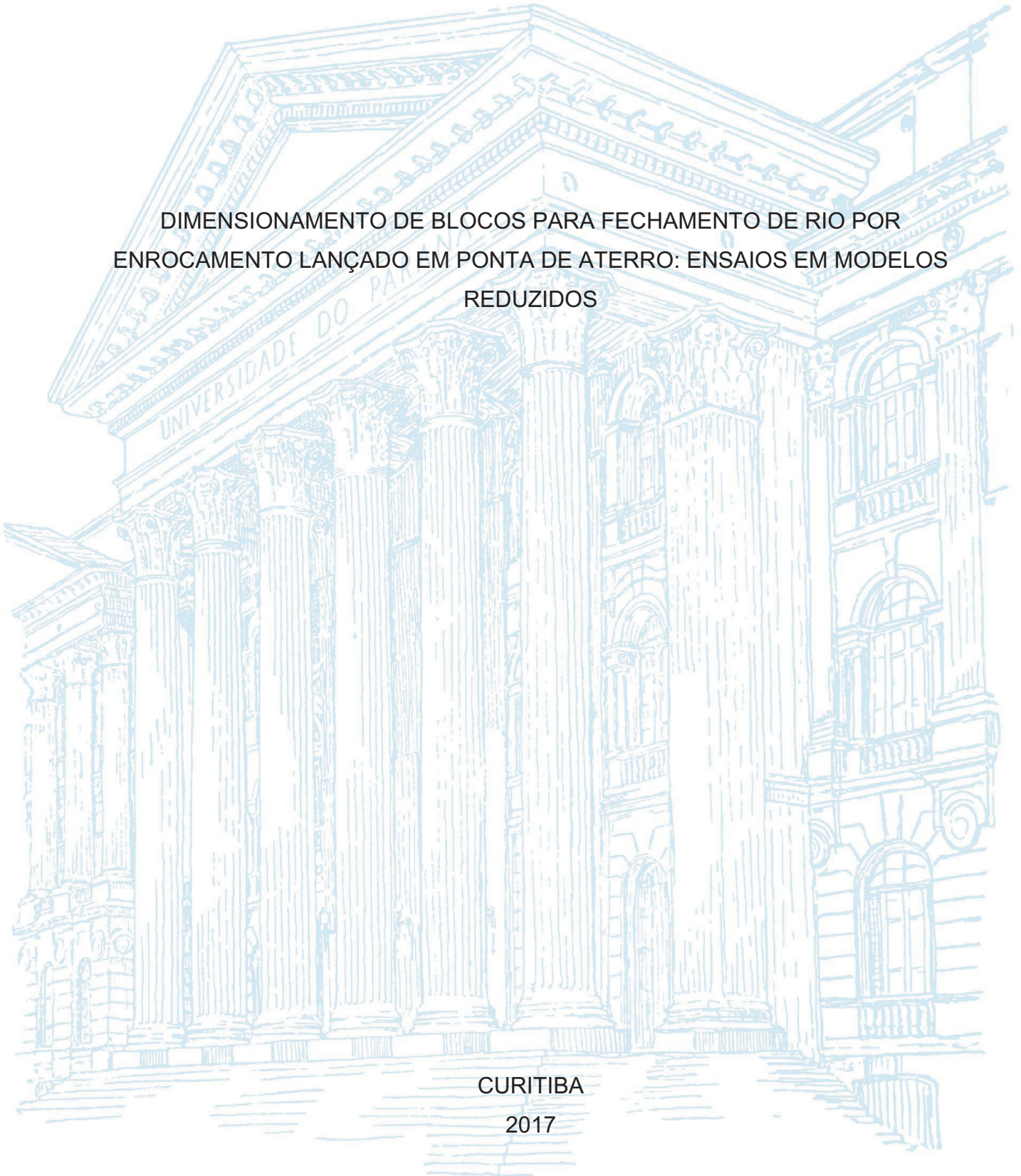


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOICE DE OLIVEIRA PETRÉCCA TOMASCHITZ

DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS PARA FECHAMENTO DE RIO POR
ENROCAMENTO LANÇADO EM PONTA DE ATERRO: ENSAIOS EM MODELOS
REDUZIDOS



CURITIBA

2017

JOICE DE OLIVEIRA PETRÉCCA TOMASCHITZ

DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS PARA FECHAMENTO DE RIO POR
ENROCAMENTO LANÇADO EM PONTA DE ATERRO: ENSAIOS EM MODELOS
REDUZIDOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Michael Mannich

Coorientador: Prof. Dr. José Junji Ota

CURITIBA

2017

Catálogo na publicação
Sistema de Bibliotecas UFPR
Biblioteca de Educação Profissional e Tecnológica

T655 Tomaschitz, Joice de Oliveira Petrécca
Dimensionamento de blocos para fechamento de rio por enrocamento lançado em ponta de aterro: ensaios em modelos reduzidos / Joice de Oliveira Petrécca Tomaschitz. - Curitiba, 2017.
96 f.: il., tabs, grafs.

Orientador: Michael Mannich
Coorientador: José Junji Ota
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.
Inclui Bibliografia.

1.Ensecadeiras. 2. Rios. 3. Desvio de águas. 4. Enrocamentos. I. Mannich, Michael. II. Ota, Jose Junji. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

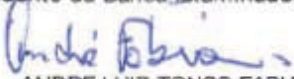
CDD 627.86

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de JOICE DE OLIVEIRA PETRECCA TOMASCHITZ, intitulada: "Dimensionamento de blocos para fechamento de rio por enrocamento lançado em ponta de aterro: ensaios em modelos reduzidos", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação.


Curitiba, 04 de Julho de 2017.


MICHAEL MANNICH
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


ANDRE LUIZ TONSO FABIANI
Avaliador Interno (UFPR)


JOSÉ JUNJOTA
Avaliador Interno (UFPR)


MAURÍCIO FELGA GOBBI
Avaliador Externo (UFPR)


TOBIAS BERNWARD BLENINGER
Avaliador Interno (UFPR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Michael Mannich pelo incentivo, paciência, disponibilidade e conhecimento que me proporcionou.

Ao Prof. Dr. Jose Junji Ota pela indicação do tema, pelo acesso ao material para viabilização do estudo e pela disponibilização de seu tempo para acrescentar a pesquisa.

Aos Institutos Lactec, pela disponibilização dos dados utilizados na pesquisa e aos engenheiros, Fernando Ribas Terabe, Renata Ribeiro de Brito e Marcelo Noriller pelo auxílio na execução dos ensaios.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR, pela oportunidade de cursar o mestrado, e a todos os professores e colaboradores do Programa.

E especialmente minha família, pais, irmãos e marido pelos ensinamentos da vida, apoio e compreensão nos momentos de ausência ao longo desta jornada.

RESUMO

O desvio do rio é uma das etapas mais complexas da construção de uma barragem. Dependendo da largura do rio, pode ser a atividade de maior duração em todo o cronograma. O procedimento de fechamento de um rio consiste em construir ensecadeiras para desviar o fluxo do rio para um túnel ou canal e ensecar a área de construção. No momento de lançamento do enrocamento, este fica exposto a velocidades consideráveis, podendo ocorrer o arraste do bloco. Relações clássicas entre diâmetro médio do enrocamento lançado e o desnível de água criado pelas ensecadeiras foram verificadas. Foram analisados resultados de 64 ensaios realizados em 15 modelos hidráulicos reduzidos, perfazendo um total de 278 dados que relacionam desnível entre montante e jusante da ensecadeira e o diâmetro médio do material lançado quando no limite de sua estabilidade. Somente os materiais sujeitos ao limite de estabilidade foram considerados. A relação obtida a partir destes dados resultou na expressão $d = 0,33 \times \Delta H$, a qual foi similar e validou as equações clássicas teóricas para o dimensionamento de blocos de enrocamento lançados em ponta de aterro. Os dados coletados apresentaram dispersão quando comparados com os métodos tradicionais, indicando a dificuldade de se aplicar métodos teóricos em situações diferentes das quais eles foram desenvolvidos. Os resultados se ajustaram melhor ao método de BLANCHET (1946) e ao método indicado pela ELETROBRÁS (2003), sendo que o método de IZBASH (1936) se aproxima dos valores mais conservadores encontrados para a relação. Na revisão bibliográfica identificou-se que esta relação pode ser influenciada por diversos fatores característicos do modelo reduzido, do material que está sendo lançado em ponta de aterro e de projeto da ensecadeira. Buscou-se então identificar se a relação é influenciada pelas características geométricas da ensecadeira como altura e largura, porém para a escala de modelo não foi possível identificar relação direta. Estes resultados reforçam a necessidade da execução do modelo reduzido para o dimensionamento correto dos blocos.

Palavras-Chave – ensecadeiras, lançamento em ponta de aterro, desvio de rio, modelo reduzido.

ABSTRACT

River diversion is one of the most complex phases of dam construction. It causes important impact on the construction schedule. Depending on the width of the river it may be the longest activity throughout the schedule. The procedure of river closure is building a cofferdam to divert the flow to a tunnel or a canal to isolate the construction area. At the moment of release of the rockfill, it is exposed to considerable velocities and it can be carried by de flow. Classical relationships between the mean diameter of the deposited rockfill and the water drop created by the cofferdam were checked. Results of 64 tests performed on 15 reduced hydraulic models were analyzed. A total of 278 relationships between the mean diameter and the water drop of water were considered. Only material stability limit was considered. The relationship obtained from these data resulted in the expression $d = 0,33 \times \Delta H$ which was similar and validated the classical theoretical equations for the dimensioning of rockfill blocks launched at the end dump method. The data showed a dispersion when compared to traditional methods, indicating the difficulty of applying theoretical methods in different situations for which they were developed. The results were better adjusted to BLANCHET (1946) method and to the method indicated by ELETROBRÁS (2003), and IZBASH (1936) method approaches the more conservative values found for the relation. In the bibliographical review, it was identified that the studied relationship can be influenced by several factors characteristic of the reduced model, the material that is being launched and the design of the cofferdam. It was then searched to identify if the diameter versus slope relationship is influenced by the geometrics characteristics of the cofferdam as height and width, but for the model scale it was not possible to observe a direct relationship. These results reinforce the need to execute the hydraulic model for the correct dimensioning of the blocks.

Keywords – cofferdam, end dumping, river diversion, hydraulic model.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - DESVIO DE RIO COM UMA FASE	20
FIGURA 2.2 - DESVIO DO RIO EM DUAS FASES – PRIMEIRA FASE	21
FIGURA 2.3 - PRIMEIRA FASE DE DESVIO DO RIO XINGÓ – VISTA DE MONTANTE	21
FIGURA 2.4 - DESVIO DO RIO EM DUAS FASES – SEGUNDA FASE.....	22
FIGURA 2.5 - SEGUNDA FASE DE DESVIO DO RIO XINGÓ – VISTA DE JUSANTE	22
FIGURA 2.6 – DESVIO POR TÚNEIS - UHE SERRA DA MESA	23
FIGURA 2.4 - PRIMEIRO ESTÁGIO DE DESVIO DE RIO POR CANAL.....	24
FIGURA 2.7 - SEGUNDO ESTÁGIO DE DESVIO DE RIO POR CANAL	25
FIGURA 2.6 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM DESVIO POR GALERIA	25
FIGURA 2.7 - SEÇÃO TÍPICA DE ENSECADEIRA DE CORDÃO SIMPLES	28
FIGURA 2.8 - SEÇÃO TÍPICA DE ENSECADEIRA DE CORDÃO DUPLO	28
FIGURA 2.9 - ESQUEMA DA LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO	29
FIGURA 2.10 - ESQUEMA DE ESTRANGULAMENTO DO RIO	30
FIGURA 2.11 - ESQUEMA DA DIFERENÇA DE NÍVEL ΔH	31
FIGURA 2.12 - ESQUEMA DA BRECHA REMANESCENTE	31
FIGURA 2.13 - FECHAMENTO DA BRECHA DO RIO CARONÍ, USINA HIDRELÉTRICA MANUEL CARLOS PILAS (TOCOMA)	32
FIGURA 2.14 - FECHAMENTO DA BRECHA DO RIO MADEIRA.....	32
FIGURA 2.15 - CONFIGURAÇÕES DE FORMAÇÃO DE ENSECADEIRA CONSTRUÍDA EM LANÇAMENTO TRANSVERSAL UNIFORME	34
FIGURA 2.16 - CONFIGURAÇÃO DE BLOCOS SEM APOIO LATERAL.....	35
FIGURA 2.17 - CONFIGURAÇÃO DE BLOCOS COM APOIO LATERAL	36
FIGURA 2.18 - DIAGRAMA DE SHIELDS	39

FIGURA 2.19 - RELAÇÃO ΔH X DIÂMETROS EQUIVALENTES DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4).....	42
FIGURA 2.20 - RELAÇÃO ΔH X DIÂMETROS EQUIVALENTES DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4 E 2,7).....	43
FIGURA 2.21 - RELAÇÃO VELOCIDADE CRÍTICA DE ESCOAMENTO X PESO/DIÂMETRO DOS BLOCOS.....	44
FIGURA 2.22 - PONTOS DE MEDIDA DE VELOCIDADE.....	46
FIGURA 2.23 - ESCALA GRÁFICA DE VELOCIDADES (M/S) – TALUDE DE 34° E 25°.....	46
FIGURA 2.24 - ÂNGULO DE REPOUSO DE MATERIAL NÃO COESIVO.....	48
FIGURA 3.1 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA.....	54
FIGURA 3.2 - EXEMPLO DE CONFIGURAÇÃO DE LANÇAMENTO EFETUADO NO EIXO DA ENSECHEIRA DE MONTANTE DO MODELO REDUZIDO DE ITAIPU – TESTE 01.	56
FIGURA 4.1 - SEÇÃO TRANSVERSAL DA CALHA DO RIO.	59
FIGURA 4.2 - VISTA SUPERIOR DA CALHA DO RIO - PONTOS DE OBTENÇÃO DE ΔH	59
FIGURA 4.3 – CONFIGURAÇÃO FINAL DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 01.	60
FIGURA 4.4 – CONFIGURAÇÃO FINAL DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 02.....	60
FIGURA 4.5 - CONFIGURAÇÃO FINAL DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 03.....	61
FIGURA 4.6 - CONFIGURAÇÃO DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 04 COM DESTAQUE PARA O ARRASTE DE MATERIAL DE DIÂMETRO MAIOR.....	62
FIGURA 4.7 - CONFIGURAÇÃO DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 05.....	62

FIGURA 4.8 - RELAÇÕES - DIÂMETRO X ΔH OBSERVADOS NOS ENSAIOS REALIZADOS.....	63
FIGURA 4.9 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBSERVADOS E AS RELAÇÕES TEÓRICAS MAIS UTILIZADAS.....	65
FIGURA 4.10 - VELOCIDADE X DIÂMETRO - COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBSERVADOS, RELAÇÕES TEÓRICAS E PROTÓTIPO	67
FIGURA 4.11 - DIÂMETRO ADIMENSIONALIZADO X ALTURA DA ENSECADEIRA	68
FIGURA 4.12 - DIÂMETRO ADIMENSIONALIZADO X LARGURA DA ENSECADEIRA	69
FIGURA A.1 – RELAÇÃO DIAMETRO X ΔH DOS DADOS OBSERVADOS	94
FIGURA A.2 - CONFIGURAÇÃO DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 04 97	

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - FATORES DE CORREÇÃO PROPOSTOS	45
TABELA 2.2 - RESUMO DOS MÉTODOS ABORDADOS	51
TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DE MATERIAIS PARA MODELOS.	54
TABELA 3.2 - EXEMPLO DE DADOS OBTIDOS A PARTIR DO MODELO HIDRÁULICO REDUZIDO DE ITAIPU – TESTE 01.....	55
TABELA 3.3 - MODELOS REDUZIDOS UTILIZADOS NA PESQUISA.	57
TABELA 4.1 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DOS ENSAIOS REALIZADOS	58
TABELA 4.2 - RESULTADOS DE ΔH OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS	63
TABELA A.1 - PESO UNITÁRIO DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4).....	95
TABELA A.2 - PESO UNITÁRIO DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4 E 2,7)	95
TABELA A.3 - DIÂMETROS EQUIVALENTES DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4).....	96
TABELA A.4 - DIÂMETROS EQUIVALENTES DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4 E 2,7)	96

LISTA DE SÍMBOLOS

V_{cr}	-	velocidade crítica de arrastamento;
$\eta; \eta$	-	coeficientes obtidos experimentalmente;
g	-	aceleração da gravidade;
ρ_s	-	massa específica do material;
ρ	-	massa específica da água;
d	-	diâmetro nominal do material - diâmetro da esfera de mesmo volume;
f'	-	coeficiente numérico;
α	-	ângulo entre o plano da superfície de fundo com a horizontal;
V	-	velocidade média do escoamento;
A	-	área frontal do bloco;
ΔH	-	desnível água na seção estrangulada pela ensecadeira;
α_0	-	ângulo de repouso do material em água parada;
F_D	-	força de arraste;
F_L	-	força de sustentação;
C_D	-	coeficiente de arraste;
C_L	-	coeficiente de sustentação;
θ	-	ângulo do talude com relação a horizontal;
β	-	ângulo da inclinação da tensão de cisalhamento;
W	-	peso do bloco;
τ_0^W	-	tensão de cisalhamento na superfície do talude;
τ_0	-	tensão de cisalhamento no fundo do leito do rio;

φ	-	ângulo de repouso resultante;
P_1	-	pressão a montante da ensecadeira;
P	-	pressão na seção contraída;
γ	-	peso específico da água;
γ_s	-	peso específico do material;
V_1	-	velocidade média a montante da ensecadeira;
Z	-	nível de água na seção contraída;
Z_1	-	nível de água a montante;
h_f	-	perda de carga entre a montante e a seção contraída;
Y_{cr}	-	tensão adimensional crítica;
τ_c	-	tensão crítica de arraste;
Re	-	número de Reynolds;
v^*_c	-	velocidade de corte;
ν	-	viscosidade cinemática da água;
C_1	-	coeficiente de descarga;
N	-	potência específica;
Q	-	vazão em massa;
q	-	vazão específica;
M	-	massa do bloco;
Fr	-	número de Froude;
y	-	profundidade média do escoamento;
λ	-	semelhança geométrica;
λ_v	-	semelhança cinética;
l_M	-	dimensão linear no modelo;
l_P	-	dimensão linear no protótipo;

N.A.M - nível de água de montante;

N.A.J - nível de água de jusante.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO.....	16
1.1.1	Objetivo geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
1.2	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	DESVIO DO RIO	19
2.2	ETAPAS DE DESVIO.....	19
2.2.1	Desvio do rio com uma fase	20
2.2.2	Desvio do rio com duas fases.....	20
2.3	ESTRUTURAS HIDRÁULICAS DE DESVIO.....	23
2.3.1	Túneis.....	23
2.3.2	Canais.....	24
2.3.3	Adufas ou Galerias	25
2.4	ENSECADEIRAS	26
2.4.1	Tipos de Ensecadeira	26
2.4.2	Construção de Ensecadeira de Enrocamento	27
2.4.3	Lançamento em Ponta de Aterro	28
2.4.4	Lançamento Transversal Uniforme	33
2.5	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL LANÇADO NA ENSECADEIRA DE ENROCAMENTO	34
2.5.1	Método de IZBASH (1936).....	35
2.5.2	Método de BLANCHET (1946)	37
2.5.3	Método de SHIELDS (1936)	38
2.5.4	Método de BOUVARD (1960).....	39
2.5.5	Critério Recomendado pela ELETROBRÁS (2003).....	40
2.5.6	Potência Específica apresentado por ICOLD (1984).....	41

2.5.7	Relação apresentada por ICOLD (1984)	42
2.5.8	Comparações entre modelo e protótipo	43
2.6	ÂNGULO DE REPOUSO DE MATERIAL LANÇADO	46
2.7	MODELO HIDRÁULICO REDUZIDO	48
2.7.1	Efeito de escala	50
2.7.2	Critério de semelhança de Froude	50
2.8	Resumo dos métodos abordados	51
3	MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.1	Roteiro dos testes	53
3.2	CRITÉRIOS E CARACTERÍSTICAS DE COLETA DE DADOS	54
3.3	DADOS COLETADOS	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1	RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS	58
4.2	ANÁLISE DOS DADOS DE MODELOS REDUZIDOS	64
4.2.1	Relação entre diâmetro e desnível	64
4.2.2	Investigação de outros efeitos	68
5	CONCLUSÕES	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	APÊNDICES	77

1 INTRODUÇÃO

O desvio do rio é uma etapa complexa da construção de uma barragem e que causa um grande impacto no cronograma da obra. O procedimento de desviar um rio consiste em se construir ensecadeiras para desviar o fluxo do rio para túneis, canais ou galerias e ensecar uma determinada área onde serão construídas estruturas do barramento (SATTAR, KASSEM, & CHAUDHRY, 2008).

Pelo fato do desvio ser feito com o fluxo corrente do rio, esta etapa da obra fica sujeita às sazonalidades do rio, o que implica em risco para a obra. Por isso o seu dimensionamento e suas etapas de construção, devem ser estudados em várias alternativas e testadas em modelo hidráulico reduzido antes da construção do protótipo.

Segundo LU et al. (2016) a etapa mais crítica na construção do desvio é o fechamento da brecha do rio. Neste ponto é que acontecem as condições hidráulicas mais críticas. Em função disso, o estudo do fechamento da brecha é importante.

Segundo SCHREIBER (1977) o enrocamento é o material mais utilizado para o fechamento da brecha do desvio. O seu dimensionamento é importante devido à disponibilidade de materiais de grandes diâmetros ser limitada na obra. Em função disto, os blocos de grandes diâmetros devem ser utilizados apenas nas etapas mais críticas do fechamento do rio, tornando necessário o dimensionamento prévio destes blocos.

Existem alguns métodos para previsão de riscos no que concerne a etapa de desvio. Estes métodos serão apresentados e analisados neste trabalho de dissertação.

Com base no observado em quinze estudos de modelos hidráulicos reduzidos de fechamento de rio, são feitas considerações com relação ao diâmetro dos blocos que fazem o fechamento da brecha do desvio.

1.1 OBJETIVO

Neste item são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos desta dissertação.

1.1.1 Objetivo geral

Esta dissertação tem por objetivo verificar e validar equacionamentos que relacionam o diâmetro dos blocos que devem ser lançados para efetuar o fechamento de um rio e o desnível ocasionado entre os escoamentos de montante e de jusante no limite de estabilidade do material. Esta verificação é realizada com base em resultados de estudos em modelos reduzidos.

1.1.2 Objetivos específicos

Esta dissertação tem como objetivos específicos:

1. Reunir resultados obtidos em modelos hidráulicos reduzidos de desvio de rio, realizados anteriormente a esta pesquisa;
2. Realizar ensaios, específicos para esta pesquisa, complementares aos resultados existentes;
3. Definir uma relação entre ΔH (desnível entre montante e jusante) e diâmetro dos blocos lançados em ponta de aterro;
4. Verificar a aplicabilidade de equações clássicas para o dimensionamento de blocos lançados em ponta de aterro.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O capítulo 2 trata da revisão bibliográfica e apresenta as características do desvio, as estruturas que o compõe, métodos construtivos das ensecadeiras que realizam o desvio, as principais equações para caracterização do material a ser lançado em ponta de aterro, os efeitos atuantes devido à escala e critérios de semelhança em modelo reduzido.

No capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos e critérios utilizados para coleta dos dados nos relatórios dos modelos reduzidos e um resumo dos modelos que serviram de base para esta pesquisa.

O capítulo 4 mostra os resultados obtidos dos ensaios realizados pelo autor e gráficos obtidos a partir da compilação dos dados coletados.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões a partir da comparação entre o referencial teórico e os resultados obtidos nos ensaios em modelo reduzido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESVIO DO RIO

Segundo SCHREIBER (1977) o desvio do rio deve ser dimensionado para a vazão máxima esperada durante a construção, esta vazão é calculada como sendo a vazão de cheia de um tempo de recorrência de 50 anos. Porém este tempo de recorrência pode ser aumentado conforme solicitação do construtor, no intuito de reduzir ainda mais os riscos de galgamento da ensecadeira durante a obra.

As estruturas de desvio do rio são estruturas provisórias e podem ser parcial ou totalmente destruídas ou tamponadas após a conclusão da obra (SCHREIBER, 1977).

Na criação de uma área de trabalho, as ensecadeiras são as estruturas que têm a função de realizar o ensecamento de uma determinada área. Essas áreas ensecadas são as regiões do canteiro de obras onde são construídas as demais estruturas que compõe o barramento, como por exemplo o circuito de geração (casa de força e tomada de água), barragem, vertedouro e a estrutura de desvio de segunda fase.

2.2 ETAPAS DE DESVIO

Segundo CARVALHO (2009) a etapa de desvio do rio tem grande impacto no cronograma da obra, dependendo da largura do rio pode chegar a ser atividade de maior duração em todo o cronograma. O fator que impacta de maneira definitiva no cronograma é o desvio de primeira fase, esse deve ser realizado durante o período hidrológico de seca. Logo, a fase de desvio deve ser concluída antes do período de cheia, que é quando as vazões do rio ficam maiores e os níveis de água atingem cotas mais altas, dificultando e por vezes impossibilitando o processo do fechamento do rio.

A depender da largura do rio, da topografia local e do arranjo do barramento, o desvio pode ter várias fases, o mais comum é uma ou duas fases de desvio.

2.2.1 Desvio do rio com uma fase

O desvio com apenas uma fase é comum em vales estreitos e altos que permitem a construção de um túnel ou adufa como estrutura de desvio, onde a distância entre as margens é pequena e as ensecadeiras conseqüentemente são mais curtas.

A Figura 2.1 mostra a seqüência construtiva para desvio do rio com uma fase. De início constrói-se a estrutura de desvio, túnel, adufa ou galeria. Na seqüência o rio é fechado com ensecadeiras, direcionando assim o fluxo do rio para a estrutura de desvio, já construída na etapa anterior. Dentro da área ensecada constrói-se a barragem e as demais estruturas que compõe o barramento. Por último é feito o fechamento da estrutura de desvio, enchendo assim o reservatório.

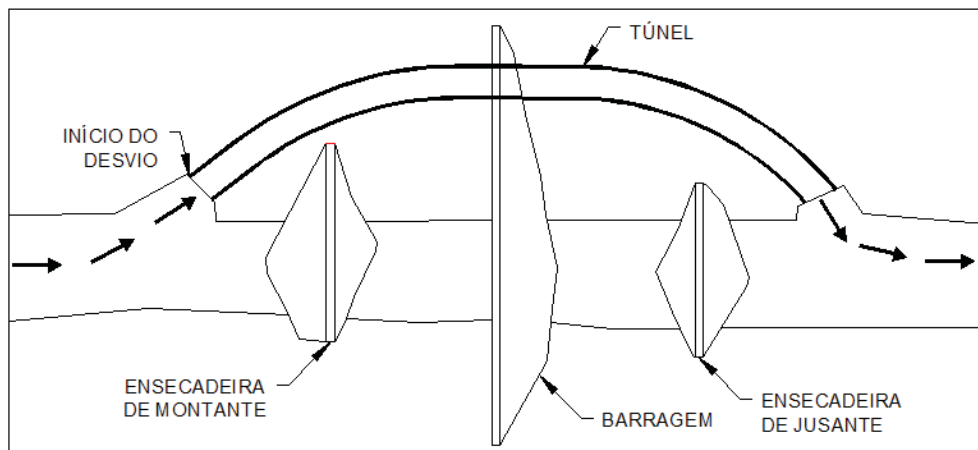


FIGURA 2.1 - DESVIO DE RIO COM UMA FASE

FONTE: ADAPTADA DE ICOLD (1984)

2.2.2 Desvio do rio com duas fases

Segundo CARVALHO (2009) o desvio com duas fases é utilizado em rios largos, onde não é possível fechar o rio por completo em uma única fase e é necessário ensecar previamente uma determinada área para a construção de uma estrutura de desvio que irá operar na segunda fase.

As Figura 2.2 Figura 2.3 mostram a primeira fase de desvio de um rio, que obedece a seguinte seqüência: constrói-se uma ensecadeira até próximo ao fechamento do rio. Com isso se forma um canal entre a margem do rio e a ensecadeira por onde o rio continua passando, e cria-se uma área seca em uma das margens do

rio. Posteriormente constrói-se as estruturas que ficarão localizadas na área ensecada. Inclusive a estrutura de desvio da segunda fase.

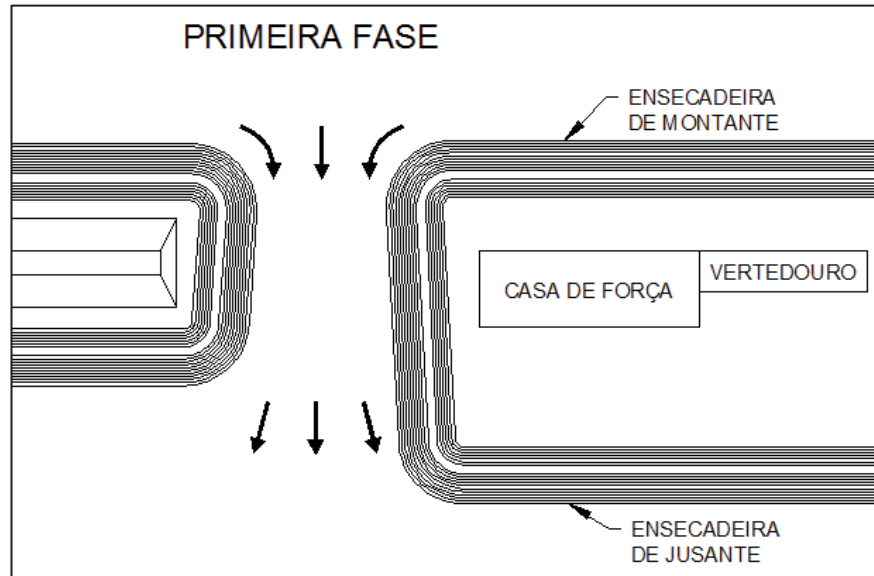


FIGURA 2.2 - DESVIO DO RIO EM DUAS FASES – PRIMEIRA FASE
 FONTE: ADAPTADA DE ICOLD (1984)

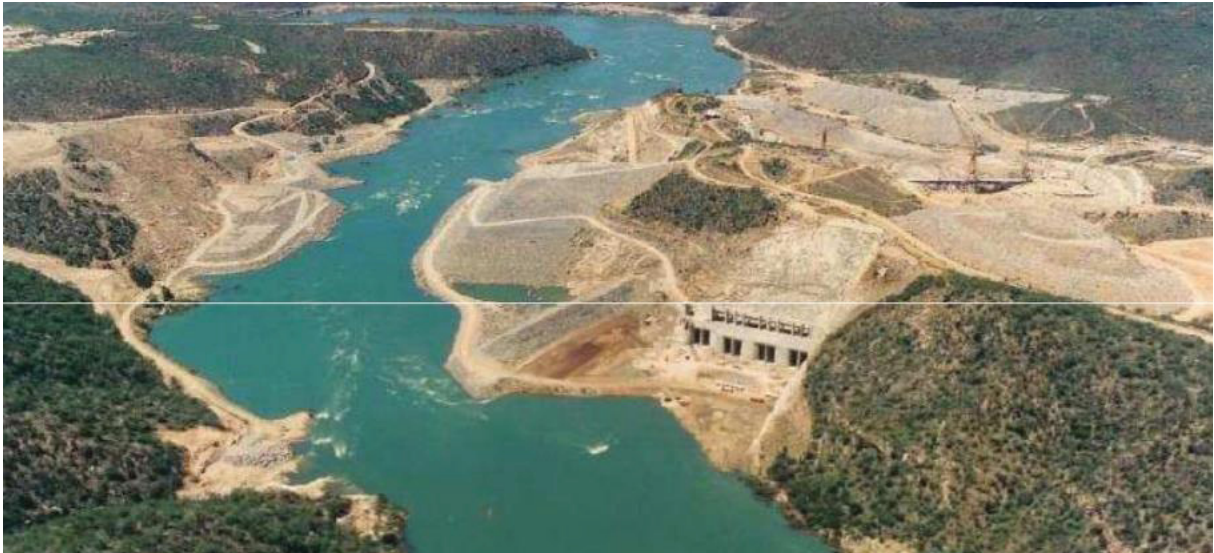


FIGURA 2.3 - PRIMEIRA FASE DE DESVIO DO RIO XINGÓ – VISTA DE MONTANTE
 FONTE: CARVALHO (2011)

As Figura 2.4 e Figura 2.5 mostram a segunda fase de desvio de um rio. Nesta segunda fase o rio é desviado para estrutura de desvio, previamente construída na primeira fase, e então é realizado o fechamento completo da seção do rio, para a construção das demais estruturas que não foram construídas na primeira etapa. O

ponto crítico desta fase é o fechamento da brecha final onde as velocidades que passam pela seção da ensecadeira são elevadas, e a vazão total do rio está dividida entre o que passa pela brecha e pela estrutura de desvio construída.

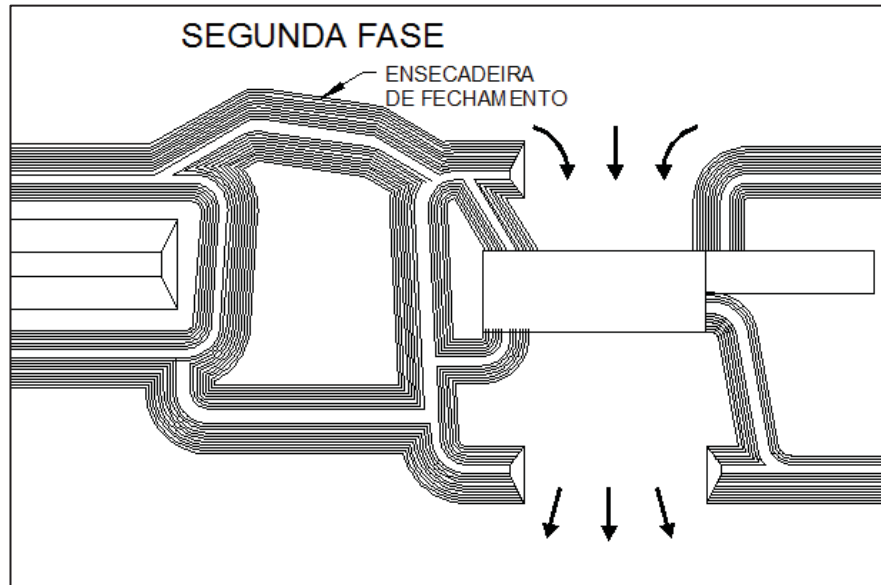


FIGURA 2.4 - DESVIO DO RIO EM DUAS FASES – SEGUNDA FASE
 FONTE: ADAPTADA DE ICOLD (1984)



FIGURA 2.5 - SEGUNDA FASE DE DESVIO DO RIO XINGÓ – VISTA DE JUSANTE
 FONTE: CARVALHO (2011)

2.3 ESTRUTURAS HIDRÁULICAS DE DESVIO

Segundo a ELETROBRÁS (2003) três tipos de estruturas hidráulicas de desvio são mais comuns, túneis, canal e adufas. Tais estruturas operam em conjunto com a ensecadeira com o intuito de permitir a passagem da vazão do rio facilitando assim a construção das ensecadeira e permitindo o fechamento do leito do rio. Estas estruturas são descritas a seguir.

2.3.1 Túneis

O desvio por túneis geralmente é aplicado em vales estreitos e regiões montanhosas, conforme mostra a na Figura 2.6, para a utilização deste tipo de estrutura a região deve possuir condição geológica favorável. A sua principal vantagem, é a de não interferir na fundação e no processo de construção da barragem. Túnel é o tipo de estrutura mais utilizada para desvio. (ICOLD, 1984).



FIGURA 2.6 – DESVIO POR TÚNEIS - UHE SERRA DA MESA
FONTE: CARVALHO (2011)

2.3.2 Canais

Desvio em canais são recomendados para rios largos com vazões elevadas, impossibilitando o uso de túneis ou galerias como estruturas de desvio. Segundo CARVALHO (2009) a alternativa de construção de canais laterais é a menos utilizada no Brasil.

Conforme indicado por ICOLD (1984) o primeiro estágio de desvio de rio realizado por canal, mostrado na Figura 2.7, consiste em escavar em uma das margens do rio o canal por onde será realizado o desvio, deixando septos de proteção montante e jusante, esse será removido no segundo estágio. O septo atua como uma ensecadeira de proteção permitindo que a área a ser escavada permaneça seca. A depender da topografia da região, pode ser necessária a construção de uma ensecadeira lateral, a fim de garantir a segurança dos trabalhos de escavação.

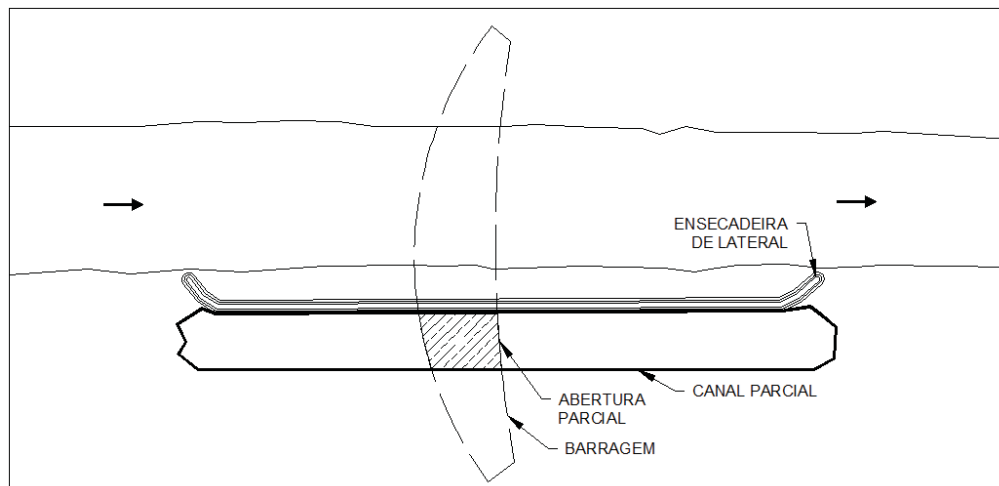


FIGURA 2.7 - PRIMEIRO ESTÁGIO DE DESVIO DE RIO POR CANAL

FONTE: ADAPTADA DE ICOLD (1984)

O segundo estágio de desvio do rio por canais, descrito por ICOLD (1984), contempla a abertura dos septos de montante e jusante, liberando assim o canal e permitindo passagem do fluxo do rio, que será gradualmente desviado à medida que as ensecadeiras são lançadas, conforme mostra a Figura 2.8.

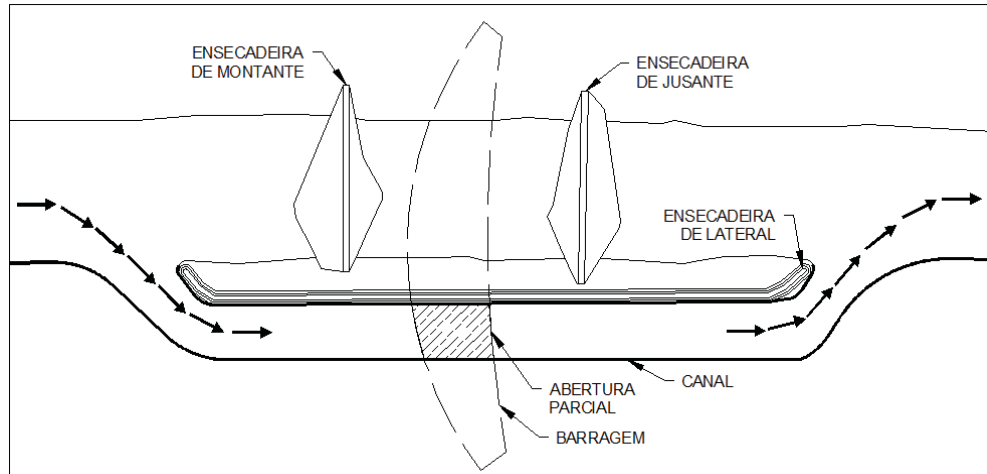


FIGURA 2.8 - SEGUNDO ESTÁGIO DE DESVIO DE RIO POR CANAL
 FONTE: ADAPTADA DE ICOLD (1984)

Após a conclusão das obras no leito do rio é possível realizar o fechamento do desvio, concluindo a execução da barragem fichando assim a abertura parcial indicada na Figura 2.7

2.3.3 Adufas ou Galerias

A construção de uma galeria é preferível em vales, onde as condições geológicas não são favoráveis e conseqüentemente não há possibilidade de construção de túnel, recomenda ICOLD (1984). É uma alternativa à solução de canal, visto que a construção de canal pode gerar grandes quantidades de escavação.

As adufas são galerias de concreto, construídas na primeira fase de desvio, que permitem a passagem de água e podem ser incorporadas ao barramento. A Figura 2.9 mostra os principais componentes de um desvio feito por galeria sob aterro da barragem.

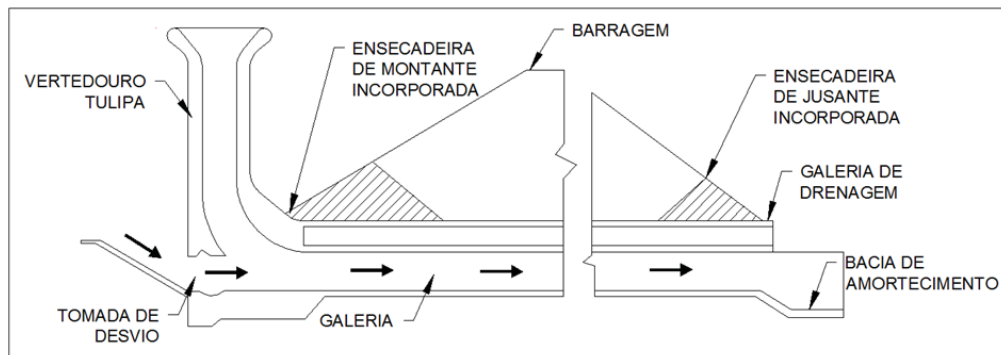


FIGURA 2.9 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM DESVIO POR GALERIA

FONTE: ADAPTADA DE ICOLD (1984)

2.4 ENSECADEIRAS

O ICOLD (1984) cita que a principal diferença entre ensecadeira e barragem é a vida útil. A vida útil da ensecadeira é menor pois é uma obra provisória e há menor controle de fundação, não sendo possível executá-las de forma que sejam totalmente impermeáveis. As ensecadeiras devem ser construídas em períodos específicos do ano hidrológico (época de seca) pois o rio ainda está corrente pela seção da mesma, com menor volume de água a construção da ensecadeira fica menos expostas aos riscos de galgamento. A construção da ensecadeira permite o uso de matérias menos nobres, pois as consequências de seu rompimento são menos graves, o que não seria aceitável na barragem.

As ensecadeiras são geralmente construídas de terra ou enrocamento e tem grande largura, devido aos taludes gerados pelo ângulo de estabilização do material, principalmente se esse material for lançado.

A altura das ensecadeiras são usualmente determinadas a partir da borda livre e nível de água de montante, e a recomendação do ICOLD (1984) é de no mínimo 1,0 m acima do nível de água.

As ensecadeiras que fazem o fechamento do rio com fluxo de água corrente são comumente chamadas de pré ensecadeiras e posteriormente podem ser alteadas passando a compor a estrutura da ensecadeira propriamente dita.

2.4.1 Tipos de Ensecadeira

ICOLD (1984) cita que o tipo e a forma das ensecadeiras devem ser determinadas a partir de características locais como topografia, geologia, propriedades dos materiais disponíveis na região do empreendimento, método construtivo e parâmetros do escoamento da água corrente no momento do fechamento.

Os tipos mais usuais de ensecadeiras são:

- Terra: possuem seção homogênea e sua aplicação é limitada, devido à velocidade do escoamento que pode arrastar o material e impossibilitar a formação do maciço.
- Enrocamento: Em geral é a mais utilizada, são de baixo custo pois aproveita o material proveniente das escavações realizadas para implantação das estruturas do barramento.
- Especial: Concreto celular, Concreto Compactado a Rolo (CCR), metálica etc. Conforme indica ICOLD (1984) estes tipos têm a vantagem de serem galgáveis, porém tem um custo mais elevado do que as ensecadeiras convencionais.

2.4.2 Construção de Ensecadeira de Enrocamento

A construção da ensecadeira consiste em lançar o material no eixo de fechamento do rio, gerando assim um aterro.

Segundo IZBASH e KHALDRE (1970), o aumento da energia do escoamento durante a construção da ensecadeira deve ser compensado pelo aumento do tamanho dos blocos de fechamento. E deve-se priorizar a utilização de rocha e solo provenientes de escavações locais, mesmo que haja carreamento à jusante aumentando o gasto de material.

O enrocamento é o material em rocha, proveniente das escavações, que vai compor a seção da ensecadeira, e tem a função de fechar o rio, mas não a de vedar, diminuindo a velocidade do escoamento e desviando parte da vazão para a estrutura de desvio. Conforme mostra a Figura 2.10 após o lançamento do enrocamento, é lançado na face montante o material de transição (material de menor granulometria), com a função de segurar o material vedante (argila) que é lançado sobre a transição, para evitar a formação de um processo de erosão tubular regressiva (piping) e diminuir a percolação através do maciço.

Dependendo das características da obra e do escoamento ao qual a ensecadeira estará sujeita, pode-se adotar o uso de ensecadeiras de cordão simples ou ensecadeiras de cordão duplo. As seções típicas destes tipos de ensecadeiras são mostradas na Figura 2.10 e Figura 2.11.

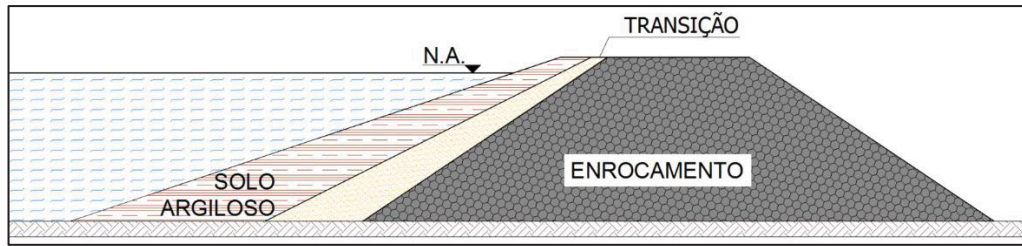


FIGURA 2.10 - SEÇÃO TÍPICA DE ENSECADEIRA DE CORDÃO SIMPLES

Para a execução da ensecadeira de cordão simples, a velocidade de escoamento deve ser tal que não haja carreamento do material vedante. No caso da Figura 2.10 o material vedante é o solo argiloso.

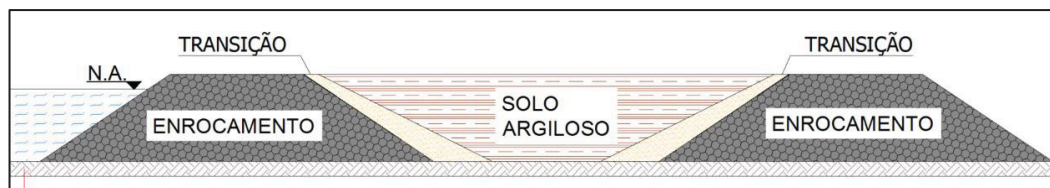


FIGURA 2.11 - SEÇÃO TÍPICA DE ENSECADEIRA DE CORDÃO DUPLO

Quando as velocidades são suficientes para impossibilitar a vedação, adota-se a solução de construir um segundo cordão de enrocamento a montante (ao mesmo tempo do cordão de jusante), assim a velocidade de escoamento entres os cordões diminui e possibilita o lançamento do material vedante. A solução de cordão duplo tem custo maior que a de cordão simples devido à maior quantidade de material utilizado, mas também apresenta a vantagem de poder diminuir o diâmetro do material de enrocamento a ser lançado.

A escolha da ordem de lançamento e quantidade de cordões, deve ser feita com auxílio de modelo reduzido, dependendo da dificuldade do fechamento.

Os métodos de construção de ensecadeiras são diversos, os dois principais são, Lançamento em ponta de aterro e Lançamento transversal uniforme. Estes métodos construtivos serão descritos nos itens a seguir.

2.4.3 Lançamento em Ponta de Aterro

Segundo ICOLD (1984) o lançamento em ponta de aterro consiste no lançamento do material pré-dimensionado na extremidade do aterro que compõe a ensecadeira.

Conforme descreve PEREIRA (2015), no início do processo, tratores empurram blocos de rocha para dentro do leito do rio através de uma das margens. Este material é lançado e sem apoio lateral. Esta atividade segue até a formação de um aterro trapezoidal, a partir do qual os blocos passam a ter apoio lateral e o aterro forma uma pista acima do nível de água, conforme Figura 2.12.



FIGURA 2.12 - ESQUEMA DA LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO
FONTE: CORSINI (2011)

O lançamento se inicia com material de diâmetros pequenos. A medida que ocorre o estrangulamento da seção do rio (Figura 2.13), ocorre a necessidade de aumentar o diâmetro que está sendo lançado na ponta do aterro. Os blocos menores, devido ao aumento de velocidade, passam a não ter mais estabilidade, são arrastados pelo fluxo do rio e não conseguem formar o corpo de aterro da ensecadeira.

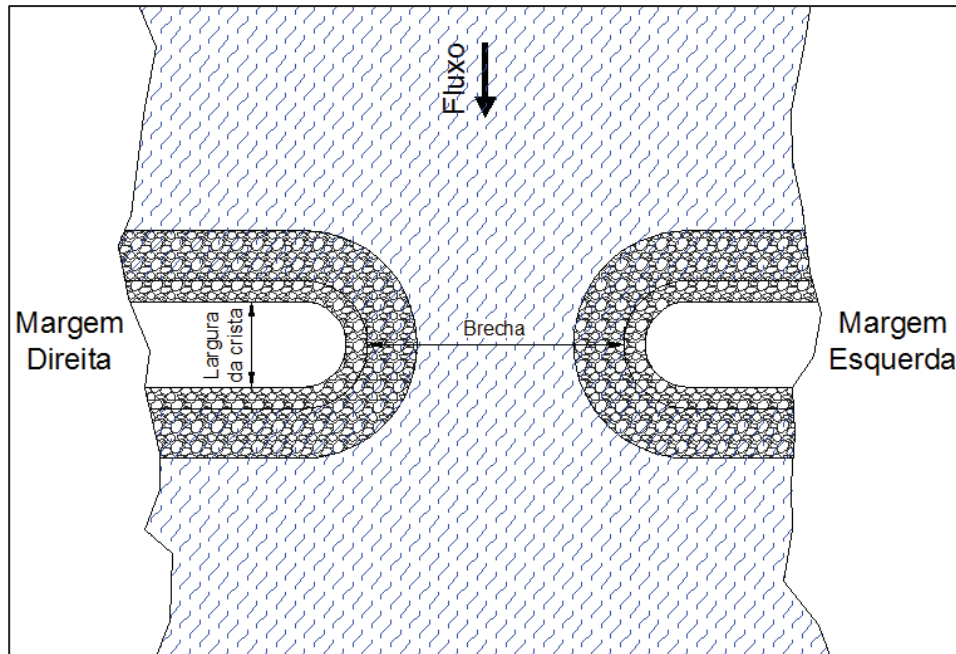
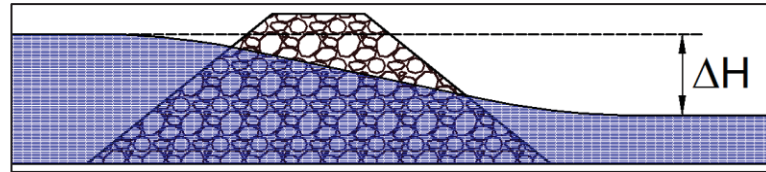


FIGURA 2.13 - ESQUEMA DE ESTRANGULAMENTO DO RIO

Devido à contração da seção de escoamento, ocorre uma aceleração no fluxo, gerando assim um desnível ΔH , ou seja, uma diferença de nível entre o fluxo de montante e o fluxo de jusante da ensecadeira, conforme mostrado na Figura 2.14.

O ΔH de referência deve ser o do momento do lançamento. E a crista do aterro deve ser larga o suficiente para acesso dos equipamentos (caminhões basculante e tratores).

FIGURA 2.14 - ESQUEMA DA DIFERENÇA DE NÍVEL ΔH

O lançamento em ponta de aterro pode ser dividido em duas etapas. A primeira onde se é lançado o aterro até sobrar uma brecha por onde o rio continua passando, a segunda etapa é o fechamento do rio propriamente dito, ou seja, o fechamento da brecha remanescente (Figura 2.15). É nessa fase que há necessidade de blocos com grandes diâmetros, se não houver material disponível com diâmetro suficiente deverão ser adotadas soluções alternativas, podem ser utilizados materiais pré-fabricados de concreto que podem ter formatos de cubos ou tetraedros.

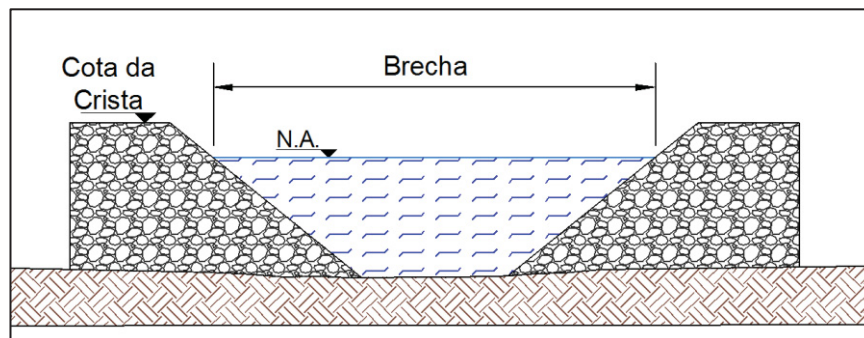


FIGURA 2.15 - ESQUEMA DA BRECHA REMANESCENTE

A Figura 2.16 e a Figura 2.17 mostram a etapa de fechamento da brecha nas Usinas de Tocoma (Venezuela) e Santo Antônio (RO – Brasil). Em ambas é possível observar as grandes dimensões de blocos utilizadas para realizar o fechamento, e o desnível entre os níveis de montante e jusante devido à aceleração do escoamento na seção da ensecadeira.

A Figura 2.16 mostra uma grande largura na crista da ensecadeira, esta largura é necessária para criar uma praça de trabalho onde possam trafegar os equipamentos que farão a construção das ensecadeiras. Para criar uma pista, onde seja possível estes equipamentos trafegarem, é necessária a deposição de uma camada de materiais mais finos sobre os blocos que compõem a ensecadeira, visto que estes equipamentos seriam impossibilitados de trafegar sobre materiais de grandes diâmetros.



FIGURA 2.16 - FECHAMENTO DA BRECHA DO RIO CARONÍ, USINA HIDRELÉTRICA
MANUEL CARLOS PILAS (TOCOMA)
FONTE: SOMBRA (2011)

A Figura 2.17 ilustra a construção de ensecadeira com o método de lançamento em ponta de aterro, no momento de fechamento da brecha do Rio Madeira. É possível verificar que ocorre o lançamento de blocos de rocha com grandes diâmetros para resistir à velocidade do escoamento do rio.



FIGURA 2.17 - FECHAMENTO DA BRECHA DO RIO MADEIRA
FONTE: SANTO ANTÔNIO ENERGIA (2011)

2.4.4 Lançamento Transversal Uniforme

Rocha (2006) descreve o Lançamento transversal uniforme como sendo o tipo de lançamento recomendado quando o arraste de material lançado é muito alto ou quando a erosão no leito do rio é muito intensa. Esse método tem a vantagem de que o diâmetro necessário para a construção da ensecadeira é menor quando comparado ao método lançamento em ponta de aterro. ICOLD (1984) recomenda esse método para desníveis maiores que 3 metros.

A execução do método consiste na construção uniforme da ensecadeira, utilizando equipamentos especiais como, barcaças, pontes fixas ou flutuantes e guindastes para lançamento simultâneo do enrocamento em toda a seção.

Conforme descreve PINTO (1977) com o decorrer do lançamento formam-se quatro configurações típicas para a seção transversal da ensecadeira, ilustradas na Figura 2.18.

No início do processo, a configuração 1 (Figura 2.18), os blocos lançados acumulam-se no fundo, conforme o ângulo de repouso do material, formando uma seção triangular elevando o nível de montante e conseqüentemente a velocidade do escoamento.

Na configuração 2 (Figura 2.18) os blocos que atingem a crista são arrastados para jusante acumulando-se na zona de separação do fluxo, apoiando os blocos da crista, tornando-os mais resistentes ao arraste, gerando uma seção trapezoidal e com condições de estabilidade do material mais favoráveis que na primeira configuração.

Na configuração 3 (Figura 2.18), a ensecadeira ganha volume, o crescimento ocorre de jusante para montante, gerando uma zona de aceleração na crista.

Devido à elevação de nível da ensecadeira, parte da vazão passa pela estrutura de desvio, e a vazão que passa pela ensecadeira diminui. Com a vazão diminuindo ao longo do processo, o maciço não se alonga mais e gera taludes mais íngremes, como ilustrado na configuração 4 (Figura 2.18).

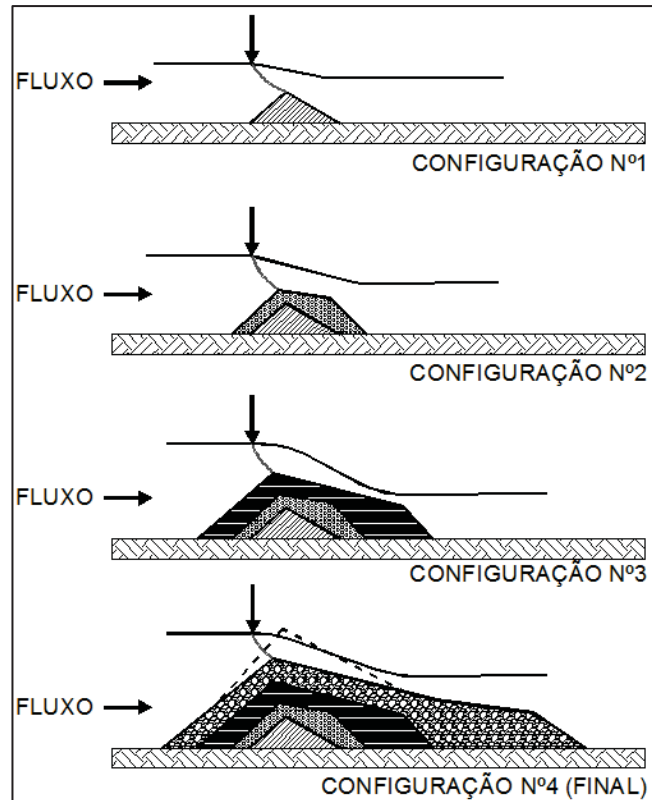


FIGURA 2.18 - CONFIGURAÇÕES DE FORMAÇÃO DE ENSECADEIRA CONSTRUÍDA EM LANÇAMENTO TRANSVERSAL UNIFORME

FONTE: PINTO (1977)

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL LANÇADO NA ENSECADEIRA DE ENROCAMENTO

O uso de materiais leves e finos conduz a grandes perdas, devido ao arraste de material provocado pela alta velocidade do escoamento, porém o uso de materiais com grande diâmetro eleva o custo de construção. Tendo isso em conta os materiais mais pesados devem ser utilizados apenas nas situações necessárias, ou seja, em que esteja havendo arraste do material de menor diâmetro impossibilitando o avanço da construção da ensecadeira.

Para dar início à análise teórica de dimensionamento dos blocos lançados em ponta de aterro, aplica-se a equação da conservação da energia à montante e à jusante da ensecadeira.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \quad (2.1)$$

onde V é a velocidade média à jusante do estrangulamento; V_1 é a velocidade média à montante do estrangulamento; g é a aceleração da gravidade; P é a pressão a qual o fluido à montante está submetido; P_1 é a pressão a qual o fluido à jusante está submetido; γ é o peso específico do fluido em questão; Z_1 é o nível de água à montante e Z é a cota do nível de água à jusante.

A equação da conservação da energia tem como hipóteses simplificadoras as considerações de que o escoamento é em regime permanente, o fluido é incompressível, desconsidera perdas por atrito e as seções analisadas tem propriedades uniformes.

Sendo $P_1 = P$ (pressão atmosférica) e isolando V (velocidade da seção contraída), obtém-se

$$V = \sqrt{2g \left(\Delta H + \frac{V_1^2}{2g} \right)} \quad (2.2)$$

onde ΔH é a diferença de níveis de água entre montante e a seção contraída.

As velocidades de aproximação, encontradas a montante são pequenas, devido as grandes larguras dos rios é possível desprezar a velocidade de montante V_1 , logo tem-se

$$V = \sqrt{2g(\Delta H)} \quad (2.3)$$

2.5.1 Método de IZBASH (1936)

A equação de Izbash relaciona velocidade crítica de arrastamento com o diâmetro estável de um bloco quando exposto ao escoamento. O método cita dois casos com relação ao apoio do material: blocos sem apoio lateral conforme mostra a Figura 2.19 e blocos com apoio lateral conforme mostra a Figura 2.20.

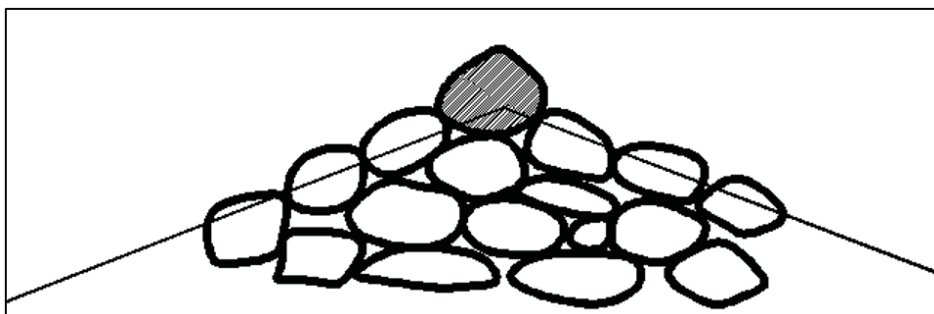


FIGURA 2.19 - CONFIGURAÇÃO DE BLOCOS SEM APOIO LATERAL

FONTE: PINTO (1977)

Para blocos sem apoio lateral a equação (2.4) indica a velocidade crítica de arrastamento:

$$V_{cr} = \eta \sqrt{2g \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \sqrt{d} \quad (2.4)$$

sendo V_{cr} a velocidade crítica de arrastamento (m/s); η é o coeficiente experimental; ρ_s é a massa específica do bloco (kg/m^3); ρ é a massa específica da água (kg/m^3); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); e d é o diâmetro nominal do material - diâmetro da esfera de mesmo volume (m).

Igualando as expressões (2.3) e (2.4), pode-se obter a relação (2.5):

$$\frac{\rho}{\eta^2 \cdot (\rho_s - \rho)} = \frac{d}{(\Delta H)} \quad (2.5)$$

Considerando a massa específica do bloco $\rho_s = 2700 \text{ kg/m}^3$; massa específica da água $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ e $\eta = 0,86$ é o coeficiente experimental para blocos sem apoio lateral. A equação de dimensionamento para blocos sem apoio lateral resulta em

$$d = 0,80 \times \Delta H \quad (2.6)$$

onde d é o diâmetro nominal do material (m) e ΔH é a diferença de nível de água entre montante e jusante da ensecadeira (m).

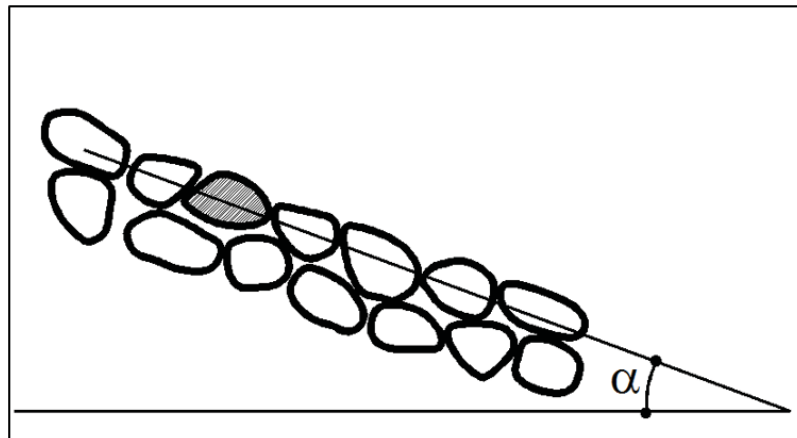


FIGURA 2.20 - CONFIGURAÇÃO DE BLOCOS COM APOIO LATERAL

FONTE: PINTO (1977)

Para blocos com apoio lateral, a equação (2.7) determina a velocidade crítica de arraste:

$$V_{cr} = \eta' \sqrt{2g \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \sqrt{d} \sqrt{f' \cos \alpha \operatorname{sen} \alpha} \quad (2.7)$$

sendo $\eta'=1,2$ o coeficiente experimental para blocos com apoio lateral; f' o coeficiente numérico que depende do formato do bloco e α é o ângulo da superfície formada pelos blocos em relação a horizontal (graus).

Segundo DALMORA (2015) em barragens foi verificado que α é muito pequeno logo simplificou-se $\sqrt{f' \cos \alpha \operatorname{sen} \alpha} = 1$.

Igualando com a equação (2.3) com a equação (2.7) e considerando a massa específica do bloco 2700 kg/m^3 , $\eta=1,2$ é o coeficiente experimental para blocos com apoio lateral, obtém-se a equação (2.8) para blocos com apoio lateral:

$$d = 0,40 \times \Delta H \quad (2.8)$$

2.5.2 Método de BLANCHET (1946)

Segundo PINTO (1977), BLANCHET (1946) apresentou a fórmula de IZBASH (1936) aperfeiçoada, considerando recuperação da energia cinética à jusante. E propôs a equação (2.9)

$$V_{cr} = \eta' \sqrt{2g \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \sqrt{d} \sqrt{\operatorname{sen}(\alpha_0 - \alpha)} \quad (2.9)$$

onde α_0 é o ângulo de repouso dos blocos em relação a horizontal em água parada (graus) e α é o ângulo da superfície formada pelos blocos em relação a horizontal (graus).

PEREIRA (2006) apresenta a equação de BLANCHET (1964) baseada no peso do material lançado, equação (2.10) para as condições de material bem selecionado e enrocamento.

$$P = K \Delta H^3 = \gamma_s \cdot V \quad (2.10)$$

sendo, P o peso do bloco; V o volume do bloco; γ_s o peso específico do bloco; e K um coeficiente empírico que varia conforme a seleção do material.

Considerando o volume do bloco como esférico têm-se a equação (2.11),

$$d = \sqrt[3]{\frac{6K}{\pi \gamma_s} \Delta H} \quad (2.11)$$

Para a simplificação da equação PEREIRA (2006) considerou $\gamma_s = 2600 \text{ kgf/m}^3$ (sistema técnico de unidade).

Para enrocamento bem selecionado tem-se $K = 0,0475$, logo

$$d = 0,327 \times \Delta H \quad (2.12)$$

Enquanto para enrocamento tem-se, $K = 0,095$, logo

$$d = 0,412 \times \Delta H \quad (2.13)$$

Para declividades pequenas as equações de Izbash e Blanchet se equivalem (PINTO, 1977).

2.5.3 Método de SHIELDS (1936)

SHIELDS (1936) apresenta a relação entre a força de atrito do fluido e o peso da partícula submersa. Segundo GRAF (1970) a tensão de arraste é um resultado das forças da água tentando mover a partícula na direção do escoamento. Para determinar esta tensão é necessário conhecer as características do bloco, como peso e diâmetro, e características do fluido.

A tensão adimensional crítica, ou tensão de Shields (Y_{cr}), é definida pela equação

$$Y_{cr} = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho)gd} \quad (2.14)$$

sendo, τ_c a tensão crítica de arraste; ρ_s a massa específica do bloco; ρ a massa específica da água, g a gravidade e d o diâmetro nominal do material.

O número de Reynolds da partícula (Re) é dado pela equação (2.15):

$$Re = \frac{v_*c d}{\nu} \quad (2.15)$$

sendo v_*c é a velocidade de corte dada por $\sqrt{\tau_c/\rho}$; d é o diâmetro nominal do material e ν a viscosidade cinemática da água.

O diagrama de Shields apresenta a relação entre a tensão adimensional crítica e o número de Reynolds da partícula. Para valores de Reynolds acima de 500 a tensão adimensional crítica tende a 0,060, conforme mostra a Figura 2.21.

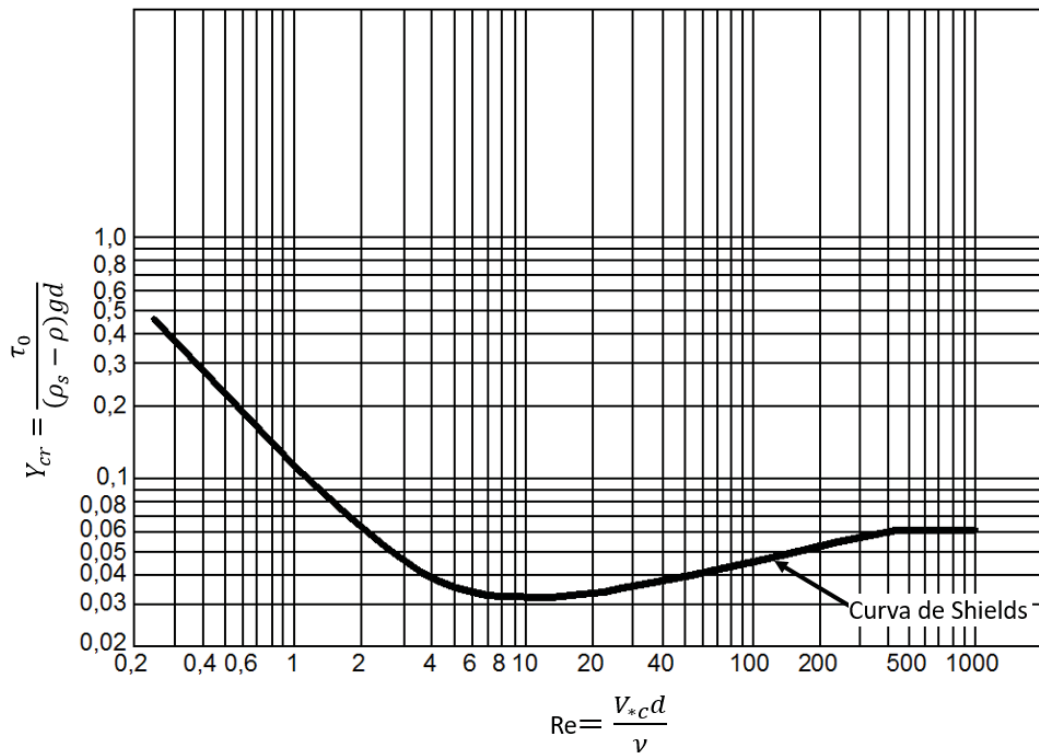


FIGURA 2.21 - DIAGRAMA DE SHIELDS

FONTE: HENDERSON (1966)

Para o valor de tensão adimensional crítica de 0,060, PEREIRA (2006) apresenta a equação (2.16) para o método de Shields relacionando velocidade de crítica de arraste e diâmetro nominal dos blocos. Considerando $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ e $\tau_c = \frac{\gamma V^2}{C^2}$, sendo C coeficiente experimental apresentado por PINTO (1970) com valor médio de 21, obteve.

$$V_{cr} = 6,615\sqrt{d} \quad (2.16)$$

Igualando a equação (2.16) com a equação (2.3) e adotando $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ obtém-se (2.17):

$$d = 0,448 \times \Delta H \quad (2.17)$$

2.5.4 Método de BOUVARD (1960)

Assim como IZBASH (1936) e BLANCHET (1946), BOUVARD (1960) apud PEREIRA (2006) propôs uma equação empírica que relaciona velocidade crítica com o diâmetro nominal do bloco a ser lançado. Conforme cita PEREIRA (2006) a equação

(2.18) de Bouvard é obtida a partir do critério de Shields, apresentando resultados semelhantes ao próprio Shields e à Izbash.

$$V_{cr} = 6,71\sqrt{d} \quad (2.18)$$

Igualando a equação (2.16) com (2.3) e adotando $g=9,81 \text{ m/s}^2$ obtém-se (2.19):

$$d = 0,436 \times \Delta H \quad (2.19)$$

2.5.5 Critério Recomendado pela ELETROBRÁS (2003)

Conforme cita CHOW (1959) para cálculo da velocidade em uma seção contraída deve ser levado em conta o coeficiente de descarga C_1 . Segundo MOREIRA *et al.* (1987), este coeficiente é em função do número de Froude, esconsidade e grau de contração da seção em estudo.

De acordo com CHOW (1959) partindo da equação (2.3) e (2.4) de Izbash, o diâmetro pode ser expresso como

$$d = 0,40 \cdot \frac{C_1^2 \cdot \Delta H}{p} \quad (2.20)$$

onde C_1 é o coeficiente de descarga e p é uma relação entre o coeficiente de rugosidade de Manning, utilizado constante igual a $0,060 \text{ s.m}^{-1/3}$, indicado por CHOW (1959), e o grau de contração.

A expressão (2.18) pode ser reescrita indicando que o diâmetro do bloco é proporcional a ΔH de modo que

$$d = K \cdot \Delta H \quad (2.21)$$

sendo

$$K = 0,40 \cdot \frac{C_1^2}{p} \quad (2.22)$$

Segundo MOREIRA *et al.* (1987) a média de K , para diferentes valores de C_1 e graus de contração, é de 0,30. Logo a dimensão do enrocamento para a construção de ensecadeiras em água corrente pode ser definida como

$$d = 0,30 \times \Delta H \quad (2.23)$$

onde d é o diâmetro nominal do material - diâmetro da esfera de mesmo volume (m) e ΔH é a diferença de nível de água entre montante e jusante da ensecadeira (m).

Esse critério apresentado por MOREIRA *et al.* (1987) é similar ao recomendado pela ELETROBRÁS (2003).

2.5.6 Potência Específica apresentado por ICOLD (1984)

A potência específica do escoamento encontrada durante o fechamento do rio, diferentemente de outros métodos, não depende unicamente da velocidade, mas também da vazão que passa pela brecha e o desnível entre montante e jusante. Segundo ICOLD potência específica do escoamento é:

$$N = \gamma \cdot q \cdot \Delta H \quad (2.24)$$

onde N é a potência específica (kW/m); γ é o peso específico a água (9810 N/m³); q é vazão específica (m³/s.m).e ΔH é a diferença de nível de água entre montante e jusante da ensecadeira (m).

ICOLD (1984) apresenta uma relação empírica entre a potência específica e a massa dos blocos como

$$P = \sqrt{N} \quad (2.25)$$

onde N é a potência específica (kW/m) e P é o peso do bloco (N).

Sendo $P = V_B \cdot \rho_b$ e $V_B = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3$ e pode-se reescrever a equação 2.24 da seguinte maneira $\left(\frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 \gamma_b\right)^2 = \gamma \cdot q \cdot \Delta H$.

Considerando blocos de densidade 2,7, obtém-se a equação 2.26 apresentada por PEREIRA (2006) para o método da potência específica, relacionando o diâmetro do material em função de ΔH a relação

$$d = 0,897(q\Delta H)^{\frac{1}{6}} \quad (2.26)$$

A utilização do método de potência específica para lançamento em ponta de aterro é limitada pelos tamanhos dos blocos, ICOLD (1984) indica utilizar o método para potência de até 800 kW.

Os estudos foram realizados considerando aterro com inclinação de montante 1V:1H e inclinação de jusante 1V:2H e podendo ser arrastado até 10% do material lançado.

2.5.7 Relação apresentada por ICOLD (1984)

Analisando uma série de fechamentos de rios, os pesos dos materiais em certas condições parecem ser bem próximos. O ICOLD (1984) relacionou o ΔH com o peso dos blocos nas fases de lançamento de ponta de aterro, esta relação está apresentada como tabela A.3 e A.4 no APÊNDICE 3 e de forma gráfica na Figura 2.22 e Figura 2.23 a seguir.

Para concreto de densidade 2,4 foram apresentadas as relações mostradas na Figura 2.22, levando em consideração a profundidade de água (profundas $> 3x\Delta H$ e rasas $< 2x\Delta H$) no momento do lançamento da ponta de aterro e a aceitabilidade de perda de material.

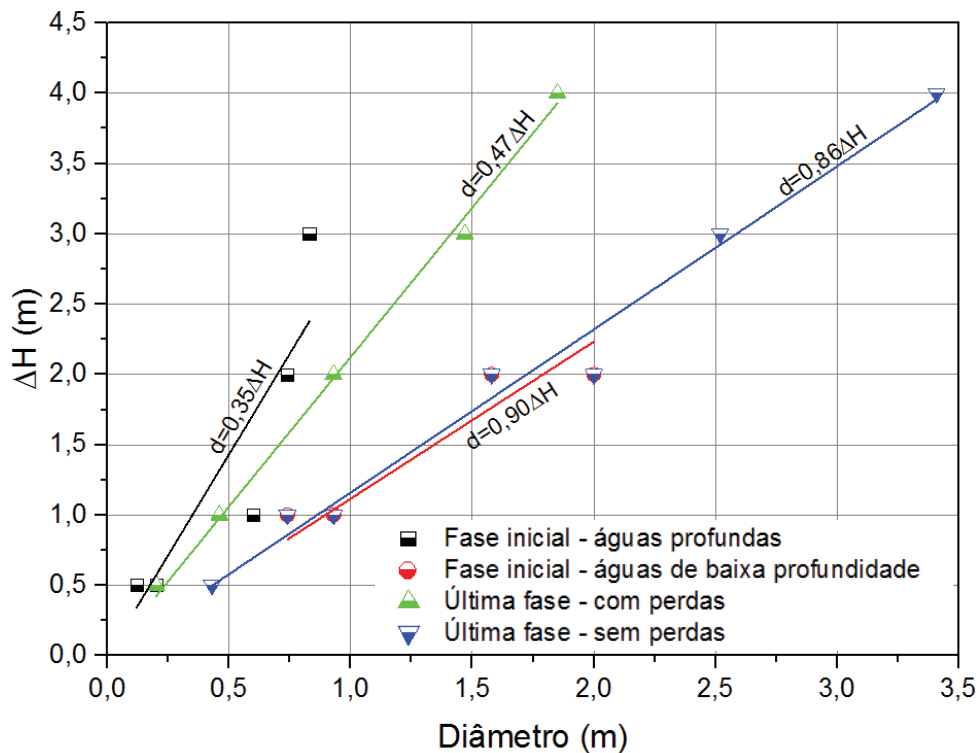


FIGURA 2.22 - RELAÇÃO ΔH X DIÂMETROS EQUIVALENTES DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4)

FONTE: ADAPTADO DE ICOLD (1984)

Se houver blocos provenientes de pedra (densidade de 2,7) e para blocos acima de 5 toneladas for utilizado concreto (densidade 2,4) então os pesos unitários podem ser reduzidos.

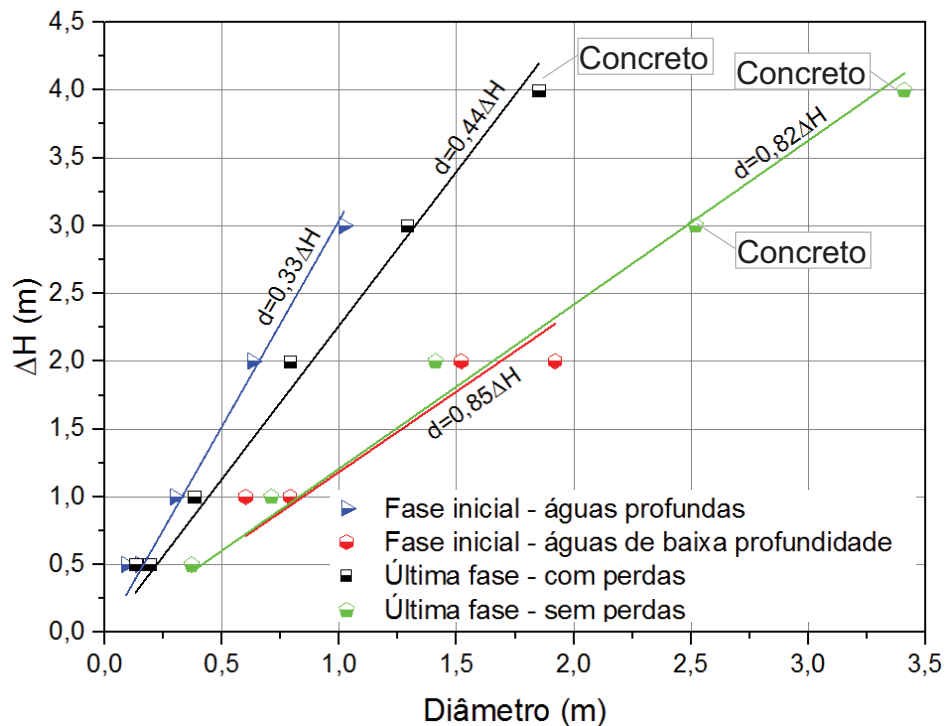


FIGURA 2.23 - RELAÇÃO ΔH X DIÂMETROS EQUIVALENTES DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4 E 2,7)

FONTE: ADAPTADO DE ICOLD (1984)

Em ambas as situações apresentadas, os diâmetros maiores são necessários na situação em que o bloco é lançado na fase inicial, em água pouco profundas e na última fase onde perdas não são aceitáveis. Os diâmetros menores se encontram na fase inicial com águas profundas e última fase admitindo perda de material.

Para situações onde a perda de material não é aceitável o diâmetro do enrocamento lançado pode chegar ao dobro do tamanho quando comparados com situações em que a perda é aceitável.

2.5.8 Comparações entre modelo e protótipo

NEIDERT e TOZZI (1986), realizaram comparação, de resultados para velocidades críticas, entre os seguintes métodos BOUVARD (1960), SHIELDS (1936), IZBASH (1936), ELETROBRÁS (2003) e Cubo isolado da US Corps of Engineering, e incluindo os resultados obtidos em modelos hidráulicos reduzidos das barragens de Rance, Bonneville e outras obras estudadas no laboratório de hidráulica CEHPAR. Apresentando, ainda, pontos de resultados obtidos nos protótipos Passamaquody,

Foz do Areia e Comitê Internacional de Grandes Barragens (CIGB), obtiveram um gráfico, conforme mostra Figura 2.24.

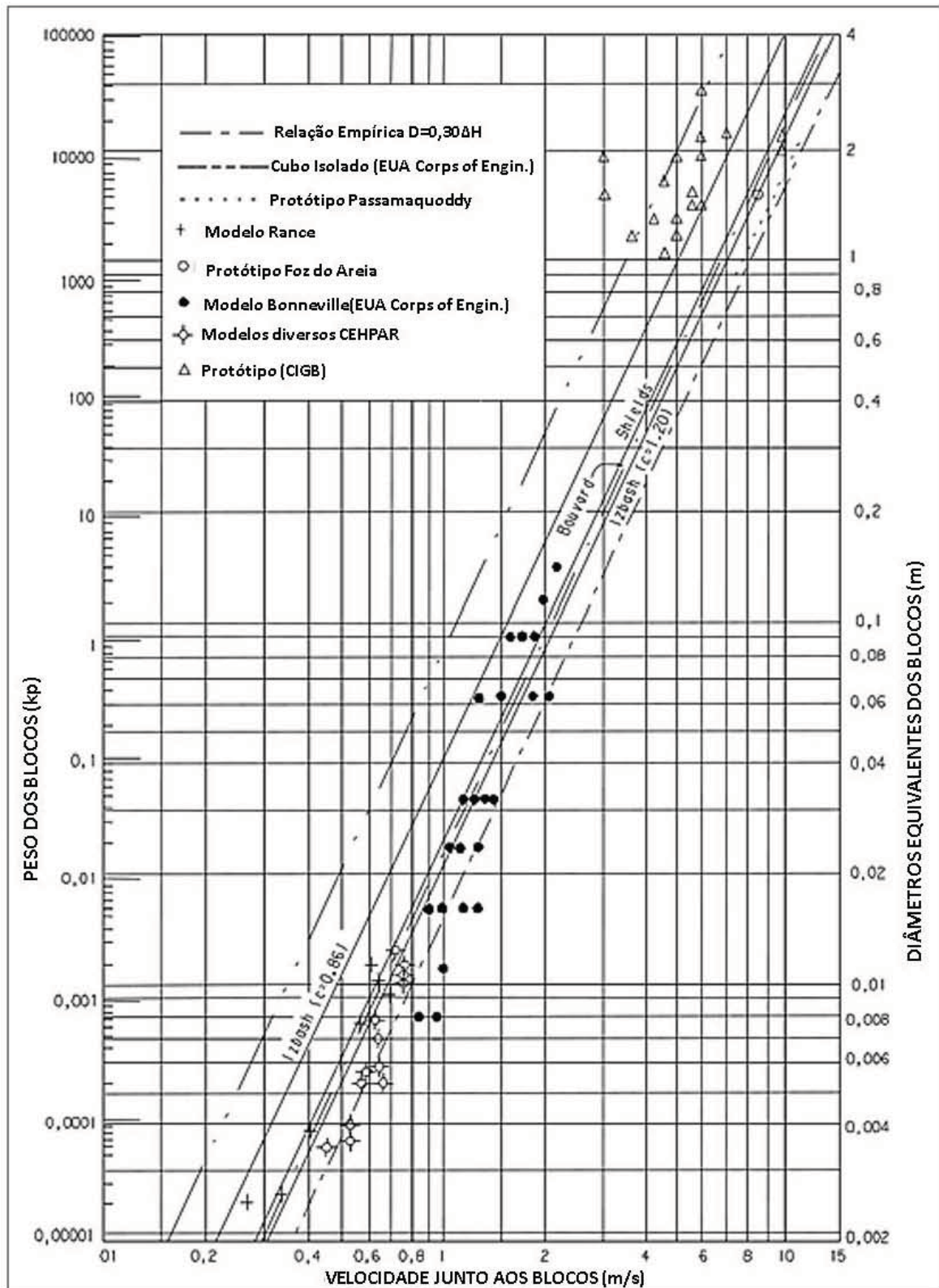


FIGURA 2.24 - RELAÇÃO VELOCIDADE CRÍTICA DE ESCOAMENTO X PESO/DIÂMETRO DOS BLOCOS

FONTE: NEIDERT E TOZZI (1986) APUD PEREIRA (2006)

Segundo PEREIRA (2006) as recomendações do Comitê Internacional de Grandes Barragens tendem a super dimensionar o material especialmente com $\Delta H > 3$ m, e os resultados do modelo hidráulico reduzido tendem a subdimensionar o diâmetro do material em relação ao que deve ser empregado no protótipo.

PEREIRA (2006) concluiu também que existe efeito de escala com relação ao tamanho do modelo, quando analisados modelos com os mesmos parâmetros normalizadores, os modelos de menor escala apresentaram maiores velocidades. PEREIRA (2006) observou este fenômeno no modelo quando da mudança do tamanho do material de ordem de 2,5mm para outro de ordem de 5mm, e deste para 7,5 mm de diâmetro.

Com o objetivo de definir a real origem entre as dispersões apresentadas entre modelo reduzido e protótipo, PEREIRA (2006) realizou estudos em modelo reduzido e sugeriu fatores de correção a serem aplicados na transposição dos diâmetros de modelo para diâmetros de protótipo, conforme Tabela 2.1.

TABELA 2.1 - FATORES DE CORREÇÃO PROPOSTOS

FONTE: PEREIRA (2006)

d_{50}	Fator de Correção	Valor corrigido para transposição ao Protótipo
2,00 mm	2	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

Também foi identificado que a posição de desequilíbrio do enrocamento está frequentemente localizada na seção B a 45° (mostrado na Figura 2.25) e recomenda a investigação do campo de velocidade e distribuição das tensões tangenciais na seção da enseadeira.

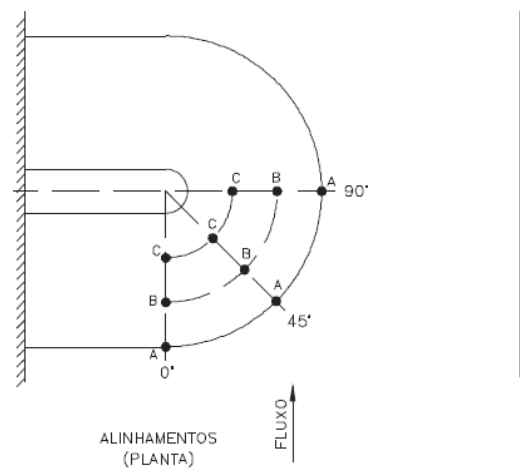


FIGURA 2.25 - PONTOS DE MEDIDA DE VELOCIDADE
 FONTE: PEREIRA (2006)

Com o objetivo de complementar as observações apresentadas por PEREIRA (2006) e analisar características de escoamento, DALMORA (2015) utilizou modelagem numérica, alterando largura da crista e inclinação dos taludes das ensecadeiras.

Variando a largura da ensecadeira, DALMORA (2015) concluiu que ao aumentar a largura da ensecadeira houve uma melhor distribuição das velocidades na região da ponta de aterro, quando comparada com ensecadeira de largura menor. Variando a inclinação do talude identificou que talude menos íngremes apresentam menores velocidades na ponta de aterro quando comparados com taludes mais íngremes, conforme mostra a Figura 2.26.

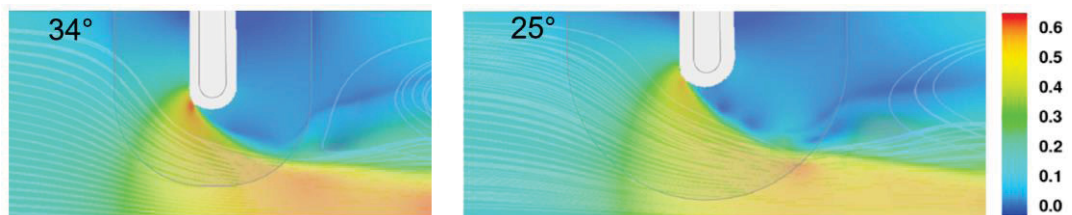


FIGURA 2.26 - ESCALA GRÁFICA DE VELOCIDADES (M/S) – TALUDE DE 34° E 25°
 FONTE: DALMORA (2015)

2.6 ÂNGULO DE REPOUSO DE MATERIAL LANÇADO

O ângulo de repouso é o ângulo de atrito interno do material, ou seja, a inclinação máxima do talude para que o material se mantenha estável sendo lançado

verticalmente. Esse ângulo varia de acordo com as características do material. Para materiais mais arredondados este ângulo é baixo, enquanto que partículas irregulares e angulares podem gerar taludes mais íngremes e continuar estável, conforme pode ser verificado na Figura 2.27 de LANE E BORLAND(1953) apud DALMORA (2015).

Quando este material é sujeito ao fluxo em um rio, existe a tendência de movimentação deste material. O critério para movimentação incipiente do material em repouso envolve a tensão de cisalhamento, que é a força trativa da água tentando movimentar os blocos na direção do escoamento, e a força da gravidade que tenta mover o bloco para baixo. GRAF (1970) estabeleceu uma relação (2.27) entre essas forças e as características do material:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{(W \operatorname{sen} \theta)^2 + 2 F_D W \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \beta + F_D^2}}{W \operatorname{cos} \theta - F_L} \quad (2.27)$$

onde F_D é a força de arraste; F_L é a força de sustentação; θ é o ângulo do talude com relação a horizontal; β é o ângulo da inclinação da tensão de cisalhamento e segundo GRAF (1970) é muito próximo de zero; W é o peso do bloco e φ é o ângulo de repouso resultante.

A força de arraste (F_D), definida pela equação (2.28), é a força que atua paralela à superfície de repouso do bloco e a força de sustentação (F_L), definida pela equação (2.29), é a força que atua perpendicular à superfície de repouso formada pelos blocos e podem ser definidas pelas seguintes expressões:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A V^2 \quad (2.28)$$

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A V^2 \quad (2.29)$$

onde C_D é o coeficiente de arraste; C_L é o coeficiente de sustentação; ρ é a massa específica da água; A é área frontal do bloco e V é a velocidade do escoamento.

Expressando o início de movimento do bloco, inicialmente apresentada por FORCHEHEIMER (1914) e adaptada por LANE E BORLAND(1953), resultou na equação (2.30):

$$(\tau_0^W)_{cr} = (\tau_0)_{cr} \left(\operatorname{cos} \theta \sqrt{1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \theta}{\operatorname{tg}^2 \varphi}} \right) \quad (2.30)$$

onde, τ_0^W é a tensão de cisalhamento na superfície do talude; τ_0 é a tensão de cisalhamento no fundo do leito do rio; θ é o ângulo do talude com relação a horizontal e φ é o ângulo de repouso resultante.

Estas relações também são apresentadas na Figura 2.27 pelo diagrama de LANE E BORLAND (1953) para materiais com diâmetros entre 5 mm e 100 mm.

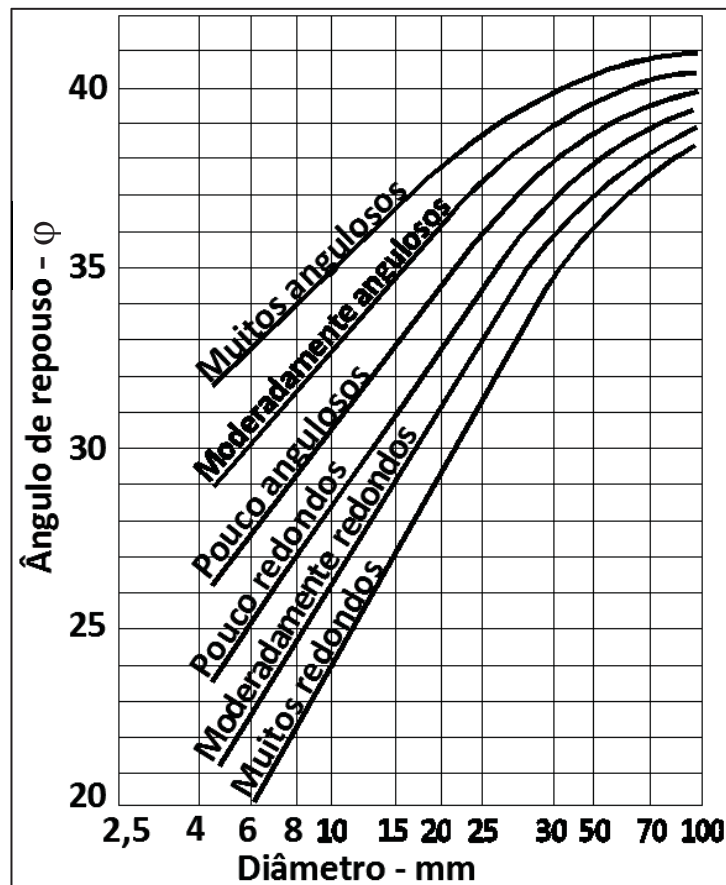


FIGURA 2.27 - ÂNGULO DE REPOUSO DE MATERIAL NÃO COESIVO
 FONTE: LANE E BORLAND (1953) APUD GRAF (1970)

A partir do diagrama verifica-se que os diâmetros maiores apresentam maior ângulo de repouso do talude com relação a horizontal, ou seja, permitem taludes mais íngremes.

2.7 MODELO HIDRÁULICO REDUZIDO

O modelo hidráulico reduzido consiste em uma reprodução em escala do arranjo do empreendimento e é fundamental na determinação das características de

desvio do rio, avaliando a operação do desvio por completo. As características das estruturas projetadas devem ser verificadas e otimizadas. Devido à possibilidade de diferentes simulações hidráulicas, nele podem ser identificados fenômenos e riscos de difícil previsão que podem ocorrer durante a implantação de uma usina. Sua utilização é sempre aconselhável e em determinadas obras de médio e grande porte torna-se indispensável (ELETROBRÁS, 2003).

O modelo hidráulico reduzido é também uma ferramenta para determinar a granulometria e quantidade do material que fará o fechamento do rio. As escalas comumente utilizadas são de 1:75 e 1:100, variando conforme o tamanho da obra e disponibilidade de área no laboratório.

A ELETROBRÁS (2003) recomenda como dados básicos para a construção do modelo reduzido a topobatimetria do local de implantação do empreendimento, o arranjo geral, o projeto hidráulico das estruturas, dados característicos do projeto como vazões de projeto e níveis máximo, mínimo e normal, e projeto de etapas construtivas.

No estudo em modelo hidráulico reduzido das estruturas de desvio devem ser feitas as verificações da elevação da crista das ensecadeiras, dos pesos dos blocos que compõem a ensecadeira, da capacidade de vazão da estrutura de desvio. Como essa capacidade influencia na crista das ensecadeiras, deve ser realizado também o estudo dos diversos estágios do desvio, medindo os níveis de água de montante e jusante e as velocidades junto às extremidades do avanço.

Para a avaliação de galerias e canais é necessária a análise dos diversos tipos de escoamento, medição da velocidade, capacidade de vazão das estruturas de desvio e curva de descarga, níveis de água e pressões médias.

Em túneis deve ser feita a reprodução das rugosidades previstas, análise das condições hidráulicas, análise dos tipos de escoamento possíveis de ocorrerem, determinação da curva de descarga e medições de pressão.

As condições de escoamento nas estruturas de desvio devem ser verificadas para as vazões mínimas, utilizadas para realizar o fechamento do rio e para as vazões máximas que é utilizada para determinar a cota da crista de projeto da ensecadeira finalizada.

2.7.1 Efeito de escala

Segundo ASCE (1982) apud SIMÕES (2008) o efeito de escala decorre da não similaridade de algumas grandezas entre modelo e protótipo, devido ao fato destas serem impossíveis de se reproduzir em escala. Nos modelos das estruturas em rios, há predominância do efeito gravitacional, sendo assim estes devem obedecer ao critério de semelhança de Froude.

Se o modelo é demasiadamente pequeno pode ocorrer efeitos viscosos no modelo que não condizem com o que ocorre no protótipo. Como o regime de escoamento do modelo deve ser semelhante ao do protótipo o número de Reynolds deve ser verificado, assim como o regime de escoamento.

A escala do modelo deve ser determinada para que a tensão superficial do fluido não interfira nas características do escoamento.

Há uma grande dificuldade de se reproduzir a rugosidade em algumas estruturas, como a calha de um vertedouro. Logo, esse fator também deve ser observado na seleção da escala.

2.7.2 Critério de semelhança de Froude

Os estudos em modelos reduzidos se baseiam no critério de semelhança hidráulica. O critério de semelhança adotado para modelos hidráulicos reduzidos de estudos de desvios de rios é o de Froude é expresso pela equação (2.31):

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} \quad (2.31)$$

onde V é a Velocidade de escoamento; y é a profundidade do escoamento e g é a aceleração da gravidade.

As principais grandezas envolvidas no estudo em modelo reduzido obedecem às relações baseadas na escala geométrica (λ), a partir do critério da semelhança é realizada a redução das características geométricas do protótipo e esta relação é fixa. Sendo o mesmo fluido no modelo e no protótipo a escala é definida pela expressão (2.32):

$$\lambda = \frac{l_m}{l_p} \quad (2.32)$$

onde l_m representa uma dimensão linear no modelo reduzido e l_p é a dimensão linear correspondente no protótipo.

A semelhança cinética (λ_v), ou escala de velocidades, mostrada na equação (2.33), é a semelhança do movimento, e é alcançada se as partículas em movimento apresentarem a mesma taxa de velocidade ao longo de curso geometricamente similares entre modelo e protótipo.

$$\lambda_v = \sqrt{\lambda} = \sqrt{\frac{l_m}{l_p}} \quad (2.33)$$

2.8 RESUMO DOS MÉTODOS ABORDADOS

Os métodos de dimensionamento apresentados conduzem, em geral, à resultados muito próximos, quando considerados para a situação de lançamento em ponta de aterro conforme mostra a Tabela 2.2.

TABELA 2.2 - RESUMO DOS MÉTODOS ABORDADOS

Método	Equação Fundamental	Equação	Condição
IZBASH (1936)	$V_{cr} = \eta' \sqrt{2g \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \sqrt{d} \sqrt{f' \cos \alpha \operatorname{sen} \alpha}}$	$d = 0,4 \Delta H$	com apoio lateral
BLANCHET (1946)	$V_{cr} = \eta' \sqrt{2g \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \sqrt{d} \sqrt{\operatorname{sen}(\alpha_0 - \alpha)}}$	$d = 0,327 \Delta H$	material bem selecionado
BLANCHET (1946)		$d = 0,412 \Delta H$	enrocamento
SHIELDS (1936)	$Y_{cr} = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho)gd}$	$d = 0,448 \Delta H$	-
BOUVARD (1960)	$V_{cr} = 6,71\sqrt{d}$	$d = 0,436 \Delta H$	-
ELETROBRÁS (2003)	$d = 0,40 \cdot \frac{C_1^2 \cdot \Delta H}{p}$	$d = 0,3 \Delta H$	-
Potência Específica ICOLD (1984)	$N = \gamma \cdot q \cdot \Delta H$	$d = 0,897 (q\Delta H)^{1/6}$	-

Estes métodos apresentam algumas diferenças conceituais, visto que abordam fenômenos físicos diferentes. A análise geral dos métodos despreza a velocidade de aproximação e a perda de carga que ocorre na seção da enseadeira, é definida a partir da relação $V = \sqrt{2g\Delta H}$. Esta relação é aplicada em todos os métodos de dimensionamento apresentados, com exceção do método de Potência Específica do ICOLD (1984) que considera variáveis diferentes.

IZBASH (1936) apresenta dois métodos de dimensionamento para duas situações diferentes. Em ambos os casos, consideram-se coeficientes experimentais na determinação da velocidade de arraste, sendo eles de 0,86 para blocos sem apoio

lateral e 1,20 para blocos com apoio lateral (ver item 2.5 desta dissertação). Na situação de blocos com apoio lateral para a obtenção da relação entre diâmetro e desnível entre montante e jusante há a simplificação da parcela relativa à inclinação do talude da ensecadeira que é considerada igual a zero para os cálculos.

O método de BLANCHET (1946) é baseado no método de Izbash e, segundo PINTO (1977), tem como característica adicional a consideração da recuperação da energia cinética à jusante. PEREIRA (2006), utilizando BLANCHET (1946), apresenta relação entre desnível e diâmetro para a situação de material bem selecionado (condição encontrada em modelo) e para enrocamento (condição encontrada em protótipo).

SHIELDS (1936) relaciona força de atrito com o peso dos blocos submersos e apresenta um diagrama relacionando número de Reynolds de corte versus tensão adimensional de arraste. A relação de Shields entre diâmetro e desnível é apresentada por PEREIRA (2006). BOUVARD (1960) apresenta uma relação baseada no método de Shields, levando em consideração fatores empíricos.

Apesar de também ser baseado em IZBASH (1936) e de considerar o mesmo coeficiente empírico, diferente dos demais, o método recomendado por ELETROBRÁS (2003), leva em consideração coeficiente de descarga, número de Froude e a rugosidade de Manning e para obter a relação diâmetro e desnível este método tem como sua principal simplificação a de que faz uma média para os diferentes coeficientes de descarga. Este o método, dentre os apresentados que leva em consideração o maior número de variáveis do escoamento e geometria, dentre os apresentados.

O método da Potência Específica apresentado pelo ICOLD (1984) considera a vazão e o desnível entre montante e jusante da ensecadeira para determinar o diâmetro, este método apresenta limitações com relação à sua aplicação, pois considera que pode ocorrer perda de até 10% no material lançado, não podendo assim ser considerado para dimensionamento de material na condição de movimento incipiente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados coletados foram observados em 15 modelos hidráulicos reduzidos. Para esta pesquisa foram realizados ensaios em laboratório com o objetivo de complementar os dados coletados e descrever a metodologia empregada para obtenção destes. Os ensaios executados para a pesquisa, foram realizados variando características geométricas da ensecadeira e de vazão do rio.

3.1 ROTEIRO DOS TESTES

Para início dos testes a projetista fornece as posições preliminares das ensecadeiras e as vazões que deverão ser simuladas. O modelo reduzido é construído a fim de reproduzir as condições hidrológicas e topográficas encontradas no protótipo.

Um mesmo fechamento de rio é testado para diferentes condições de vazão do rio e cota de coroamento das ensecadeira. As cotas de coroamento são definidas a partir da curva chave da estrutura de desvio.

O teste é iniciado com o rio em sua condição natural e vazão constante. Inicia-se então o lançamento das ensecadeira em caráter exploratório, sem ritmo de lançamento, apenas para verificar como o rio se comporta e ter uma prévia das granulometrias do material lançado, o critério para troca de material, consequentemente o aumento do diâmetro, é o limite de estabilidade do material.

Em cada troca de material é medido e anotado as vazões, os níveis de água e em alguns modelos também são medidas as velocidades.

A vazão na estrutura de desvio é medida com auxílio da curva chave desta.

A vazão pela brecha é obtida pela diferença entre a vazão total do modelo e a vazão medida na estrutura de desvio (túnel, canal, adufa...).

Os níveis de água são obtidos por régua liminimétrica sendo o nível de montante (N.A.m) medido antes do remanso e nível de jusante (N.A.j) medido na altura conjugada antes do ressalto, conforme mostra a Figura 3.1.

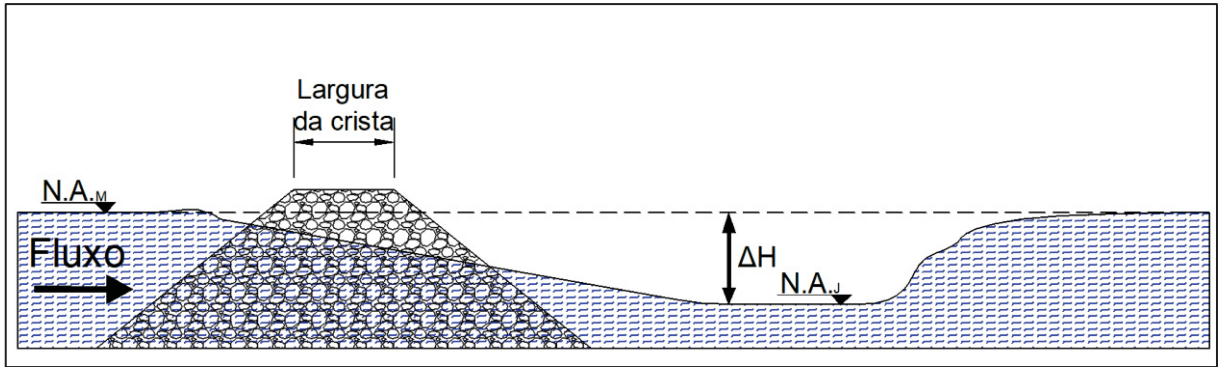


FIGURA 3.1 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA

As velocidades do escoamento no talude da ensecadeira são medidas através de tubo de Pitot, nas posições de 0° , 45° e 90° em relação ao eixo da mesma, conforme a Figura 2.25 e em demais pontos onde considerar necessário.

Após a realização dos testes exploratórios e levando em consideração os níveis encontrados nos mesmos, inicia-se a etapa dos ensaios propriamente ditos, seguindo a mesma sequência já descrita para os ensaios exploratórios porém com o lançamento do material simulando o ritmo da obra, que é indicado pela construtora.

Os ensaios em modelo reduzido de estruturas hidráulicas operam de acordo com o critério de semelhança de Froude. Os estudos de fechamento de rio analisados buscam definir o limite de estabilidade para diferentes diâmetros de enrocamento lançado em ponta de aterro. Durante os ensaios são determinados os níveis de água e as velocidades máximas do escoamento junto aos avanços de enrocamento, em cada condição limite, identificando assim o grau da dificuldade dos fechamentos de rio.

Ao final dos testes o laboratório elabora relatórios, apresentando os critérios adotados, parâmetros medidos, resultados obtidos e observações. Estes relatórios são as fontes dos dados aqui analisados.

3.2 CRITÉRIOS E CARACTERÍSTICAS DE COLETA DE DADOS

O material lançado utilizado nos ensaios dos modelos hidráulicos reduzidos para desvio de rio tem massa específica de 2650 kg/m^3 e segue as características granulométricas descritas na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DE MATERIAIS PARA MODELOS.

Material	Modelo				Diâmetro Protótipo (m)		
	Diâmetros (mm)		d_{50} (mm)	Modelo em escala 1:100	Modelo em escala 1:75	Modelo em escala 1:70	
Areia	0,6	<d≤	1,2	0,9	0,09	0,07	0,06
I	1,2	<d≤	2,83	2,0	0,20	0,15	0,14
II	2,83	<d≤	4,76	3,8	0,38	0,28	0,27
III-A	4,76	<d≤	6,35	5,6	0,56	0,42	0,39
III-B	4,76	<d≤	9,52	7,14	0,71	0,54	0,50
III	6,35	<d≤	9,52	7,9	0,79	0,60	0,56
IV	9,52	<d≤	12,7	11,1	1,11	0,83	0,78
V	12,7	<d≤	19,1	15,9	1,59	1,19	1,11
VI	19,1	<d≤	25,4	22,3	2,23	1,67	1,56

Os principais parâmetros coletados nos relatórios, disponibilizados pelo CEHPAR, para análise do dimensionamento do material foram medidos no momento da identificação do limite de estabilidade do enrocamento e já convertidos para os valores que apresentarão no protótipo. Os parâmetros são os diâmetros equivalentes dos materiais lançados na ponta de aterro da ensecadeira, o desnível entre montante e jusante do cordão da ensecadeira, a maior velocidade medida na ponta do aterro da ensecadeira, a vazão na brecha que é determinada pela diferença entre a vazão total do ensaio e a vazão medida na estrutura de desvio (canal, túnel, adufas, etc).

Para exemplificar os dados coletados, a Tabela 3.2 e a Figura 3.2 apresentam os resultados obtidos em testes realizados no modelo reduzido de Itaipu.

TABELA 3.2 - EXEMPLO DE DADOS OBTIDOS A PARTIR DO MODELO HIDRÁULICO REDUZIDO DE ITAIPU – TESTE 01

FONTE: ADAPTADO DE NEIDERT (1973)

Teste	Vazão (m ³ /s)	Diâmetro (m)	0,15	0,2	0,38	0,65	1,08	1,5
T-01	8000	ΔH	0,54	0,98	2,22	3,36	3,59	Fechamento
		V (m/s)	2,84	4,36	6,05	6,67	6,74	Fechamento

		Vazão na brecha (m ³ /s)	5240	4600	2740	1480	1200	Fechamento
--	--	--	------	------	------	------	------	------------

Na tabela 3.2, ΔH é o desnível medido entre a montante e jusante; V é a velocidade máxima medida na ponta do aterro e a vazão na brecha é obtida através da diferença entre a vazão do rio e a vazão passante pela estrutura de desvio.

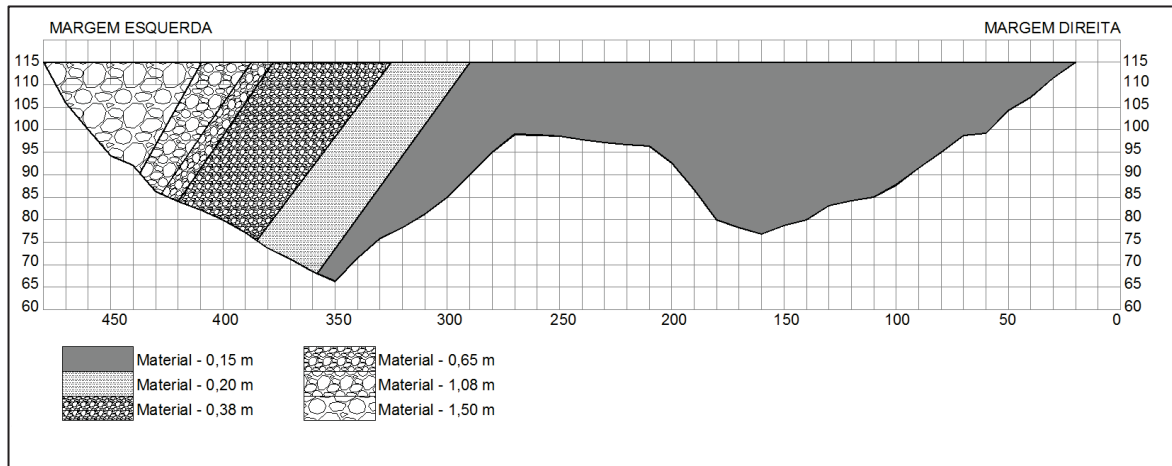


FIGURA 3.2 - EXEMPLO DE CONFIGURAÇÃO DE LANÇAMENTO EFETUADO NO EIXO DA ENSECADIEIRA DE MONTANTE DO MODELO REDUZIDO DE ITAIPU – TESTE 01.

FONTE: ADAPTADO DE NEIDERT (1973)

Na Figura 3.2 observa-se o perfil da configuração final da ensecadeira. O lançamento inicia a partir da margem direita, com material de 0,15 m e conforme ocorre o estrangulamento da seção do rio ocorre a necessidade de aumentar o diâmetro lançando. O fechamento na margem esquerda ocorre com material de granulometria de 1,50m

Os dados do material lançado no fechamento final são desconsiderados para análise, pois nesta situação o ensaio pode permitir arraste de material ou este pode concluir o fechamento sem atingir o limite de estabilidade.

3.3 DADOS COLETADOS

Em todos os ensaios analisados foram considerados apenas os dados em que o material foi levado à condição limite de estabilidade. Os modelos reduzidos utilizados na pesquisa foram selecionados quanto à dificuldade de fechamento, utilizando o método de lançamento em ponta de aterro. Os modelos são apresentados sucintamente na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 - MODELOS REDUZIDOS UTILIZADOS NA PESQUISA.

Rio	Escala do modelo	Nº de ensaios	ΔH máximo (m)	Diâmetros lançados (m)	Referência
São Francisco	1:100	3	3,94	0,38 a 1,11	GUETER (1989)
Canoas	1:100	3	3,13	0,38 a 1,11	TERABE E OTA (2002)
Jequitinhonha	1:100	3	4,27	0,38 a 1,11	POVH E OTA (2003)
Canoas	1:100	2	3,45	0,38 a 1,11	FRIEDRICH E FABIANI (2000)
Jacuí	1:100	4	3,23	0,09 a 0,79	TERABE (1997)
Iguaçu	1:100	3	1,95	0,20 a 0,79	OLINGER (1995)
Jequitinhonha	1:100	1	2,15	0,38 a 0,56	TERABE E OTA (2000)
Jordão	1:100	4	1,93	0,09 a 0,59	OTA (1994)
Araguari	1:100	5	2,59	0,20 a 0,79	OLINGER (1991)
Uruguai	1:100	7	3,94	0,53 a 1,50	FABIANI (1989)
Manso	1:75	10	3,07	0,15 a 1,19	CARNEIRO (1986)
Parnaíba	1:100	6	5,58	0,20 a 1,50	NEIDERT (1975)
Paraná	1:100	9	6,17	0,14 a 1,50	NEIDERT (1973)
Araguari	1:100	2	1,76	0,20 a 1,11	OTA (1987)
-----	1:70	2	4,20	0,56 a 1,80	Presente pesquisa

Foram utilizados 15 modelos reduzidos, 65 ensaios, dos quais foram obtidos 283 dados conforme critérios expostos na seção 3.1. A escala dos modelos foram 1:100, 1:75 e 1:70, possibilitando assim a obtenção de dados para diferentes diâmetros médios. Os detalhes adicionais e todos os dados coletados são apresentados de forma tabular no Apêndice 1 e de forma gráfica no Apêndice 2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios em modelo reduzido, os resultados obtidos a partir dos dados compilados obtidos nos modelos hidráulicos reduzidos de desvio de rio e as equações obtidas a partir destes dados reunidos. Todos os dados e resultados são apresentados em escala de protótipo.

É apresentada a comparação entre a equação obtida e as equações clássicas de dimensionamento dos blocos a serem lançados em ponta de aterro para construção de ensecadeiras em água corrente e análises adicionais

4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Foram realizados ensaios com o objetivo de complementar os dados obtidos a partir dos relatórios dos modelos existentes. Iniciou-se os ensaios alterando a vazão do rio, buscando a situação de maior dificuldade de fechamento e podendo assim testar o lançamento de blocos com grandes dimensões. Quando atingida a vazão que impunha dificuldade no fechamento, partiu-se para a variação de largura da crista da ensecadeira, a fim de verificar se haveria diferença no limite de estabilidade quando alterada esta característica geométrica da ensecadeira, já que há uma superfície maior do aterro exposta ao fluxo. O lançamento foi realizado em cordão único.

Os dados coletados nos ensaios foram diâmetro e desnível. O modelo reduzido foi construído na escala 1:70. Ao todo foram realizados 5 ensaios, os 3 primeiros foram de caráter exploratório, ou seja, sem ritmo de lançamento, e os demais com ritmo de lançamento em protótipo de 150 m³/h (previsto a ser seguido na obra), procurando obter o limite de estabilidade do material lançado, ou seja, sem perdas. As características dos ensaios realizados são apresentadas na Tabela 4.1 com os valores já convertidos para a escala de protótipo.

TABELA 4.1 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Ensaio	Vazão (m ³ /s)	Cota da crista (m)	Largura da crista (m)	Diâmetros lançados (m)	Observação
01	400	22,5	6	0,27 a 0,56	Exploratório
02	600	25	6	0,27 a 0,78	Exploratório
03	850	29	12	0,39 a 1,80	Exploratório sem fechamento
04	850	25	12	0,56 a 1,80	Sem fechamento
05	850	25	6	0,56 a 1,80	Sem fechamento

A Figura 4.1 representa a seção transversal da calha do rio e foi obtida no eixo de lançamento das ensecadeiras. Todos os ensaios foram utilizados o mesmo eixo para o lançamento de material e o lançamento foi realizado partindo da margem direita (M.D.) para a margem esquerda (M.E.).

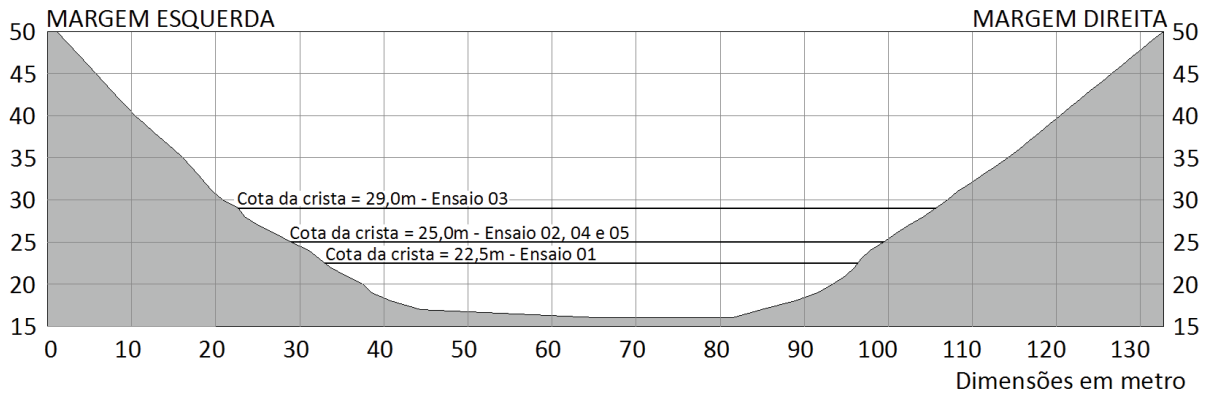


FIGURA 4.1 - SEÇÃO TRANSVERSAL DA CALHA DO RIO.

A Figura 4.2 mostra uma vista superior da calha do rio em questão. São mostrados os pontos Nível de Água de Montante (N.A.M.) e Nível de Água de Jusante (N.A.J.). A partir da medição destas cotas é que foi obtido o desnível (ΔH), no momento em que foi identificado o limite de estabilidade do material lançado.



FIGURA 4.2 - VISTA SUPERIOR DA CALHA DO RIO - PONTOS DE OBTENÇÃO DE ΔH .

Os fechamentos dos ensaios 01 e 02 foram realizados com facilidade e utilizando diâmetros pequenos, como mostra a Figura 4.3 e Figura 4.4, houve arraste

considerável de material lançado em ambos os ensaios, sendo estes então desconsiderados para a compilação dos dados.



FIGURA 4.3 – CONFIGURAÇÃO FINAL DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 01.



FIGURA 4.4 – CONFIGURAÇÃO FINAL DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 02

No ensaio 03 houve o aumento de vazão. A Figura 4.5 mostra a configuração final do lançamento da ensecadeira para o ensaio. Nela é possível identificar que não foi possível realizar o fechamento com o material disponível, confirmando que a vazão de $850 \text{ m}^3/\text{s}$ está adequada para impor dificuldade de fechamento suficiente para testar o limite de estabilidade de blocos de grande dimensão, chegando a dimensão de blocos de $1,80 \text{ m}$ e ΔH de $5,00 \text{ m}$, conforme dados apresentados na Tabela 4.2.



FIGURA 4.5 - CONFIGURAÇÃO FINAL DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 03

A partir da definição da vazão, iniciou-se o processo então de alteração da largura da crista da ensecadeira com o objetivo de verificar o comportamento do limite de estabilidade dos blocos com relação à alteração desta característica geométrica da ensecadeira.

O ensaio 04 foi realizado com largura de crista de 12 m e ritmo de lançamento dos blocos de 150 m³/h. Neste ensaio não foi possível realizar o fechamento com o material disponível, sendo o maior diâmetro lançado de 1,80 m e atingindo um desnível de 4,10 m entre montante e jusante da ensecadeira conforme mostra a Tabela 4.2.

Durante a execução do ensaio 04 observou-se que, quando lançado material de diâmetros de 1,56 m e 1,80 m estes desestabilizavam o material mais fino da camada anterior, ocasionando o deslizamento de parte do material. Estes deslizamentos geraram arraste em material que estava estabilizado no momento do seu lançamento. A configuração do ensaio 04 pode ser observada na Figura 4.6, bem como o material que foi arrastado devido aos deslizamentos.



FIGURA 4.6 - CONFIGURAÇÃO DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 04 COM DESTAQUE PARA O ARRASTE DE MATERIAL DE DIÂMETRO MAIOR

O ensaio 05 foi realizado com largura de crista de 6 m e ritmo de lançamento dos blocos de 150 m³/h. Neste ensaio também não foi possível realizar o fechamento com o material disponível, sendo o maior diâmetro lançado de 1,80 m. O desnível máximo atingido foi de 4,20 m entre montante e jusante da ensecadeira, conforme mostra a Tabela 4.2.

No ensaio 05 foi observado o mesmo fenômeno visto no ensaio 04. A desestabilização dos materiais das camadas anteriores, quando do lançamento dos materiais de diâmetros de 1,56m e 1,80m. A configuração final do ensaio 06 é apresentado na Figura 4.7.

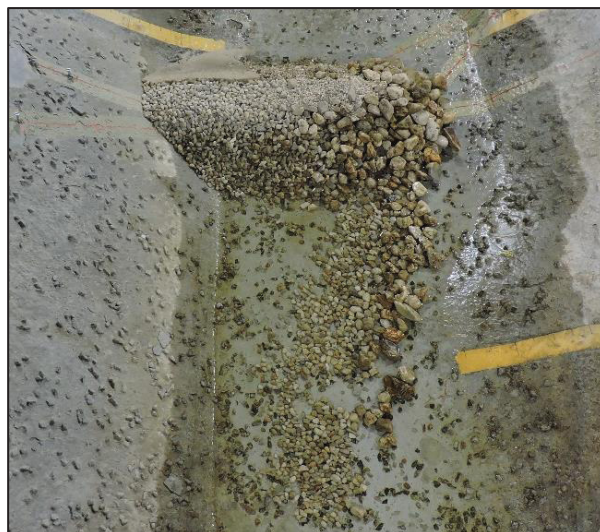
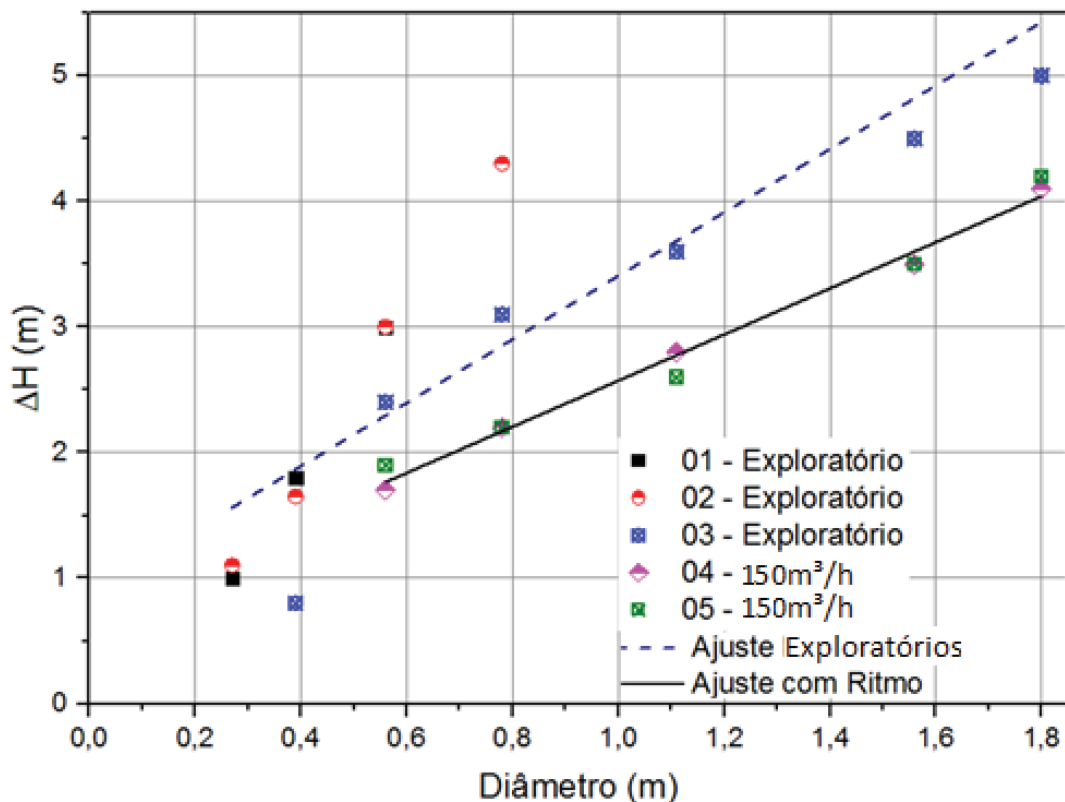


FIGURA 4.7 - CONFIGURAÇÃO DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 05

TABELA 4.2 - RESULTADOS DE ΔH OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS

Ensaio	Material	II	IIIA	IIIB	IV	V	VI	VII
	Diâmetro (m)	0,27	0,39	0,56	0,78	1,11	1,56	1,8
01	ΔH (m)	1,00	1,80	3,00	-	-	-	-
02	ΔH (m)	1,10	1,65	3,00	4,30	-	-	-
03	ΔH (m)	-	0,80	2,40	3,10	3,60	4,50	5,00
04	ΔH (m)	-	-	1,70	2,20	2,80	3,50	4,10
05	ΔH (m)	-	-	1,90	2,20	2,60	3,50	4,20

A Figura 4.8 apresenta, de maneira gráfica, os resultados obtidos e observa-se as diferentes relações entre diâmetros lançados e desníveis medidos no limite de estabilidade do material, separada por caráter de ensaio.

FIGURA 4.8 - RELAÇÕES - DIÂMETRO X ΔH OBSERVADOS NOS ENSAIOS REALIZADOS

Os ensaios 01 e 02 foram os que apresentaram resultados onde o os diâmetros foram capazes de vencer maior desnível, porém nestes dois ensaios ocorreram arrastes. Logo estes ensaios serão descartados na compilação geral dos dados.

Quando realizado o mesmo ensaio e alterando apenas a largura da crista, caso dos ensaios 04 e 05, a relação observada ficou muito próxima. A variação de desnível foi de ± 20 cm, indicando que através do modelo reduzido não foi possível obter relação entre a resistência dos blocos ao arraste e a largura da ensecadeira.

Os ensaios 03, 04 e 05 conseguiram testar a estabilidade de materiais com diâmetros de até 1,80 m, contribuindo com informações adicionais, visto que nos demais ensaios que contemplaram a pesquisa, este diâmetro não havia sido testado.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS DE MODELOS REDUZIDOS

4.2.1 Relação entre diâmetro e desnível

Com base nos dados coletados e nos ensaios realizados foram obtidos 278 dados que relacionam o diâmetro médio de enrocamento lançado em ponta de aterro e desnível entre montante e jusante observado experimentalmente na condição de limite de arraste. O Apêndice 1 apresenta todos estes dados, apresentados graficamente na Figura 4.9. Cada diâmetro apresenta diferentes valores de desnível, oriundos de ensaios em diferentes modelos ou vazões. Desta forma, os dados foram representados em diagramas de caixa (*box-plots*). Esta dispersão indica a variabilidade dos resultados, que serão discutidos adiante.

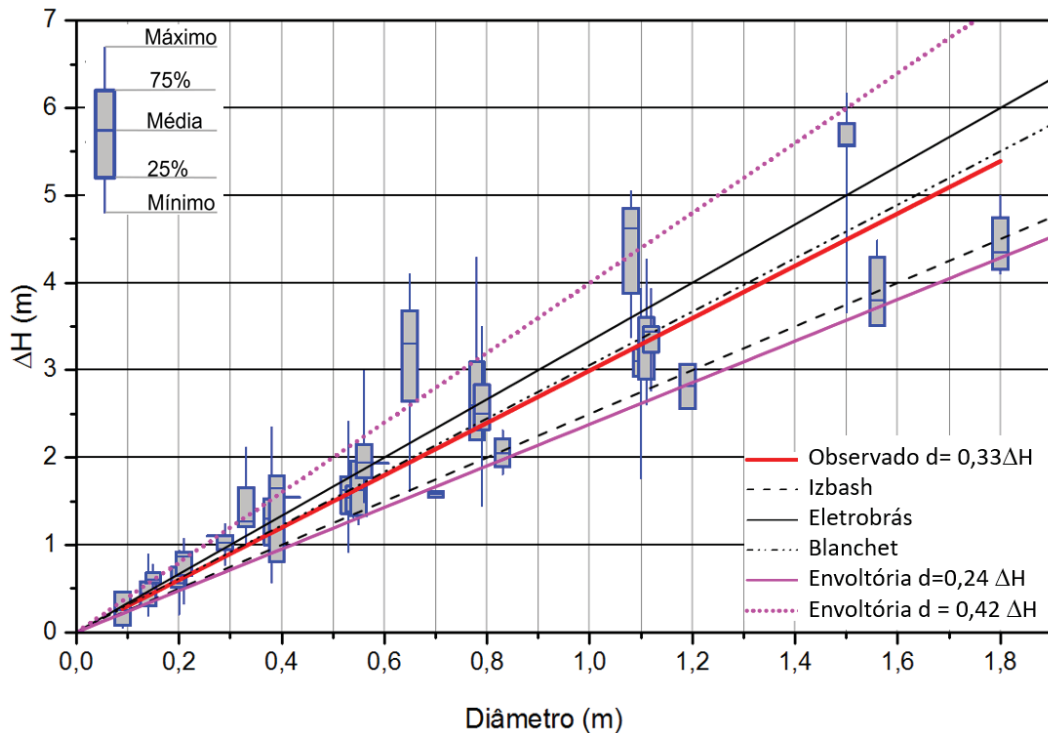


FIGURA 4.9 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBSERVADOS E AS RELAÇÕES TEÓRICAS MAIS UTILIZADAS

Tomando os valores superiores e inferiores para cada diâmetro, pode-se definir uma envoltória dos dados com a relação entre diâmetro médio e desnível variando entre 0,42 e 0,24, sendo que o ajuste a partir dos valores medianos do desnível para cada diâmetro resulta em

$$d = 0,33 \times \Delta H \quad (4.1)$$

Quando comparados, o resultado observado com os métodos clássicos de dimensionamento de blocos de enrocamento lançados em ponta de aterro, é possível identificar que os dados observados se aproximam das equações apresentadas por BLANCHET (1940) e ELETROBRÁS (2003), sendo a equação proposta por IZBASH (1936) conservadora em relação às demais e também próxima ao limite inferior dos dados. Isto é, o menor desnível para o mesmo diâmetro, ou o maior diâmetro para o mesmo desnível.

A equação $d = 0,33 \times \Delta H$ pode ser aplicada como uma estimativa para o dimensionamento dos blocos, porém não dispensa a realização de estudos em modelos reduzidos. Isto devido ao fato de que existem variações desta relação encontrada nos dados coletados (Figura 4.9).

Durante a realização dos ensaios elaborados para esta pesquisa, foi possível identificar que no momento do lançamento dos blocos de diâmetros grandes, ocorreu o deslizamento da camada inferior, esse fenômeno pode ser um elemento para explicar a dispersão dos dados coletados para os grandes diâmetros, induzindo a identificação do movimento incipiente com menores ΔH .

Os dados coletados também foram comparados como os resultados apresentados por NEIDERT e TOZZI (1986), conforme mostra a Figura 4.10. A velocidade medida durante os ensaios no momento de movimento incipiente foi associada ao diâmetro do bloco. As velocidades obtidas nos modelos reduzidos são pontuais, medidas com tubo de Pitot, na região de maior velocidade do talude da enseadeira. Nos métodos teóricos as velocidades consideradas são velocidades médias. Isso explica a dispersão dos valores encontrados nos modelos quando comparados com as retas dos métodos teóricos.

Os dados coletados para esta pesquisa estão coerentes com os demais modelos. Quando comparados com o protótipo do Comitê Internacional de Grandes Barragens (CIGB), assim como PEREIRA (2006) identifica, os resultados dos modelos subdimensionam os diâmetros. Alguns dados de modelo ficam maiores comparados ao Cubo Isolado. Isso acontece em casos em que o diâmetro é o primeiro a ser lançado, não tendo ainda uma superfície de repouso formada para que haja o apoio lateral do bloco.

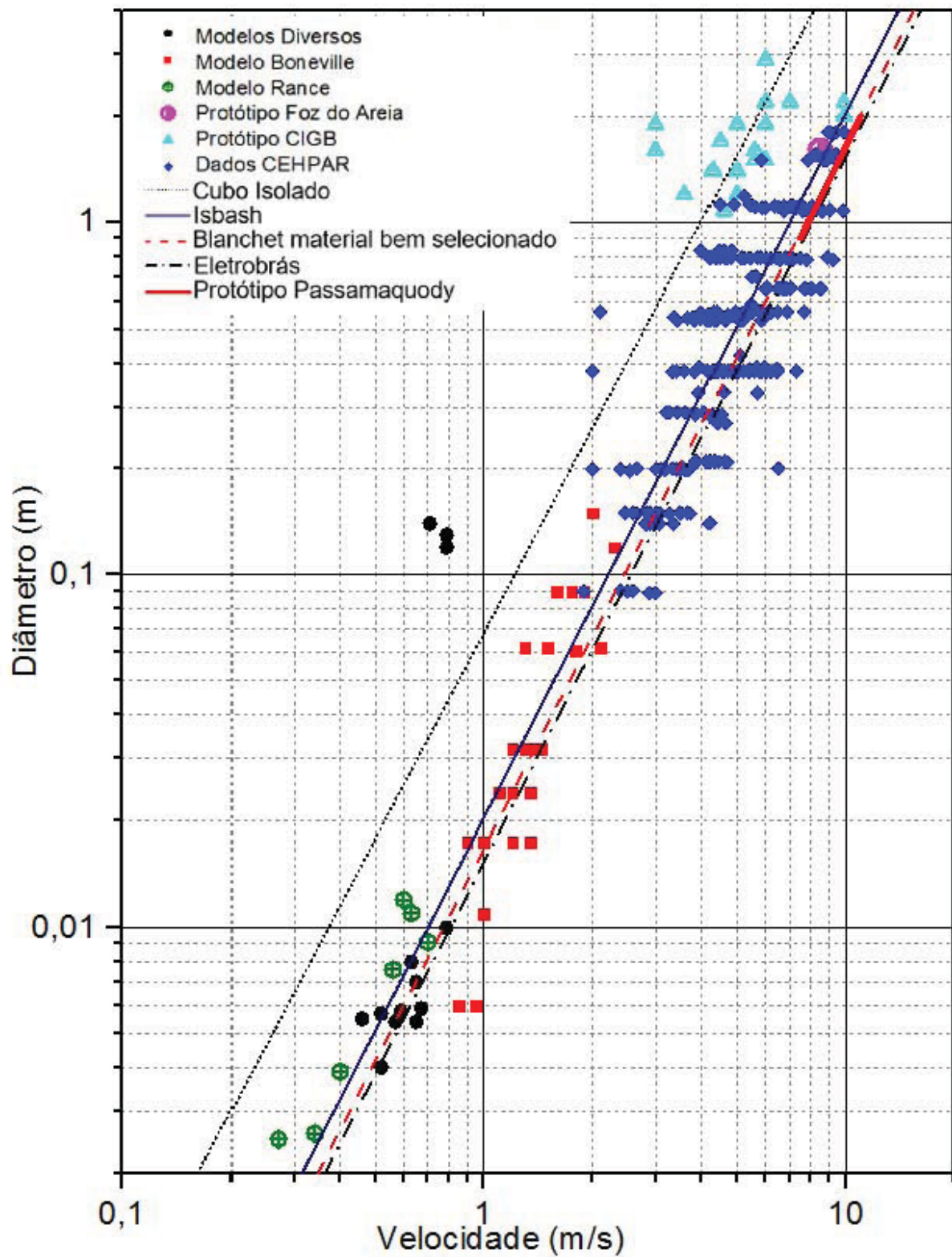


FIGURA 4.10 - VELOCIDADE X DIÂMETRO - COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBSERVADOS, RELAÇÕES TEÓRICAS E PROTÓTIPO

FONTE: ADAPTADO DE NEIDERT E TOZZI (1986)

4.2.2 Investigação de outros efeitos

A fim de investigar potenciais influências das características do escoamento e do projeto, que podem interferir nos resultados, foram avaliadas as relações com altura e largura da ensecadeira.

Para a comparação com estas características, foi utilizada a razão $d_{(estimado)}/d_{(real)}$, sendo $d_{(real)}$ o diâmetro médio dos blocos obtidos diretamente dos ensaios em laboratório e $d_{(estimado)}$ o diâmetro calculado a partir da expressão média obtida a partir destes ensaios ($d = 0,33 \times \Delta H$). Esta relação indica uma razão de estimativa da equação 4.1. Se este valor for superior a 1, indica superestimativa e inferior a 1, subestimativa. A altura da ensecadeira é indicador da dificuldade de fechamento do rio e também pode afetar a deposição dos blocos, em ensecadeiras mais altas o bloco fica exposto a uma melhor distribuição do perfil de velocidades do fluxo durante o seu processo de deposição no maciço, do que quando comparado com ensecadeiras mais baixas.

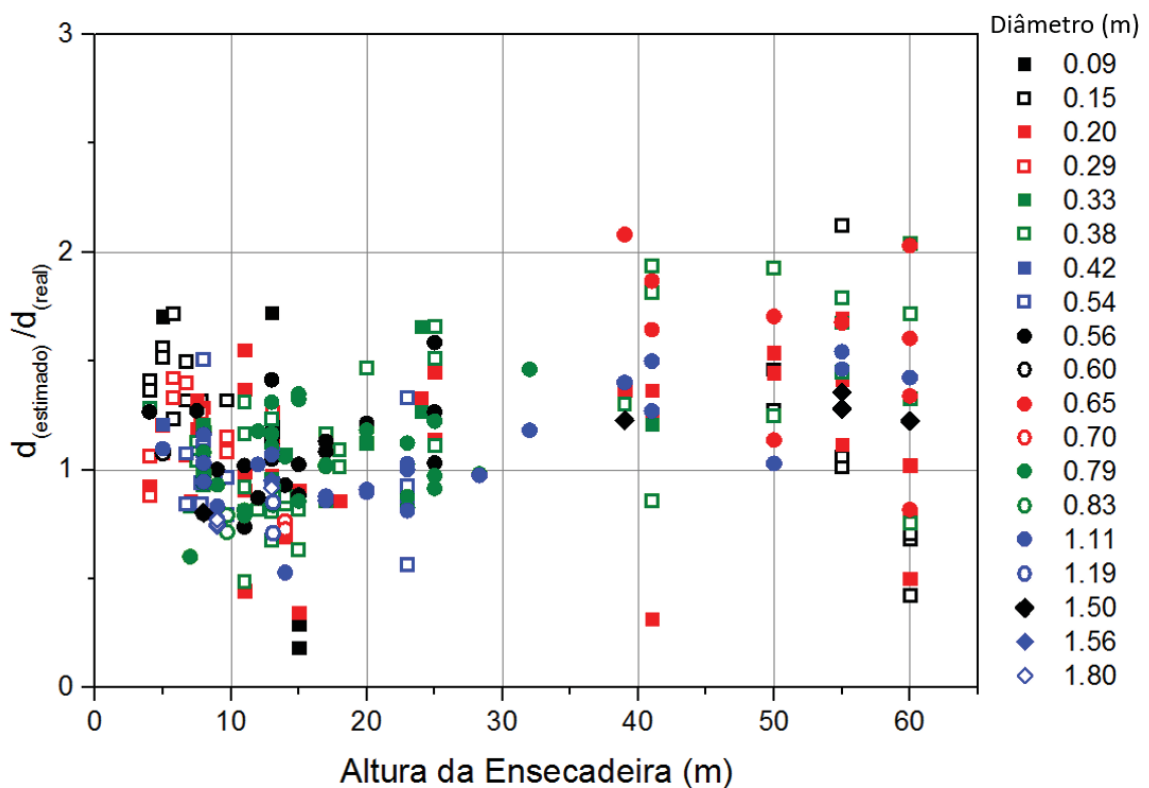


FIGURA 4.11 - DIÂMETRO ADIMENSIONALIZADO X ALTURA DA ENSECADDEIRA

A partir da Figura 4.11 identifica-se que, não é possível avaliar um efeito claro da altura da ensecadeira diretamente com o diâmetro lançado visto que há uma dispersão destes nas mais variadas alturas de ensecadeira. Encontra-se diâmetros pequenos de 0,15 m até diâmetros grandes de 1,50 m, em ensecadeiras com altura de 55 m e 60 m. O mesmo acontece com ensecadeiras com alturas menores.

A partir das evidências encontradas em DALMORA (2015), de que ensecadeiras com larguras maiores apresentam maior distribuição das velocidades, fez-se a comparação entre a razão de estimativa e a largura da ensecadeira, conforme apresenta a Figura 4.12.

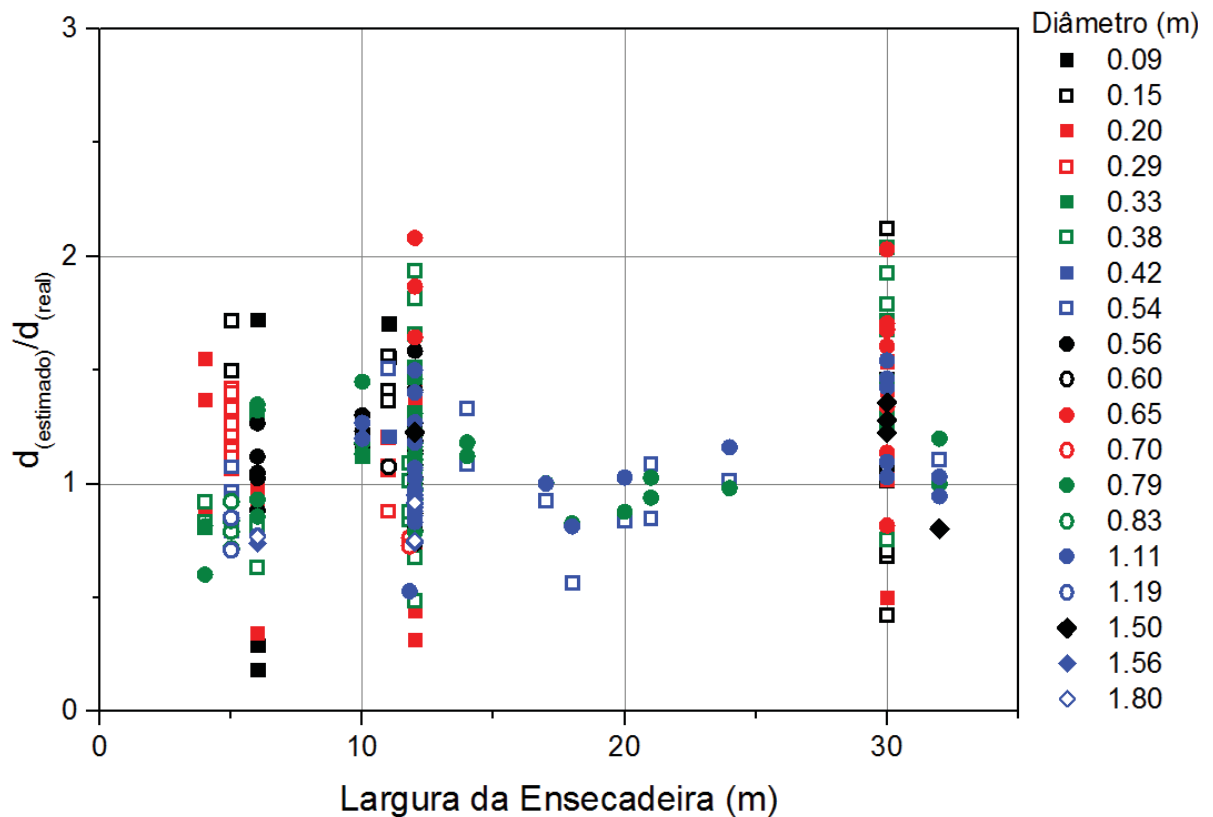


FIGURA 4.12 - DIÂMETRO ADIMENSIONALIZADO X LARGURA DA ENSECADEIRA

Na escala de modelo reduzido, a largura da ensecadeira não apresenta uma relação direta com o diâmetro dos blocos e mesmo com larguras grandes pode haver a necessidade de lançamento de diâmetros grandes.

5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa envolveu o agrupamento de dados experimentais de 15 modelos reduzidos e 64 ensaios de fechamento de rio, com objetivo de determinar uma relação entre o diâmetro dos blocos que devem ser lançados para efetuar o fechamento e os escoamentos de montante e de jusante durante um desvio de rio. As principais variáveis analisadas foram os parâmetros que definem relação entre ΔH (desnível entre montante e jusante) e diâmetro dos blocos lançados em ponta de aterro no limite de estabilidade. Como parte importante deste trabalho e para complementar aos dados coletados, em modelos convencionais, foi realizada uma série de ensaios de fechamento, em modelo de escala 1:70, com o objetivo de verificar o comportamento de diâmetros entre 0,56 m e 1,80 m.

A partir disto foi possível compilar os dados e obter uma equação média para a relação diâmetro do bloco versus desnível entre montante e jusante da ensecadeira, a equação encontrada é $d = 0,33 \times \Delta H$.

Identificou-se que a equação de IZBASH (1936) se ajusta com os ensaios que apresentam valores mínimos de ΔH e é mais conservador. A média dos dados coletados e observados se ajusta aproximadamente com BLANCHET (1946) material bem selecionado e também é aproximado ao critério da ELETROBRÁS (2003). De modo geral os modelos hidráulicos reduzidos estão consistentes com as referências apresentadas.

Os gráficos apresentados fornecem ao projetista faixa de variação de diâmetro e podem ser utilizados como elemento de análise de risco no fechamento.

A variação da relação diâmetro do bloco lançado versus desnível montante e jusante pode ser influenciada por diversos fatores, conforme identificado na revisão bibliográfica, como por exemplo, características topográficas do modelo reduzido, características geométricas da própria ensecadeira como altura e largura da crista, diâmetro do bloco e ângulo de repouso do mesmo, profundidade do rio e percepção do laboratorista do arraste, sendo que as variáveis consideradas foram a relação entre diâmetro e desnível, e tentou-se identificar a relação destes diâmetros com largura e altura da ensecadeira, mas para escala de modelo reduzido não foi encontrada foi evidenciada nenhuma relação.

Esta variação também ressalta a dificuldade de se aplicar os métodos teóricos em condições diferentes para as quais eles foram desenvolvidos, mostrando assim a grande importância que os ensaios em modelo reduzido têm no dimensionamento dos blocos lançados em ponta de aterro.

Indica-se para avaliação futura, a realização de ensaios em um único canal alterando as características de projeto como largura e altura da ensecadeira, para verificar as influências destas características no dimensionamento dos blocos e que não seja exclusivamente o ΔH .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANCHET, C. (março de 1946). Formation et destruction par un courant d'eau de massifs en pierres. **La Hoiulle Blanche**, 141-151.

BOUVARD, M. (1960). **Barrages mobiles et prises d'eau en rivière**. Paris, França: Eyrolles.

CARNEIRO, C. F. (1986). **Projeto HL-71. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Manso, relatório n.04: estudo do fechamento do rio**. Curitiba: CEHPAR.

CARVALHO, E. (2011). Experiência brasileira em desvios de grandes rios. Em **Palestra**. CBDB.

CARVALHO, E., MACHADO, B. P., KRÜGER, D. A., & MORITA, L. (2009). Experiência brasileira em desvio de grandes rios. Em **Desvio de grades rios brasileiro** (pp. 13-33). ICOLD.

CHOW, V. T. (1959). **Open-Channel Hydraulics**. McGraw-Hill Book Company.

CORSINI, R. (2011). Fundações e Contenções. **Infraestrutura Urbana - Projetos Custos e Construção** (11).

CURI, M. F. (1986). **Fechamento do rio e estruturas normalmente utilizadas para o desvio**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

DALMORA, C. T. (2015). **Construção de ensecadeiras em água corrente - Estudo da estabilidade do material lançado em ponta de aterro**. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

ELETROBRÁS. (2003). **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**.

FABIANI, A. L. (1989). **Projeto HL-74. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Ita, comunicação 03: estudo de fechamento do rio**. Curitiba: CEHPAR.

FRIEDRICH, M. F., & FABIANI, A. L. (2000). **Projeto HL-103. Estudo Hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Campos Novos, relatório nº06: estudos do estrangulamento e do fechamento do rio.** Curitiba: CEHAPR.

GRAF, W. H. (1970). **Hydraulics of Sediment.**

GUETTER, A. K. (1984). **Projeto HL-65. Estudo hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico do Xingó, relatório n. 01 - adendo01: estudo do desvio do rio - verificação do fechamento do rio.** Curitiba: CEHPAR.

GUETTER, A. K. (1989). **Projeto HL-65. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Xingo, relatório n. 01 - adendo 04: estudo do desvio - verificação do fechamento do rio com três cordões de avanço para vazões menores ou iguais a 2000m³/s.** Curitiba: CEHPAR.

HENDERSON, F. M. (1966). **Open Channel Flow.** Nova York: McMillan.

ICOLD, I. C. (1984). **River control during dam construction** (Vol. 48). Paris, França.

IZBASH, S. V. (1936). Construction of dams by depositing rock in running water. **International congress on large dams.** Washington D.C.: ICOLD.

IZBASH, S. V., & KHALDRE, K. Y. (1970). **Hydraulics of river channel closure.** Londres: Butterworth & Co.

LANE, E. W., & BORLAND, W. M. (1953). River bed scour during floods. **ASCE**, 69-89.

LU, H., HU, Z.-g., LU, G.-x., YE, J.-q., & Ren, J.-m. (6 de Abril de 2016). The hydraulic characteristics of end-dump closure with the assistance of back-water-sill in diversion channel. **Journal of Hydrodynamics**, pp. 886-896.

MOREIRA, J. O., ARAUJO, A. L., LUSTOSA, M. L., & GLEIZER, S. (Agosto de 1987). Segunda fase de desvio da UHE Balbina - Análise comparativa dos parâmetros hidráulicos principais. **XVII Seminário Nacional de Grandes Barragens - CIGB.**

NEIDERT, S. H. (1973). **Projeto HL-46. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico do rio Paraná, em Itaipu, comunicação n. 01: estudo do desvio do rio - projeto original.** Curitiba: CEHPAR.

NEIDERT, S. H. (1975). **Projeto HL-45. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de São Simão, relatório final; volume 1.** Curitiba: CEHPAR.

NEIDERT, S. H., & TOZZI, M. J. (1986). Considerações do material de ensecadeiras construídas em ponta de aterro. **Congresso Latino Americano de Hidráulica**, 3, pp. 416-425.

OLINGER, J. C. (1991). **Projeto HL-78. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Miranda, relatório n. 04: estudo do fechamento do rio - pré ensecadeiras "B" e "C".** 1991: CEHPAR.

OLINGER, J. C. (1995). **Projeto HL-87. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Salto Caxias, relatório n. 03: estudo da segunda fase do desvio - fechamento do rio.** Curitiba: CEHPAR.

OLINGER, J. C., & NEIDERT, S. H. (1974). **Projeto HL-46. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico do rio Paraná, em Itaipu, comunicação n. 06: simulação da operação de fechamento do rio (série de ensaios S-10).** Curitiba: CEHPAR.

OTA, J. J. (1994). **Projeto HL-85. Estudos hidráulicos em modelo reduzido das obras de derivação do rio Jordão, relatório n. 02: alternativa EFC - estudo do fechamento/ desvio do rio.** Curitiba: CEHPAR.

OTA, J. J., & NEIDERT, S. H. (1986). **Projeto HL-70. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Nova Ponte, relatório sucinto n. 01/86: resultado de testes de fechamento do rio.** 1986: CEHPAR.

PEREIRA, G. M. (2015). **Projeto de Usinas Hidrelétricas passo a passo.** São Paulo: Oficina de Textos.

PEREIRA, M. A. (agosto de 2006). Considerações sobre o Efeito de Escala no Dimensionamento do Material de Ensecadeiras Construídas em Ponta de Aterro. **Espaço Energia**, 4.

PINTO, N. L. (1977). **Contribuição ao Estudo das Barragens de Enrocamento Construídas em Água Corrente**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

POHV, P. H., OTA, J. J., & GROSZEWICZ, R. C. (2003). **Projeto HL-132a. Estudos hidráulicos em modelo reduzido da UHE Irapé, relatório n. 04: estudos de fechamento de rio**. Curitiba: CEHPAR.

ROCHA, G. d. (Fevereiro de 2006). **Desvio de rios para a construção de Barragens**. Dissertação, 224. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SANTO ANTÔNIO ENERGIA. (19 de Junho de 2011). **Slide Share**. Acesso em 12 de Maio de 2016, disponível em <http://slideplayer.com.br/slide/1234852/#>

SATTAR, A. M., KASSEM, A. A., & CHAUDHRY, M. H. (Novembro de 2008). Case Study: 17th Street Canal Breach Closure Procedures. **Journal of Hydraulic Engineering**, pp. 1547-1558.

SCHREIBER, G. P. (1977). **Usinas Hidrelétricas**. Edgar Blucher.

SIMÕES, A. L. (2008). **Considerações sobre a hidráulica de vertedores em degraus: metodologias adimensionais para pré-dimensionamento**. São Carlos: Dissertação - USP - Escola de Engenharia de São Carlos.

SOMBRA, E. (8 de Setembro de 2011). **Odebrecht Informa**. Acesso em 10 de Maio de 2016, disponível em <http://www.odebrechtonline.com.br/exclusivoonline/2011/09/08/um-desvio-para-aumentar-a-produtividade/>

TERABE, F. R. (1997). **Projeto HL-98. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Dona Francisca, relatório n. 03: estudo do fechamento das pré-ensecadeiras de desvio**. Curitiba: CEHPAR.

TERABE, F. R., OTA, J. J., & GROSZEWICZ, R. C. (2000). **Projeto HL-104. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Itapebi, relatório n. 06: estudo do fechamento do rio.** Curitiba: CEHPAR.

TERABE, F. R., OTA, J. J., & GROSZEWICZ, R. C. (2002). **Projeto HL-124. Estudos hidráulicos em modelo reduzido do aproveitamento hidrelétrico de Campos Novos, relatório n. 04: estudo do fechamento do rio.** Curitiba: CEHPAR.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – DADOS COLETADOS	78
APÊNDICE 2- DADOS COLETADOS APRESENTADOS DE FORMA GRÁFICA	94
APÊNDICE 3- RELAÇÃO ENTRE ΔH E PESO DOS BLOCOS NAS FASES DE LANÇAMENTO DE PONTA DE ATERRO (ICOLD 1984)	95
APÊNDICE 4- ENSAIO DESCONSIDERADO	97

APÊNDICE 1 – DADOS COLETADOS

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Canoas	1:100	600	12	13	Montante	0,38	1,10	4,80	390
Canoas	1:100	600	12	13	Montante	0,56	1,94	5,30	355
Canoas	1:100	600	12	13	Montante	0,79	2,79	6,20	300
Canoas	1:100	600	12	13	Montante	1,10	3,11	6,00	251
Canoas	1:100	600	12	13	Montante	0,38	1,42	5,20	367
Canoas	1:100	600	12	13	Montante	0,56	1,95	5,30	340
Canoas	1:100	600	12	13	Montante	0,79	2,65	5,40	285
Canoas	1:100	600	12	13	Montante	1,10	3,13	5,60	220
Canoas	1:100	1200	12	17	Montante	0,38	1,34	4,60	780
Canoas	1:100	1200	12	17	Montante	0,56	1,84	5,80	685
Canoas	1:100	1200	12	17	Montante	0,79	2,43	6,40	510
Canoas	1:100	1200	12	17	Montante	1,10	2,93	7,60	330
Canoas	1:100	1200	12	20	Jusante	0,38	1,69	5,80	759
Canoas	1:100	1200	12	20	Jusante	0,56	2,06	6,20	685
Canoas	1:100	1200	12	20	Jusante	0,79	2,70	6,40	510

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Canoas	1:100	1200	12	20	Jusante	1,10	3,03	7,30	330
Canoas	1:100	600	12	12	Montante	0,38	0,94	4,34	416
Canoas	1:100	600	12	12	Montante	0,56	1,48	4,95	383
Canoas	1:100	600	12	12	Montante	0,79	2,82	6,01	292
Canoas	1:100	600	12	12	Montante	1,11	3,45	6,37	252
Canoas	1:100	1200	12	17	Montante	0,38	0,99	4,51	740
Canoas	1:100	1200	12	17	Montante	0,56	1,92	5,75	638
Canoas	1:100	1200	12	17	Montante	0,79	2,45	6,59	488
Canoas	1:100	1200	12	17	Montante	1,11	2,89	6,72	444
Canoas	1:100	1200	12	20	Jusante	0,38	1,29	4,69	775
Canoas	1:100	1200	12	20	Jusante	0,56	2,02	5,18	638
Canoas	1:100	1200	12	20	Jusante	0,79	2,83	6,81	488
Canoas	1:100	200	12	20	Jusante	1,11	3,02	7,07	444
Jacuí	1:100	450	6	13	Montante	0,09	0,47	2,50	215
Jacuí	1:100	450	6	13	Montante	0,20	0,59	2,40	210
Jacuí	1:100	450	6	13	Montante	0,38	0,93	2,00	170
Jacuí	1:100	450	6	13	Montante	0,56	1,78	2,10	70
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,09	0,05	1,90	590

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,20	0,55	3,00	560
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,38	0,94	NC	510
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,56	1,74	4,40	380
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,79	2,05	4,80	300
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,09	0,08	2,40	620
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,20	0,21	2,40	610
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,38	0,73	4,40	560
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,56	1,50	4,00	480
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,79	3,23	4,40	130
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,09	0,08	2,60	620
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,20	0,21	2,40	610
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,38	0,73	4,40	560
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,56	1,50	4,00	480
Jacuí	1:100	1000	6	15	Montante	0,79	3,17	4,40	210
Jequitinhonha	1:100	200	10	NC	Montante	0,38	1,29	3,60	NC
Jequitinhonha	1:100	200	10	NC	Montante	0,56	2,21	4,00	NC
Jequitinhonha	1:100	200	10	NC	Montante	0,79	3,47	6,00	NC
Jequitinhonha	1:100	400	10	NC	Montante	0,38	1,31	4,20	NC

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Jequitinhonha	1:100	400	10	NC	Montante	0,56	1,99	4,30	NC
Jequitinhonha	1:100	400	10	NC	Montante	0,79	2,83	6,80	NC
Jequitinhonha	1:100	400	10	NC	Montante	1,11	4,27	7,60	NC
Jequitinhonha	1:100	400	10	NC	Montante	0,38	1,33	4,80	NC
Jequitinhonha	1:100	400	10	NC	Montante	0,56	2,09	5,40	NC
Jequitinhonha	1:100	400	10	NC	Montante	0,79	2,71	6,40	NC
Jequitinhonha	1:100	400	10	NC	Montante	1,11	4,03	7,00	NC
Uruguai	1:100	2000	32	8	Montante	0,53	1,63	4,31	1285
Uruguai	1:100	2000	32	8	Montante	0,79	2,39	4,48	1220
Uruguai	1:100	2000	32	8	Montante	1,12	3,21	4,48	1100
Uruguai	1:100	2000	32	8	Montante	1,50	3,65	5,84	940
Uruguai	1:100	2000	18	23	Jusante	0,53	0,91	4,14	1140
Uruguai	1:100	2000	18	23	Jusante	0,79	1,98	4,22	860
Uruguai	1:100	2000	18	23	Jusante	1,12	2,76	4,48	500
Uruguai	1:100	1500	17	23	Jusante	0,53	1,49	3,45	660
Uruguai	1:100	1500	17	23	Jusante	0,79	2,40	NC	490
Uruguai	1:100	1500	17	23	Jusante	1,12	3,40	4,48	290
Uruguai	1:100	1500	32	8	Montante	0,53	1,78	3,84	775

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Uruguai	1:100	1500	32	8	Montante	0,79	2,87	NC	500
Uruguai	1:100	1500	32	8	Montante	1,12	3,50	4,90	330
Uruguai	1:100	2000	24	8	Montante	0,53	1,63	5,07	1135
Uruguai	1:100	2000	24	8	Montante	0,79	2,35	5,15	950
Uruguai	1:100	2000	24	8	Montante	1,12	3,94	5,50	280
Uruguai	1:100	2000	20	23	Jusante	0,53	1,35	4,65	1070
Uruguai	1:100	2000	20	23	Jusante	0,79	2,10	4,69	950
Uruguai	1:100	2000	20	23	Jusante	1,12	3,49	5,41	280
Uruguai	1:100	1500	21	8	Montante	0,53	1,75	NC	785
Uruguai	1:100	1500	21	8	Montante	0,79	2,25	4,69	620
Uruguai	1:100	1500	21	23	Jusante	0,53	1,36	NC	785
Uruguai	1:100	1500	21	23	Jusante	0,79	2,46	5,24	310
Uruguai	1:100	1000	14	8	Montante	0,53	1,75	4,31	340
Uruguai	1:100	1000	14	8	Montante	0,79	2,83	4,65	185
Uruguai	1:100	1000	14	23	Jusante	0,53	2,14	4,22	185
Uruguai	1:100	1000	14	23	Jusante	0,79	2,69	4,38	140
Uruguai	1:100	500	11	8	Montante	0,53	2,42	4,39	220
Paraná	1:100	8000	30	50	Montante	0,14	0,54	2,84	5240

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Paraná	1:100	8000	30	50	Montante	0,21	0,98	4,36	4600
Paraná	1:100	8000	30	50	Montante	0,38	2,22	6,05	2740
Paraná	1:100	8000	30	50	Montante	0,65	3,36	6,67	1480
Paraná	1:100	8000	30	5	Montante	1,08	3,59	6,74	1200
Paraná	1:100	5000	30	50	Montante	0,14	0,62	2,95	3150
Paraná	1:100	5000	30	50	Montante	0,21	0,92	4,23	3130
Paraná	1:100	5000	30	50	Montante	0,38	1,44	5,73	3022
Paraná	1:100	5000	30	50	Montante	0,65	2,24	6,48	2650
Paraná	1:100	5000	30	50	Montante	1,08	3,37	6,72	2550
Paraná	1:100	8000	30	60	Jusante	0,14	0,29	3,06	5570
Paraná	1:100	8000	30	60	Jusante	0,21	0,32	3,89	4660
Paraná	1:100	8000	30	60	Jusante	0,38	0,87	5,57	2355
Paraná	1:100	8000	30	60	Jusante	0,65	1,61	6,04	755
Paraná	1:100	5000	30	60	Jusante	0,14	0,18	2,90	3240
Paraná	1:100	5000	30	60	Jusante	0,21	0,65	4,45	3130
Paraná	1:100	5000	30	60	Jusante	0,38	1,98	6,45	1740
Paraná	1:100	5000	30	60	Jusante	0,65	3,16	6,02	530
Paraná	1:100	8000	30	60	Jusante	0,14	0,30	2,81	6110

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Paraná	1:100	8000	30	60	Jusante	0,21	0,50	3,86	5770
Paraná	1:100	8000	30	60	Jusante	0,38	1,53	6,01	5390
Paraná	1:100	8000	30	60	Jusante	0,65	2,64	7,01	4090
Paraná	1:100	5000	30	55	Jusante	0,14	0,43	3,37	4580
Paraná	1:100	5000	30	55	Jusante	0,21	0,71	4,68	4490
Paraná	1:100	5000	30	55	Jusante	0,38	1,93	6,41	4100
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	0,14	0,45	NC	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	0,21	1,08	NC	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	0,38	1,67	NC	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	0,65	3,30	NC	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	1,08	4,79	7,72	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	1,50	5,82	7,83	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	0,14	0,90	NC	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	0,21	0,90	NC	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	0,38	2,06	5,85	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	0,65	3,31	7,70	NC
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	1,08	5,05	8,63	7675
Paraná	1:100	8000	30	55	Montante	1,50	6,17	9,43	7275

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Paraná	1:100	8000	30	60	Montante	0,38	2,35	6,48	6070
Paraná	1:100	8000	30	60	Montante	0,65	4,00	7,70	5230
Paraná	1:100	8000	30	60	Montante	1,08	4,66	8,58	4830
Paraná	1:100	8000	30	60	Montante	1,50	5,57	8,67	4280
Jequitinhonha	1:100	550	6	4	Montante	0,38	1,48	NC	220
Jequitinhonha	1:100	550	6	4	Montante	0,56	2,15	NC	135
Manso	1:75	60	5	6	Montante	0,15	0,56	2,89	NC
Manso	1:75	60	5	6	Montante	0,29	1,25	3,28	NC
Manso	1:75	60	5	6	Montante	0,15	0,78	3,08	NC
Manso	1:75	60	5	6	Montante	0,29	1,17	3,28	NC
Manso	1:75	100	5	7	Montante	0,15	0,68	2,89	NC
Manso	1:75	100	5	7	Montante	0,29	1,23	3,28	NC
Manso	1:75	100	5	7	Montante	0,54	1,76	3,67	NC
Manso	1:75	100	5	7	Montante	0,15	0,60	2,46	NC
Manso	1:75	100	5	7	Montante	0,29	0,94	3,22	NC
Manso	1:75	100	5	7	Montante	0,54	1,38	3,37	NC
Manso	1:75	200	5	8	Montante	0,15	0,59	2,84	NC
Manso	1:75	200	5	8	Montante	0,29	1,07	3,60	NC

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Manso	1:75	200	5	8	Montante	0,54	1,38	3,98	NC
Manso	1:75	200	5	8	Montante	0,15	0,60	2,66	NC
Manso	1:75	200	5	8	Montante	0,29	1,11	3,46	NC
Manso	1:75	200	5	8	Montante	0,54	1,54	4,00	NC
Manso	1:75	400	5	10	Montante	0,15	0,50	3,01	NC
Manso	1:75	400	5	10	Montante	0,29	0,95	3,62	NC
Manso	1:75	400	5	10	Montante	0,54	1,30	3,81	NC
Manso	1:75	400	5	10	Montante	0,83	1,80	4,00	NC
Manso	1:75	400	5	10	Montante	0,15	0,60	2,85	NC
Manso	1:75	400	5	10	Montante	0,29	1,01	3,62	NC
Manso	1:75	400	5	10	Montante	0,54	1,58	4,00	NC
Manso	1:75	400	5	10	Montante	0,83	1,99	4,58	NC
Manso	1:75	800	5	13	Montante	0,15	0,53	3,28	NC
Manso	1:75	800	5	13	Montante	0,29	1,11	4,06	NC
Manso	1:75	800	5	13	Montante	0,54	1,76	4,45	NC
Manso	1:75	800	5	13	Montante	0,83	2,32	4,84	NC
Manso	1:75	800	5	13	Montante	1,19	3,07	5,23	NC
Manso	1:75	800	5	13	Montante	0,15	0,56	2,59	NC

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Manso	1:75	800	5	13	Montante	0,29	0,98	3,86	NC
Manso	1:75	800	5	13	Montante	0,54	1,53	4,06	NC
Manso	1:75	800	5	13	Montante	0,83	2,11	4,45	NC
Manso	1:75	800	5	13	Montante	1,19	2,56	5,23	NC
Araguari	1:100	250	12	11	Montante	0,20	0,60	3,34	142
Araguari	1:100	250	12	11	Montante	0,38	1,34	4,19	89
Araguari	1:100	250	12	8	Jusante	0,20	0,72	3,42	142
Araguari	1:100	250	12	8	Jusante	0,38	1,30	5,04	89
Araguari	1:100	450	12	11	Montante	0,20	0,55	3,34	257
Araguari	1:100	450	12	11	Montante	0,38	1,51	4,87	222
Araguari	1:100	450	12	11	Montante	0,55	1,70	4,70	155
Araguari	1:100	450	12	8	Jusante	0,20	0,80	3,09	257
Araguari	1:100	450	12	8	Jusante	0,38	1,20	3,84	222
Araguari	1:100	450	12	8	Jusante	0,55	2,12	4,87	155
Araguari	1:100	650	12	14	Montante	0,20	0,42	3,17	428
Araguari	1:100	650	12	14	Montante	0,38	1,23	4,44	395
Araguari	1:100	650	12	14	Montante	0,55	1,55	4,87	363
Araguari	1:100	650	12	14	Montante	0,79	2,54	5,80	266

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Araguari	1:100	650	12	8	Jusante	0,20	0,70	NC	428
Araguari	1:100	650	12	8	Jusante	0,38	1,07	4,27	395
Araguari	1:100	650	12	8	Jusante	0,55	1,33	4,70	363
Araguari	1:100	650	12	8	Jusante	0,79	2,32	5,46	266
Araguari	1:100	250	12	8	Jusante	0,20	0,78	3,34	136
Araguari	1:100	250	12	8	Jusante	0,38	1,39	4,61	136
Araguari	1:100	250	12	8	Jusante	0,55	1,96	5,04	121
Araguari	1:100	250	12	8	Jusante	0,79	2,59	5,12	74
Araguari	1:100	250	12	11	Montante	0,20	0,27	2,66	142
Araguari	1:100	250	12	11	Montante	0,38	0,56	3,34	144
Araguari	1:100	250	12	11	Montante	0,55	1,23	4,19	140
Araguari	1:100	250	12	11	Montante	0,79	1,89	4,36	97
Araguari	1:100	330	12	14	Montante	0,20	0,51	NC	249
Araguari	1:100	330	12	14	Montante	0,38	0,97	NC	230
Araguari	1:100	330	12	14	Montante	0,70	1,62	NC	182
Araguari	1:100	330	12	18	Jusante	0,20	0,52	NC	227
Araguari	1:100	330	12	18	Jusante	0,38	1,26	NC	206
Araguari	1:100	470	12	14	Montante	0,20	0,51	NC	352

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Araguari	1:100	470	12	14	Montante	0,38	1,01	NC	335
Araguari	1:100	470	12	14	Montante	0,70	1,54	NC	286
Araguari	1:100	470	12	14	Montante	1,10	1,76	NC	230
Araguari	1:100	470	12	18	Jusante	0,20	0,52	NC	328
Araguari	1:100	470	12	18	Jusante	0,38	1,17	NC	315
Jordão	1:100	100	11	4	Montante	0,15	0,64	NC	NC
Jordão	1:100	100	11	4	Montante	0,29	0,92	NC	NC
Jordão	1:100	200	11	4	Montante	0,15	0,62	NC	NC
Jordão	1:100	200	11	4	Montante	0,29	0,76	NC	NC
Jordão	1:100	100	11	5	Montante	0,09	0,42	NC	73
Jordão	1:100	100	11	5	Montante	0,15	0,71	NC	70
Jordão	1:100	100	11	5	Montante	0,29	0,93	NC	60
Jordão	1:100	200	11	5	Montante	0,09	0,46	NC	146
Jordão	1:100	200	11	5	Montante	0,15	0,69	NC	137
Jordão	1:100	200	11	5	Montante	0,29	1,04	NC	130
Jordão	1:100	200	11	5	Montante	0,42	1,54	5,10	109
Jordão	1:100	200	11	5	Montante	0,59	1,93	5,47	72
Iguaçu	1:100	1200	4	11	Montante	0,20	0,83	3,59	710

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Iguaçu	1:100	1200	4	11	Montante	0,38	0,93	3,59	665
Iguaçu	1:100	1200	4	11	Montante	0,79	1,95	4,61	490
Iguaçu	1:100	1200	4	11	Montante	0,20	0,94	3,51	705
Iguaçu	1:100	1200	4	11	Montante	0,38	1,06	3,59	670
Iguaçu	1:100	1200	4	4	Jusante	0,20	0,56	2,01	705
Iguaçu	1:100	1200	4	7	Cordão	0,20	0,52	NC	490
Iguaçu	1:100	1200	4	7	Cordão	0,38	0,96	3,42	490
Iguaçu	1:100	1200	4	7	Cordão	0,79	1,44	4,61	475
Parnaíba	1:100	5000	12	24	Montante	0,20	0,80	2,55	3610
Parnaíba	1:100	5000	12	24	Montante	0,33	1,27	3,95	2450
Parnaíba	1:100	5000	12	24	Montante	0,33	1,66	NC	2130
Parnaíba	1:100	5000	12	41	Jusante	0,20	0,19	3,65	2230
Parnaíba	1:100	5000	12	41	Jusante	0,33	1,21	4,60	2135
Parnaíba	1:100	3000	12	39	Jusante	0,21	0,87	4,30	4215
Parnaíba	1:100	3000	12	39	Jusante	0,39	1,52	5,40	4020
Parnaíba	1:100	3000	12	39	Jusante	0,65	4,10	6,87	3550
Parnaíba	1:100	3000	12	39	Jusante	1,08	4,59	7,60	3330
Parnaíba	1:100	3000	12	39	Jusante	1,50	5,58	8,84	3820

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
Parnaíba	1:100	2000	12	41	Jusante	0,21	0,78	4,20	1380
Parnaíba	1:100	2000	12	41	Jusante	0,39	2,26	6,45	1110
Parnaíba	1:100	2000	12	41	Jusante	0,65	3,68	NC	820
Parnaíba	1:100	2000	12	41	Jusante	1,08	4,16	NC	705
Parnaíba	1:100	2000	12	41	Jusante	0,39	2,12	5,95	1092
Parnaíba	1:100	2000	12	41	Jusante	0,65	3,24	6,70	905
Parnaíba	1:100	2000	12	41	Jusante	1,08	4,91	NC	570
Parnaíba	1:100	2000	12	41	Jusante	0,21	0,87	4,15	950
Parnaíba	1:100	2000	12	41	Jusante	0,39	1,00	NC	890
São Francisco	1:100	NC	12	32	Montante	0,79	3,50	6,00	3590
São Francisco	1:100	NC	12	32	Montante	1,10	3,94	6,00	2970
São Francisco	1:100	NC	12	28	Jusante	0,79	2,35	5,70	3590
São Francisco	1:100	NC	12	28	Jusante	1,10	3,25	6,50	3080
São Francisco	1:100	2000	12	25	Montante	0,20	0,88	6,50	2000
São Francisco	1:100	2000	12	25	Montante	0,38	1,74	5,80	2000
São Francisco	1:100	2000	12	25	Montante	0,56	2,69	5,50	1724
São Francisco	1:100	2000	12	25	Montante	0,79	2,93	7,10	1518
São Francisco	1:100	1500	12	25	Montante	0,20	0,69	3,50	1500

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
São Francisco	1:100	1500	12	25	Montante	0,38	1,91	6,20	1500
São Francisco	1:100	1500	12	25	Montante	0,56	2,15	5,30	1500
São Francisco	1:100	1500	12	25	Montante	0,79	2,33	8,90	1500
São Francisco	1:100	1000	12	25	Montante	0,38	1,28	7,30	1000
São Francisco	1:100	1000	12	25	Montante	0,56	1,75	NC	1000
São Francisco	1:100	1000	12	25	Montante	0,79	2,19	6,90	1000
---	1:70	400	6	7	Montante	0,27	1,00	NC	NC
---	1:70	400	6	7	Montante	0,39	1,80	NC	NC
---	1:70	400	6	7	Montante	0,56	3,00	NC	NC
---	1:70	600	6	9	Montante	0,27	1,10	NC	NC
---	1:70	600	6	9	Montante	0,39	1,65	NC	NC
---	1:70	600	6	9	Montante	0,56	3,00	NC	NC
---	1:70	600	6	9	Montante	0,78	4,30	NC	NC
---	1:70	850	12	13	Montante	0,39	0,80	NC	NC
---	1:70	850	12	13	Montante	0,56	2,40	NC	NC
---	1:70	850	12	13	Montante	0,78	3,10	NC	NC
---	1:70	850	12	13	Montante	1,11	3,60	NC	NC
---	1:70	850	12	13	Montante	1,56	4,50	NC	NC

Rio	Escala do modelo	Vazão do ensaio (m ³ /s)	Largura da Ensecadeira (m)	Altura da Ensecadeira (m)	Posição	Diâmetro (m)	ΔH (m)	Velocidade medida (m/s)	Vazão pela ensecadeira (m ³ /s)
---	1:70	850	12	13	Montante	1,80	5,00	NC	NC
---	1:70	850	12	9	Montante	0,56	1,70	NC	NC
---	1:70	850	12	9	Montante	0,78	2,20	NC	NC
---	1:70	850	12	9	Montante	1,11	2,80	NC	NC
---	1:70	850	12	9	Montante	1,56	3,50	NC	NC
---	1:70	850	12	9	Montante	1,80	4,10	NC	NC
---	1:70	850	6	9	Montante	0,56	1,90	NC	NC
---	1:70	850	6	9	Montante	0,78	2,20	NC	NC
---	1:70	850	6	9	Montante	1,11	2,60	NC	NC
---	1:70	850	6	9	Montante	1,56	3,50	NC	NC
---	1:70	850	6	9	Montante	1,80	4,20	NC	NC

Obs.:

1 – Os dados desta tabela encontram-se apresentados no Apêndice 2 de forma gráfica.2 – Todos os testes apresentados possuem a característica de serem obtidos em condições limites de estabilidade do material. Os testes que não atingiram o limite, foram desconsiderados a “priori”.

APÊNDICE 2- DADOS COLETADOS APRESENTADOS DE FORMA GRÁFICA

Este Apêndice 2 apresenta graficamente os dados coletados em modelos reduzidos apresentados em forma tabular no Apêndice 1.

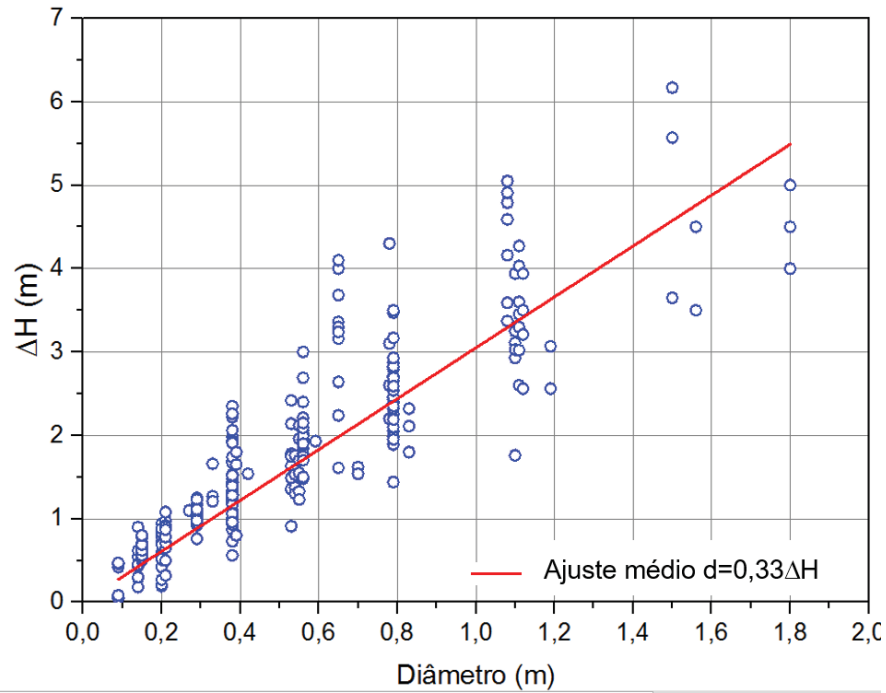


FIGURA A.1 – RELAÇÃO DIÂMETRO X ΔH DOS DADOS OBSERVADOS

APÊNDICE 3- RELAÇÃO ENTRE ΔH E PESO DOS BLOCOS NAS FASES DE LANÇAMENTO DE PONTA DE ATERRO (ICOLD, 1984)

TABELA A.1 - PESO UNITÁRIO DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4)

FONTE: ICOLD (1984)

Desnível ΔH (m)	Primeira Fase		Última Fase	
	Peso para águas profundas (> 3 vezes o ΔH)	Peso para baixa profundidade (< 2 vezes ΔH)	Peso para alto índice de perda de material aceitável	Peso para quando perdas de material não são aceitáveis
0,50	2-10 kg	-	10 kg	100 kg
1,00	60 kg	0,5 – 1 t	120 kg	0,5 -1 t
2,00	500 kg	5 – 10 t	1 t	5 -10 t
3,00	2 t	-	4 t	20 t
4,00	-	-	8 t	50 t

TABELA A.2 - PESO UNITÁRIO DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4 E 2,7)

FONTE: ICOLD (1984)

Desnível ΔH (m)	Primeira Fase		Última Fase	
	Peso para águas profundas (> 3 vezes o ΔH)	Peso para baixa profundidade (< 2 vezes ΔH)	Peso para alto índice de perda de material aceitável	Peso para quando perdas de material não são aceitáveis
0,5	1 – 5 kg	-	3 – 10 kg	70 kg
1,00	40 kg	0,3 – 0,7 t	80 kg	0,5 t
2,00	350 kg	5 – 10 t	700 kg	4 t
3,00	1,5t	-	3 t	20 t / Concreto
4,00		Concreto	8 t / Concreto	50 t / Concreto

TABELA A.3 - DIÂMETROS EQUIVALENTES DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4)
 FONTE: ADAPTADO DE ICOLD (1984)

Desnível ΔH (m)	Primeira Fase		Última Fase	
	Diâmetro para águas profundas (> 3 vezes o ΔH) (m)	Diâmetro para baixa profundidade (< 2 vezes ΔH) (m)	Diâmetro para alto índice de perda de material aceitável (m)	Diâmetro para quando perdas de material não são aceitáveis (m)
0,50	0,12-0,20	-	0,20	0,43
1,00	0,60	0,74 - 0,93	0,46	0,74 - 0,93
2,00	0,74	1,58 - 2,00	0,93	1,58 - 2,00
3,00	0,83	-	1,47	2,52
4,00	-	-	1,85	3,41

TABELA A.4 - DIÂMETROS EQUIVALENTES DE BLOCOS PARA MÉTODO DE LANÇAMENTO EM PONTA DE ATERRO (DENSIDADE 2,4 E 2,7)
 FONTE: ADAPTADO DE ICOLD (1984)

Desnível ΔH (m)	Primeira Fase		Última Fase	
	Diâmetro para águas profundas (> 3 vezes o ΔH) (m)	Diâmetro para baixa profundidade (< 2 vezes ΔH) (m)	Diâmetro para alto índice de perda de material aceitável (m)	Diâmetro para quando perdas de material não são aceitáveis (m)
0,50	0,09 - 0,15	-	0,13 - 0,19	0,37
1,00	0,30	0,60 - 0,79	0,38	0,71
2,00	0,63	1,52 - 1,92	0,79	1,41
3,00	1,02	-	1,29	2,52
4,00		Concreto	1,85	3,41

APÊNDICE 4- ENSAIO DESCONSIDERADO

Este ensaio foi desconsiderado, e não constam nos resultados apresentados nos Apêndices 1 e 2, pois foi realizado com a largura da crista da ensecadeira variável, não sendo assim possível relacioná-lo com os critérios avaliados na pesquisa.

O ensaio foi realizado com ritmo de lançamento em protótipo de $600\text{m}^3/\text{h}$ e largura de crista inicial de 12m chegando no final do lançamento a 8m de largura. A altura da ensecadeira é de 10m e a vazão de $850\text{m}^3/\text{s}$. Iniciou-se o lançamento com material de 0,56m de diâmetro e o maior diâmetro lançado foi de 1,80m.

A Figura A.2 mostra a configuração final da ensecadeira.



FIGURA A.2 - CONFIGURAÇÃO DE LANÇAMENTO EFETUADO NO ENSAIO 04

A relações encontradas durante a realização deste ensaio são apresentadas na Tabela A.5.

TABELA A.5 – DADOS OBTIDOS A PARTIR DO ENSAIO

Diâmetro (m)	0,56	0,78	1,11	1,56	1,80
ΔH (m)	1,90	2,60	3,30	4,10	4,50