o modelo de menor escala. As diferenças, no entanto, não se restringem à vizinhança imediata do contorno; estendem-se por todo o campo de fluxo no entorno da ponta de aterro e são marcadamente mais acentuadas nos alinhamentos a  $0^\circ$  e a  $45^\circ$  do que no alinhamento a  $90^\circ$ , indicando a inexistência de semelhança em todo o processo de aceleração do escoamento ao longo do espigão. Contrariamente ao que seria normal esperar, as maiores velocidades relativas foram registradas no modelo de menor escala, mesmo nos pontos vizinhos ao contorno. Uma explicação plausível para esse resultado é que nele resultaram menos marcados os processos de estagnação e de turbulência, com o que foi a condição que menos se afastou das características que teria um escoamento potencial em torno da mesma configuração. Sem contestação, no entanto, é a existência muito clara das diferenças de um escoamento a outro ou, o que é o mesmo, existem efeitos de escala quando se passa de dimensões típicas de uma ponta de aterro reproduzida com material da ordem de grandeza de 2,5 mm para configurações típicas a materiais granulares com ordens de grandeza de 5 mm e 7,5 mm.

As defasagens dos resultados obtidos em modelo reduzido não se explicam pelos critérios usuais

utilizados na análise de estabilidade de leitos móveis, em particular o critério de Shields.

A natureza dos ensaios efetuados, por outro lado, não permitiu qualificar e quantificar os efeitos de escala e nem era esse o seu objetivo. Seria, contudo, interessante realizar uma investigação experimental específica para analisar com detalhes a estrutura do escoamento junto ao contorno sólido, para melhor avaliar e quantificar a ação dinâmica. O fato da posição de desequilíbrio do enrocamento estar freqüentemente na região de aceleração do fluxo (aproximadamente na seção B a 45°) mostra a importância que tem a configuração da ponta de aterro, o campo de velocidades e a distribuição das tensões tangenciais sobre o maciço curvo.

Antes que se obtenham informações mais precisas sobre a natureza exata do efeito de escala, tanto sob o ponto de vista quantitativo quanto sob o aspecto qualitativo, sugerem-se fatores de correção com base na Figura 6, apresentados na Tabela 4.

Na ausência de estudos em modelo reduzido, em conformidade com as equações de Izbash, Bouvard e Shields, considera-se adequado utilizar a equação simplificada, expressa em (3).

$$V_{cr} = 6,72D^{1/2} \quad (3)$$

Considerando-se a velocidade  $V_{cr}$  da ordem de grandeza da energia cinética correspondente ao desnível  $\Delta H$ ,  $V_{cr}^2/2g = \Delta H$ , e substituindo-se na equação simplificada (3), chega-se à equação (4).

$$D = 0,43\Delta H \quad (4)$$

Tabela 4 : Fatores de correção propostos

$D_{50}$	Fator de Correção	Valor Corrigido para Transposição ao Protótipo
2,00 mm	2,00	4,00 mm
3,00 mm	1,67	5,00 mm
4,00 mm	1,50	6,00 mm
5,00 mm	1,45	7,25 mm
7,50 mm	1,25	9,40 mm
10,00 mm	1,20	12,00 mm
15,00 mm	1,03	15,50 mm
20,00 mm	1,00	20,00 mm

## Referências

- [1] Blanchet, Ch. Formation et destruction par un courant d'eau de massifs en pierres. La Houille Blanche, p. 141-151, mars 1946.
- [2] Commission Internationale des Grands Barrages. River control during dam construction. Paris: ICOLD, 1986. (ICOLD Bulletin; 48a).
- [3] Das, Bishnu P. Stability of rockfill in end-dump river closures. J. of the Hydraulics Div., v. 98, n. 11, p. 1947-1967, Nov. 1972.
- [4] \_\_\_\_\_. Theories of closure of rockfill dams, by John A. Sandover. J. of the Construction Div., v. 99, n. 1, p. 210-212, July 1973. Discussão.
- [5] Izbash, S. V. Construction of dams by depositing rock in running water. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS (2., 1936, Washington, D.C.). Proceedings. Washington: ICOLD, 1936. v. 5.
- [6] Neidert, Sinildo H., Tozzi, Marcos J. Considerações sobre o dimensionamento do material de ensecadeiras construídas em ponta de aterro. In: Congresso LatinoAmericano de Hidráulica (12., 1986, São Paulo). Anais. São Paulo: ABRH: ALPH, 1986. v. 3, p. 416-425.
- [7] Olinger, Júlio C. Projeto HI-56. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Segredo: relatório no 2: verificação das condições de fechamento do rio. Curitiba: CEHPAR, jun. 1981.
- [8] Pereira, Marcos A. Cassias. Ensecadeiras de enrocamento construídas em água corrente pelo método de lançamento por ponta de aterro. Curitiba: UFPR, dez. 2001.
- [9] Sandover, J. A. Theories of closure of rockfill dams. J. of the Construction Div., v. 97, n. 2, p. 313-326, Nov. 1971.