

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

UTILIZAÇÃO DE VERTEDORES TIPO LABIRINTO EM PEQUENOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS

Adriano Moreira de Oliveira

Orientadora: Prof^a. Dra. Ana Inés Borri Genovez

Dissertação de Mestrado apresentada à
Comissão de pós-graduação da Faculdade de
Engenharia Civil da Universidade Estadual de
Campinas, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil, na área de concentração de Recursos
Hídricos.

Campinas, SP
2004

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese	
Prof. Dr.	17/05/04
Matrícula	054721

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	T/UNICAMP
	OL4u
V	EX
TOMBO BC/	59563
PROC.	16-P-117104
C	☐
D	☒
PREÇO	11,00
DATA	14/09/2004
Nº CPD	

Bib Id 321394

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

OL4u Oliveira, Adriano Moreira de
Utilização de vertedores tipo labirinto em pequenos aproveitamentos hidrelétricos / Adriano Moreira de Oliveira. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Ana Inés Borri Genovez.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Vertedores. 2. Usinas hidrelétrica. 3. Barragens açudes. I. Borri Genovez, Ana Inés. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**UTILIZAÇÃO DE
VERTEDORES TIPO LABIRINTO
EM PEQUENOS APROVEITAMENTOS
HIDRELÉTRICOS**

Adriano Moreira de Oliveira

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

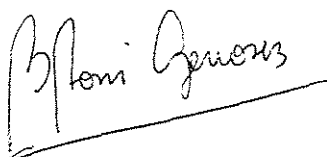
Campinas
2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

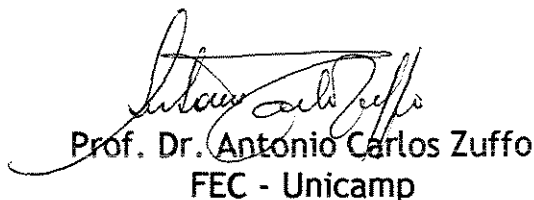
**UTILIZAÇÃO DE
VERTEDORES TIPO LABIRINTO
EM PEQUENOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS**

Adriano Moreira de Oliveira

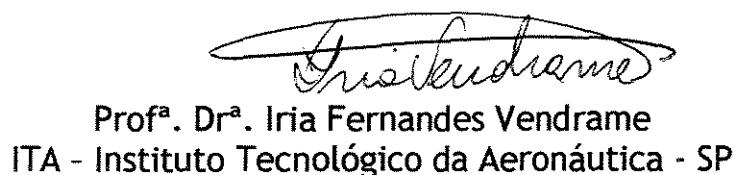
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof^a. Dr^a. Ana Inés Borri Genovez
Presidente e Orientadora - FEC - Unicamp



Prof. Dr. Antonio Carlos Zuffo
FEC - Unicamp



Prof^a. Dr^a. Iria Fernandes Vendrame
ITA - Instituto Tecnológico da Aeronáutica - SP

Campinas, 18 de fevereiro de 2004

Dedicatória

Aos meus pais pelo incentivo, e à minha esposa Aline, pela paciência, carinho e apoio em todos os momentos.

*" A satisfação está no esforço, e não
apenas na realização final."*
Mahatma Gandhi - 1869-1948

Agradecimentos

À minha orientadora Prof^a. Ana Inés pelo seu apoio, incentivo e sua amizade durante o decorrer da pesquisa.

Aos funcionários da Unicamp e aos professores das disciplinas que cursei: Prof. Bonilha, Prof. José Geraldo, Prof. Abel, Prof. Dirceu, Prof. Evaldo, Prof. Koelle, Prof^a. Eglé e Prof. Zuffo.

Ao diretor do Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas, Eng^o Cícero Machado de Moraes, pelo apoio e permissão na utilização dos dados da Usina Hidrelétrica Antas I. Ao Eng^o. Ronaldo Oliveira Garcia, ao Eng^o. Flávio José de Azevedo pelos dados e pelo auxílio nos cálculos energéticos e à secretária da diretoria do DME Eliane Tramonte, pela ajuda na formatação e correção ortográfica dos textos.

Ao diretor da empresa Hydros Engenharia Ltda, Eng^o. Hideaki Ussami, pelo incentivo e fornecimento de dados.

Ao amigo Carlos Silvério, pelo apoio e atenção. A Sra. Sheilly C. Contente, da COELBA, pelo fornecimento dos dados da Usina Hidrelétrica de Alto Fêneas. Ao Prof. Afonso Henriques, da UNIFEI, pela atenção e incentivo.

E a Deus que tornou tudo isso possível.

Sumário

Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas.....	xix
Lista de Abreviaturas e Símbolos.....	xxiii
Resumo.....	xxix
Abstract.....	xxxí
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 VISÃO GERAL DOS VERTEDORES.....	5
3.1 Nomenclatura e Classificação.....	5
3.2 Vertedores nas Barragens.....	7
3.3 A Escolha de um Vertedor.....	8
3.4 Componentes de um Vertedor.....	10
3.5 Tipos de Vertedores em Barragens.....	12
4 VERTEDORES TIPO LABIRINTO - CRITÉRIOS DE PROJETO.....	19
4.1 Revisão Bibliográfica.....	19

4.2	Considerações Finais.....	67
5	ESTUDO DE CASO.....	69
5.1	Introdução.....	69
5.2	Metodologia.....	72
5.3	Características do Projeto Original - Alternativa A.....	80
5.4	Procedimento de Cálculo.....	85
6	RESULTADOS E ANÁLISES.....	87
6.1	Dimensionamento do Vertedor Labirinto - Alternativa B.....	87
6.2	Dimensionamento do Vertedor Labirinto - Alternativa C.....	106
6.3	Comparação das Alternativas.....	134
7	CONCLUSÕES.....	135
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

Lista de Figuras

Figura 3.1	Desenho esquemático de um vertedor.....	6
Figura 3.2	Desenho artístico de um vertedor tipo soleira livre.....	13
Figura 3.3	Desenho esquemático de vertedor soleira normal.....	13
Figura 3.4	Desenho artístico de um vertedor tipo canal lateral com descarga para um lado.....	14
Figura 3.5	Vertedor tipo canal de descarga com dissipação em forma de degraus.	15
Figura 3.6	Desenho artístico de um vertedor tipo tulipa.....	16
Figura 3.7	Desenho esquemático de um vertedor tipo sifão.....	17
Figura 3.8	Desenho esquemático de um vertedor tipo soleira dentada.....	17
Figura 4.1	Forma esquemática de um vertedor labirinto trapezoidal.....	20
Figura 4.2	Plantas dos modelos estudados por Hay e Taylor	20
Figura 4.3	Gráficos para determinação da relação Q_L/Q_N	22

Figura 4.4	Planta baixa da Barragem Hyrum com a disposição do vertedor existente e do vertedor auxiliar com soleira labirinto.....	23
Figura 4.5	Plantas baixas dos modelos reduzidos testados.....	24
Figura 4.6	Foto do modelo final com a lâmina colada devido ao baixo escoamento	25
Figura 4.7	Foto do modelo final com um pilar inserido para aeração da lâmina....	25
Figura 4.8	Desenho com as dimensões recomendadas para o vertedor labirinto da Barragem de Hyrum.....	26
Figura 4.9	Ábaco proposto por Magalhães.....	28
Figura 4.10	Tipos de vertedores que procuram aumentar a crista de escoamento apresentados por Afshar.....	30
Figura 4.11	Curvas para vertedores labirinto triangulares e trapezoidais apresentadas por Afshar.....	33
Figura 4.12	Curvas para vertedores labirinto triangulares e trapezoidais apresentadas por Lux.....	34
Figura 4.13	Gráfico de descargas para os testes dos vertedores.....	38
Figura 4.14	Desenho da Barragem South Heart com vertedor labirinto disposto	

em 3 ciclos.....	39
Figura 4.15 Projeto final do vertedor labirinto com 2 ciclos.....	42
Figura 4.16 Perfil de uma barragem comum e em labirinto para o caso da Barragem Ciwadas, na Indonésia.....	43
Figura 4.17 Planta do vertedor em labirinto da Barragem Ciwadas.....	43
Figura 4.18 Coeficiente de descarga para vertedores retilíneos.....	46
Figura 4.19 Disposição e detalhes de um vertedor labirinto.....	47
Figura 4.20 Coeficiente de descarga para vertedores labirinto.....	49
Figura 4.21 Vertedor de um ciclo do estudo de Melo, Ramos e Magalhães.....	52
Figura 4.22 Variação do parâmetro de convergência dos muros.....	53
Figura 4.23 Formas de perfis de cristas usadas em vertedores labirinto.....	54
Figura 4.24 Definição das condições de escoamento para o perfil meia-lua.....	55
Figura 4.25 Coeficiente de descarga para perfil meia circunferência.....	56
Figura 4.26 Perfil em arco ou tipo WES.....	57
Figura 4.27 Coeficiente de descarga para perfil em arco ou tipo WES.....	57
Figura 4.28 Interferência das lâminas estudada por Indlekofer e Rouvé.....	58

Figura 4.29	Ondas supercríticas do modelo vertedor de Boardman.....	60
Figura 4.30	Canal de descarga do modelo do vertedor da Barragem UTE.....	60
Figura 4.31	Vertedor de Boardman.....	61
Figura 4.32	Aplicação de pilares aeradores no vertedor de Flamingo.....	62
Figura 4.33	Ábaco para dimensionamento da quantidade de ar para aeração de vertedores.....	63
Figura 4.34	Altura dos sedimentos à montante do vertedor.....	64
Figura 4.35	Croqui com a geometria sugerida por Falvey para um vertedor labirinto trapezoidal.....	66
Figura 5.1	Implantação geral da UHE Antas I - Projeto Original.....	71
Figura 5.2	Disposição dos vertedores da UHE Antas I - Alternativa A.....	83
Figura 5.3	Disposição dos vertedores da UHE Antas I - Alternativa A - Cortes.....	84
Figura 6.1	Disposição dos vertedores da UHE Antas I - Alternativa B.....	104
Figura 6.2	Detalhes do vertedor complementar em labirinto - Alternativa B.....	105
Figura 6.3	Disposição dos vertedores da UHE Antas I - Alternativa C.....	132
Figura 6.4	Detalhes do vertedor complementar em labirinto - Alternativa C.....	133

Lista de Tabelas

Tabela 4.1	Características de vertedores labirinto construídos até 1983.....	27
Tabela 4.2	Barragens que possuem vertedores labirinto dimensionados pelo método de Hay e Taylor.....	35
Tabela 4.3	Parâmetros de algumas barragens que possuem vertedores labirinto....	37
Tabela 4.4	Parâmetros dos testes dos vertedores.....	41
Tabela 4.5	Planilha de cálculo para vertedores labirinto.....	44
Tabela 4.6	Planilha com exemplo do procedimento de cálculo para vertedores labirinto apresentado por Tullis.....	50
Tabela 4.7	Variação dos parâmetros do vertedor para vários valores do ângulo α ..	51
Tabela 4.8	Variação dos parâmetros do vertedor para vários valores do número de ciclos.....	51
Tabela 4.9	Vertedores labirinto mencionados pela literatura.....	65

Tabela 4.10	Vertedores labirinto não mencionados pela literatura.....	65
Tabela 6.1	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1170,44 ($H_0=1,76$ m-perda)...	88
Tabela 6.2	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1170,54 ($H_0=1,66$ m-perda)...	89
Tabela 6.3	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1170,64 ($H_0=1,56$ m-perda)...	90
Tabela 6.4	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1170,74 ($H_0=1,46$ m-perda)...	91
Tabela 6.5	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1170,84 ($H_0=1,36$ m-perda)...	92
Tabela 6.6	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1170,94 ($H_0=1,26$ m-perda)...	93
Tabela 6.7	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1171,04 ($H_0=1,16$ m-perda)...	94
Tabela 6.8	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1171,14 ($H_0=1,06$ m-perda)...	95
Tabela 6.9	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1171,24 ($H_0=0,96$ m-perda)...	96
Tabela 6.10	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1171,23 ($H_0=0,97$ m-perda)...	97
Tabela 6.11	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1171,22 ($H_0=0,98$ m-perda)...	98
Tabela 6.12	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1171,21 ($H_0=0,99$ m-perda)...	99
Tabela 6.13	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1171,20 ($H_0=1,00$ m-perda)...	100
Tabela 6.14	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1171,19 ($H_0=1,01$ m-perda)...	101
Tabela 6.15	Planilha com resultados - Alt. B - EL cr = 1171,18 ($H_0=1,02$ m-perda)...	102

Tabela 6.16 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,00 m.....	108
Tabela 6.17 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,15 m.....	109
Tabela 6.18 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,30 m.....	110
Tabela 6.19 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,45 m.....	111
Tabela 6.20 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,60 m.....	112
Tabela 6.21 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,75 m.....	113
Tabela 6.22 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,90 m.....	114
Tabela 6.23 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1169,05 m.....	115
Tabela 6.24 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1169,20 m.....	116
Tabela 6.25 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1169,10 m.....	117
Tabela 6.26 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1169,11 m.....	118
Tabela 6.27 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1169,12 m.....	119
Tabela 6.28 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,89 m.....	121
Tabela 6.29 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,88 m.....	122
Tabela 6.30 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,87 m.....	123
Tabela 6.31 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,86 m.....	124

Tabela 6.32 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,85 m.....	125
Tabela 6.33 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,84 m.....	126
Tabela 6.34 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,83 m.....	127
Tabela 6.35 Planilha com resultados - Alt. C - EL f=1168,82 m.....	128
Tabela 6.36 Comparação entre os custos de execução para o vertedor complementar em labirinto.....	129
Tabela 6.37 Comparação das quantidades, custos de execução, energia gerada, receita anual e período de amortização para as 3 alternativas de vertedor da barragem da UHE Antas I.....	134

Lista de Abreviaturas e Símbolos

α	ângulo entre as paredes do vertedor labirinto;
$\alpha_{\text{máx}}$	ângulo máximo entre as paredes do vertedor labirinto;
β	ângulo de aproximação do escoamento em relação ao eixo do vertedor;
ε	performance do vertedor labirinto;
η	rendimento geral das turbinas;
μ_w	coeficiente de descarga de Darvas;
θ	ângulo de inclinação dos muros laterais em relação ao fluxo;
a	metade da largura do vértice de um vertedor labirinto (m);
A	largura interna dos vértices de um vertedor labirinto (m);
A_f	área de fôrmas (m ²);
A_r	peso da armadura (ton);
b	largura de um vertedor retilíneo de parede delgada (m);

B	comprimento da parede do vertedor labirinto paralelo ao fluxo (m);
C	coeficiente de descarga para o perfil padrão WES;
C_L	coeficiente de descarga de Tacail, Evans e Babb;
C_w	coeficiente de descarga de Hay e Taylor;
D	largura externa do vértice de um vertedor labirinto (m);
e, t, t_w	espessura da parede do vertedor (m);
el	cota da crista do vertedor (m);
EL cr	cota da crista do vertedor labirinto (m);
EL f	cota do fundo da barragem (m);
En	energia gerada anualmente (MWh);
Fb	altura da borda livre (m);
Fc	fator de carga da usina;
g	aceleração da gravidade (m/s^2);
h	carga em altura d'água sobre a soleira de um vertedor (m);
H_0	altura da lâmina d'água sobre a soleira do vertedor, descontada a perda na entrada (m);

H_d, H_t	altura total da lâmina d'água sobre soleira do vertedor (m);
k	constante utilizada por Lux e Hinchiliff;
$k\theta$	parâmetro corretivo para incluir o efeito da convergência dos muros do canal;
l	comprimento total da crista de cada módulo de um vertedor labirinto (m);
L	largura da soleira (m);
L_1	comprimento da parede do vertedor labirinto (m);
L_2	comprimento efetivo da parede do vertedor labirinto (m);
L_3	comprimento total das paredes do vertedor labirinto (m);
L_{de}	comprimento de interferência das lâminas d'água (m);
N	número de ciclos;
$NA_{\text{máx}}$	nível máximo no reservatório (m);
P, p	altura da parede do vertedor (m);
P'	altura do nível da água na restituição (m);
P_e	peso específico da água (lbf/pés^3);
P_i	potência disponível (kW);

q	vazão no vertedor ($\text{pés}^3/\text{s}$);
q _a	vazão de aeração ($\text{pés}^3/\text{s}$);
Q	vazão máxima requerida (m^3/s);
Q _L	vazão em um vertedor labirinto (m^3/s);
Q _N	vazão em um vertedor retilíneo (m^3/s);
Q _t	vazão total das turbinas (m^3/s);
res	nível máximo no reservatório (m);
R, R _c	raio de curvatura do arredondamento da crista do vertedor labirinto (m);
RA	receita anual (R\$);
S	área para admissão de ar para um vertedor (pés^2);
TR	tempo de recorrência (anos);
T _s	espessura da base do vertedor (m);
V	velocidade (m/s);
V _{cb}	volume de concreto da base (m^3);
V _{cl}	volume de concreto dos muros laterais (m^3);
V _{cp}	volume de concreto da paredes do vertedor (m^3);

V_t	volume de concreto total (m^3);
V_{cv}	volume de concreto das paredes de vedação (m^3);
w	largura de cada módulo de um vertedor labirinto (m);
W	largura total de um vertedor labirinto (m);
W_L	largura para um vertedor retilíneo (m);
X, Y	coordenadas para traçado do perfil padrão WES (m);
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica;
DME	Departamento Municipal de Eletricidade;
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Lisboa
UHE	usina hidrelétrica;
UWRL	Utah Water Research Laboratory;
WES	Waterways Experiment Station;
cm	unidade de comprimento;
kW	unidade de potência elétrica;
m	unidade de comprimento;
m^2	unidade de área;

m^3	unidade de volume;
mm	unidade de comprimento;
m^3/s	unidade de vazão;
pés	unidade de comprimento;
$pés^2$	unidade de área;
$pés^3/s$	unidade de vazão;
ton	unidade de massa;

Resumo

OLIVEIRA, Adriano Moreira de. **Utilização de Vertedores Labirinto em Pequenos Aproveitamentos Hidrelétricos**. 2004. 139 páginas. Dissertação - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas.

Os vertedores são estruturas relativamente simples e de grande importância prática. São utilizados em diversas obras hidráulicas, medindo ou controlando a vazão em escoamento por um canal ou sobre uma barragem. Um vertedor do tipo labirinto apresenta um maior desenvolvimento de sua crista vertente do que um vertedor retilíneo, por se caracterizar de uma estrutura poligonal, com uma geometria em planta, em forma triangular ou trapezoidal, disposta repetidamente lado a lado na forma de ciclos. Proporciona assim uma menor ocupação de área na barragem, reduzindo a sua dimensão. Nas pequenas centrais hidrelétricas, o vertedor da barragem representa uma parcela significativa no custo total da obra, e o vertedor tipo labirinto aparece como uma alternativa para a redução dos custos das estruturas. De acordo com a bibliografia existente, serão apresentados parâmetros para o seu dimensionamento hidráulico, e através do estudo de caso da Usina Hidrelétrica Antas I em Poços de Caldas - MG, por meio de um comparativo de custo e eficiência com um vertedor retilíneo tipo Creager, serão demonstradas suas vantagens de uso, tanto por sua economia nos volumes de escavação quanto pelo aumento na receita de geração da usina. Como conclusão deste estudo, a alternativa mais vantajosa é a utilização de um vertedor principal com soleira retilínea e um vertedor auxiliar tipo labirinto.

Palavras-Chave: Vertedores, usinas hidrelétricas, barragens e açudes.

Abstract

OLIVEIRA, Adriano Moreira de. Utilization of Labyrinth Spillways in Small Hydroelectric Projects. 2004. 139 pages. Dissertation thesis - Civil Engineering, Architecture and Urbanism School, State University of Campinas, Campinas.

The spillways are relatively simple structures of great practical importance. They are employed in several hydraulic projects, measuring or controlling the drainage flow through a channel or over a dam. One labyrinth-type spillway presents a higher development of its declivity crest than a common spillway, because it is characterized by a polygonal structure with triangular or trapezoid site geometry, arranged side by side repeatedly in a cycle. In this way, it offers a smaller occupation of the dam area, reducing its dimension. In small hydroelectric power plants, the dam spillway represents a significant portion in the total cost of the project, and the labyrinth-type spillway is an alternative for the reduction of cost of the structure. According to the existing literature, some parameters for its hydraulic dimensions will be presented. The study of the Antas I Hydroelectric Power Plant in Poços de Caldas - MG - Brasil, will be performed and some advantages of its use will be demonstrated by comparison of cost and efficiency to a Creager type rectilinear spillway, both according to its economy regarding excavation volumes and according to the increase in generation of electricity of the hydroelectric power plant. This study concludes that the most advantageous solution is the use of a main spillway with rectilinear sill and one auxiliary spillway of the labyrinth type.

Key words: spillways, hydroelectric power plants, barrages and dams.

1 INTRODUÇÃO

Os vertedores podem ser definidos como simples aberturas ou entalhes sobre os quais um líquido escoar. São estruturas relativamente simples, mas de grande importância prática devido a sua utilização em numerosas construções hidráulicas, como sistemas de irrigação, estações de tratamento de água e esgotos, medição de vazão em córregos, barragens, etc.

A escolha correta de um vertedor é fator de extrema importância para uma barragem. Os tipos de componentes e suas combinações são desenvolvidos para atender o projeto e as condições geológicas e hidrológicas da região.

Um procedimento sistemático deve ser usado para a seleção de um vertedor, a fim de satisfazer todos os critérios pré-estabelecidos, adequando sua vida útil e sua capacidade de descarga ao escoamento, compatibilizando o vertedor com o tipo de barragem, utilizando efetivamente a topografia e geologia do local, e adotando uma instalação da forma mais econômica possível.

O projetista deve dar atenção especial também no item segurança durante a elaboração do sistema funcional, procurando alta confiabilidade operacional e segurança estrutural durante escoamentos máximos, e avaliando os riscos para as áreas a jusante da barragem.

Em grande parte das obras hidráulicas, como nos aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte, a geometria e a dimensão do vertedor são

responsáveis por razoável parcela do custo total da obra. E na maioria dos casos, o vertedor ocupa boa parte da área construída da barragem, pois a altura da lâmina líquida sobre a soleira fica limitada a benfeitorias existentes a montante do barramento (construções, estradas, pontes, etc.), e sendo assim, a largura efetiva do vertedor passa a ser a variável adequada à descarga prevista no vertedor.

Porém, em alguns casos, por razões topográficas ou geológicas, o local para implantação do barramento impossibilita a execução de vertedores com grandes larguras. Baseado neste fato, tentando reduzir suas dimensões e simplificando sua construção, mas sem diminuir o nível de segurança, surge o vertedor do tipo Labirinto, que se caracteriza por apresentar em planta uma soleira cuja crista se desenvolve em forma poligonal disposta em ciclos, apresentando por conseqüência, um maior desenvolvimento de crista que um vertedor retilíneo comum.

Tem como vantagem o uso como vertedores de serviço ou emergência em reservatórios cuja elevação do nível da água é restrita, mas deve permitir, com segurança, a passagem de grandes descargas. Outra vantagem é a utilização em locais com condicionamentos de espaço. Porém, devido a sua geometria, não há a possibilidade da colocação de comportas para o controle de cheias.

Com estudos datados de 1854, os vertedores labirinto foram utilizados em diversas barragens na Europa e Estados Unidos. No Brasil sua utilização ainda é bem restrita, com algumas citações na bibliografia sem muitos dados técnicos. Como exemplo tem-se a Usina Hidrelétrica de Alto Fêmeas, situada no Rio das Fêmeas, na Bahia, inaugurada em 1992. Com altura da parede de 5,50 m e largura de 51,30 (139,20 m desenvolvida), permite a passagem de uma vazão decamilenar de 192 m³/s.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo apresentar os critérios de projeto para o dimensionamento hidráulico de vertedores do tipo labirinto, de acordo com a bibliografia existente, e efetuar o dimensionamento deste tipo de vertedor para a barragem da Ampliação da Usina Hidrelétrica Engº Pedro Affonso Junqueira - UHE Antas I em Poços de Caldas (concessão do Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas).

3 VISÃO GERAL DOS VERTEDORES

Os vertedores, vertedouros ou extravasores podem ser definidos como simples paredes, diques, entalhes ou aberturas sobre os quais um líquido escoar, ou ainda, um obstáculo à passagem da corrente d'água. São utilizados para medir, controlar ou permitir o escoamento de uma vazão por um canal ou barragem.

Outra definição, como sugere **Porto (2001)**, é de que se trata, basicamente, de um orifício de grandes dimensões no qual foi suprimida a aresta do topo, logo, a parte superior da veia líquida, na passagem pela estrutura, faz-se em contato com a pressão atmosférica. O mesmo autor comenta a elevação do nível da água a montante até uma cota suficiente para produzir uma lâmina sobre o obstáculo, compatível com a vazão descarregada. A lâmina líquida descarregada, adquirindo velocidade, provoca um processo de convergência vertical dos filetes, situando-se abaixo da superfície livre da região não perturbada de montante.

3.1 Nomenclatura e Classificação

Segundo **Porto (2001)**, de acordo com a Figura 3.1, as principais partes constituintes de um vertedor são:

- Crista ou soleira - parte superior da parede em que há contato com a lâmina vertente. Se este contato se limitar a uma aresta biselada, o vertedor é de parede delgada. Se o contato ocorre em um comprimento apreciável da parede, o vertedor é de parede espessa;

- Carga h sobre a soleira - diferença entre o nível da soleira e a cota do nível d'água a montante do vertedor, a uma distância superior a seis vezes a carga h , onde geralmente, a depressão da lâmina é desprezível;
- Altura P do vertedor - diferença entre as cotas de fundo do canal de chegada e a soleira; e,
- Largura L da soleira - dimensão da soleira onde ocorre o escoamento.

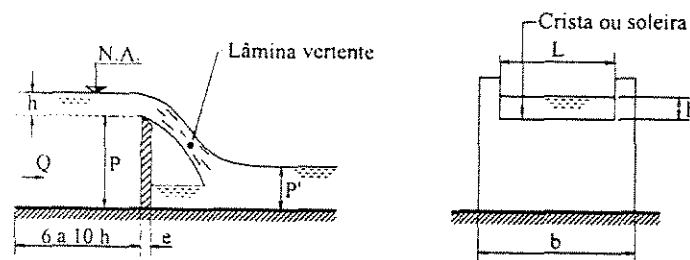


Figura 3.1 - Desenho esquemático de um vertedor, segundo Porto (2001)

Ainda o mesmo autor apresenta, de diversas maneiras, a classificação dos vertedores:

- Quanto à forma geométrica da abertura: retangulares, triangulares, trapezoidais, circulares, parabólicos;
- Quanto à altura relativa da soleira: descarga livre se $P > P'$ (mais usados) e descarga submersa se $P < P'$, em que P' é altura d'água na restituição;
- Quanto à natureza da parede: parede delgada se a espessura da parede for inferior a dois terços da carga, $e < (2/3)h$, e de parede espessa caso contrário, $e > (2/3)h$;
- Quanto à largura relativa da soleira: sem contrações laterais se a largura da soleira for igual à largura do canal de chegada, $L=b$, e com contrações

laterais se a largura da soleira for inferior à largura do canal de chegada, $L < b$;

- Quanto à natureza da lâmina: lâmina livre se a região abaixo da lâmina for suficientemente arejada (pressão atmosférica), lâmina deprimida se a pressão abaixo da lâmina for inferior à pressão atmosférica e lâmina aderente quando não há bolsa de ar abaixo da lâmina e esta adere no paramento de jusante, sem porém, ser afogada;
- Quanto à inclinação do paramento da estrutura: pode ser vertical ou inclinado; e,
- Quanto à geometria da crista: retilínea, circular e poligonal ou em labirinto, que será objeto deste estudo.

3.2 Vertedores nas Barragens

Segundo U. S. Bureau of Reclamation (1987), em obras projetadas para o controle de vazões, como nos aproveitamentos hidrelétricos, os vertedores são projetados para limitar o nível d'água a montante do barramento e permitir o escoamento do excesso de água do reservatório.

A segurança deve ser um fator de extremo critério durante o projeto de um vertedor: muitos dos colapsos ocorridos em barragens são causados pelo desenho impróprio do vertedor ou pela sua capacidade insuficiente frente a um escoamento máximo. Por isso, durante a fase de projeto, todas as variáveis para o seu dimensionamento devem ser consideradas, pois se o vertedor não cumprir a sua finalidade, a barragem poderá ser galgada e a sua estabilidade ficará comprometida, podendo eventualmente verificar-se o seu colapso. Capacidade de escoamento ampla, como exemplo, é um fator importantíssimo para as barragens de terra e/ou

enrocamento, pois poderiam ser destruídas no caso de um galgamento.

Segundo U. S. Bureau of Reclamation (1987), uma enchente em um canal, córrego ou rio sem obstrução é considerado um evento natural onde nenhuma pessoa ou grupo é responsável. Contudo, quando um barramento é inserido em um canal ou rio, os projetistas têm de assegurar que esta estrutura não oferecerá riscos aos empreendimentos a jusante, ou assumir, de fato, a responsabilidade por falhas de sua operação ou de sua construção. A perda da estrutura e de sua função, e muitas ocasionadas por estas falhas também devem ser consideradas.

Se os danos causados, no caso de uma falha, atingirem somente a estrutura do barramento, muitos projetistas preferem acreditar na improbabilidade de ocorrer uma cheia extrema ao invés de investir em sua segurança, porém, se estes danos atingirem interesses econômicos e principalmente vidas humanas, uma atitude mais conservadora é que deve ser tomada, priorizando sempre o fator segurança.

Além de garantir segurança a jusante e capacidade suficiente, os vertedores devem ser adequados hidráulica e estruturalmente, estando localizados de forma a não permitir erosão ou solapamento do pé da barragem. A superfície do vertedor deve ser resistente à erosão devido ao escoamento em alta velocidade do fluxo da água. Geralmente, se faz necessária a presença de dissipadores de energia no final do vertedor.

3.3 A Escolha de um Vertedor

De acordo com Jansen (1988), para se determinar a melhor combinação entre a capacidade de armazenamento do reservatório e a capacidade do vertedor em acomodar a enchente máxima, todos os fatores pertinentes a hidrologia, hidráulica, disposição das estruturas e equipamentos, custos e segurança que compõem o projeto da estrutura devem ser considerados ainda:

- as características das enchentes da bacia hidrográfica;
- os prejuízos que seriam causados por uma enchente com e sem a barragem;
- os prejuízos que seriam causados com uma falha do vertedor;
- os efeitos de falhas em barragens e vertedores a montante e a jusante do barramento em estudo;
- os custos para um acréscimo na capacidade do vertedor; e,
- a associação de equipamentos com o tipo de vertedor (comportas de superfície).

As características do escoamento de um vertedor dependem do tipo do dispositivo selecionado para o controle da descarga que pode ser na forma de uma barragem com extravasor de superfície, um orifício ou através de uma tubulação. Tais dispositivos podem ser equipados com comportas ou válvulas para a regulação da vazão.

Após a escolha do dispositivo de controle do vertedor e de seu procedimento para dimensionamento, através de combinações, podem ser estimados a sua capacidade máxima e o nível máximo do reservatório. Este procedimento possibilita a seleção de um tipo econômico de vertedor, e uma boa relação entre capacidade do vertedor e altura da barragem. Outros componentes do vertedor podem ser agregados conforme a necessidade e condições específicas do local, e uma disposição completa do vertedor já poderá ser estabelecida.

Quando as condições do local são favoráveis, existe a possibilidade de uso de um vertedor auxiliar com um pequeno vertedor de serviço. Este último é projetado

para vazões freqüentes e um vertedor auxiliar operaria somente se estas vazões fossem excedidas. Uma condição favorável para a adoção de um vertedor auxiliar seria a existência de uma depressão do terreno ao longo de uma das margens do reservatório, formando um leito natural, onde a escavação de um canal possibilitaria o escoamento da cheia para o outro lado da represa, evitando a possibilidade de danos à estrutura. Por não ser usado freqüentemente, o vertedor auxiliar não necessita ser projetado com o mesmo nível de segurança das outras estruturas, porém, não deverá permitir falhas, pois seu rompimento liberaria grandes vazões do reservatório.

No auxílio às descargas, **Jansen (1988)** comenta que uma outra opção é o vertedor de emergência, construído para acrescentar uma segurança emergencial não contemplada no vertedor de serviço. Geralmente sua crista de controle é colocada em um nível superior ao nível máximo do reservatório, e sua superfície não é tão resistente à erosão quanto o vertedor de serviço ou auxiliar, visto que será usado somente em um caso excepcional.

3.4 Componentes de um Vertedor

Jansen (1988) cita também que a disposição de um vertedor deve ser elaborada considerando os vários fatores que influenciarão seu tamanho e seu tipo, e a relação com as alternativas dos componentes selecionados.

Após seu dimensionamento hidráulico e a determinação das características da cheia de projeto, suas dimensões gerais podem ser selecionadas, e um vertedor específico já pode ser desenhado, considerando as condições topográficas e geológicas do local.

A adoção de um determinado tamanho ou arranjo de um vertedor pode influenciar na seleção de outros componentes. Como exemplo, uma grande estrutura de controle posicionada no centro de uma barragem exigiria um meio de transição

muito longo até um canal ou túnel de descarga. A melhor alternativa, neste caso, seria a adoção de arranjo com um canal lateral. Por outro lado, um vertedor pode ser parte integrante da barragem, como é o caso de um barramento em concreto, ou ainda, uma estrutura totalmente separada. Portanto, a localização, o tipo e o tamanho dos acessórios podem influenciar na localização e no projeto do vertedor em um barramento. O arranjo final será orientado pela economia, eficiência hidráulica e boa adequação estrutural de todos os seus componentes.

Os componentes básicos de um vertedor, segundo **Jansen (1988)**, podem ser descritos como:

- a. Canal de Entrada ou de Aproximação - conduz o escoamento da água do reservatório até a estrutura de controle. É utilizado em barragens de terra ou enrocamento, onde a estrutura de controle é posicionada fora do corpo da barragem.
- b. Estrutura de Controle - é o principal componente de um vertedor, e é o responsável pela regulação do escoamento de um reservatório. Um dispositivo de controle, que pode ser uma soleira, orifício ou uma tubulação, limita ou previne escoamentos abaixo de um determinado nível do reservatório e, ao mesmo tempo, regula escoamentos que estiverem acima daquele nível. Esta estrutura pode ser de diversas formas e posições. Em planta, no caso de um vertedor com soleira, a crista de escoamento pode ser reta, curva, semicircular, em forma poligonal (labirinto), ou circular.
- c. Canal de Descarga - permite a transferência do escoamento da estrutura de controle para jusante do barramento, sem oferecer riscos à estrutura. Seu dimensionamento é governado primeiramente pelas necessidades hidráulicas, mas seu perfil, largura, comprimento, etc., são influenciados

diretamente pelas características geológicas e topográficas do local.

- d. Estrutura de Dissipação de Energia - é responsável pela dissipação da energia do escoamento em altas velocidades. Este escoamento, se desgovernado, pode provocar grandes erosões, chegando até o colapso do barramento. Pode ser na forma de obstáculos no fluxo da água, ressaltos hidráulicos, entre outros.

3.5 Tipos de Vertedores em Barragens

Segundo U. S. Bureau of Reclamation (1987), os vertedores são classificados de acordo com sua característica mais proeminente, ou que pertença ao sistema de controle. São ainda referenciados como controlados ou sem controle, dependendo da existência de comportas ou não. A seguir serão apresentados, de forma resumida, os tipos mais comuns de vertedores de barragens com suas características principais:

- a. Vertedor de soleira retilínea, borda livre ou descarga livre - caracteriza-se pelo escoamento do fluxo excedente do reservatório, diretamente pela crista, que possui a face de jusante quase na vertical. O escoamento pode se estender por toda a crista ou apenas por uma seção estreita. A descarga vertente deve ser suficientemente ventilada a fim de se prevenir vibrações na estrutura do barramento, provocadas por colamentos e descolamentos sucessivos da lâmina. De fácil e simples construção, é bastante utilizado em pequenos represamentos. Vide figura 3.2.
- b. Vertedor de soleira normal, tipo extravasor, soleira padrão WES (Waterways Experiment Station) ou Soleira Creager - segundo Porto (2001), a idéia básica no projeto de uma soleira espessa que seja hidrodinâmica é desenhá-la seguindo a forma tomada pela face inferior de uma lâmina vertente que sai de um vertedor retangular, de parede

delgada, sem contrações e bem arejada. Esta forma pode ser estudada teoricamente desprezando-se os efeitos da viscosidade e tensão superficial, através dos princípios da balística e equações da cinemática. A soleira espessa de um descarregador é dita normal, para uma determinada vazão, se o perfil é tal que se verifica a pressão atmosférica local ao longo da soleira. Um perfil inverso ao formado pela lâmina vertente, direciona o escoamento a um canal de descarga ou a uma bacia de dissipação. Este tipo de soleira é muito utilizado em barragens devido a sua máxima capacidade de descarga (figura 3.3).

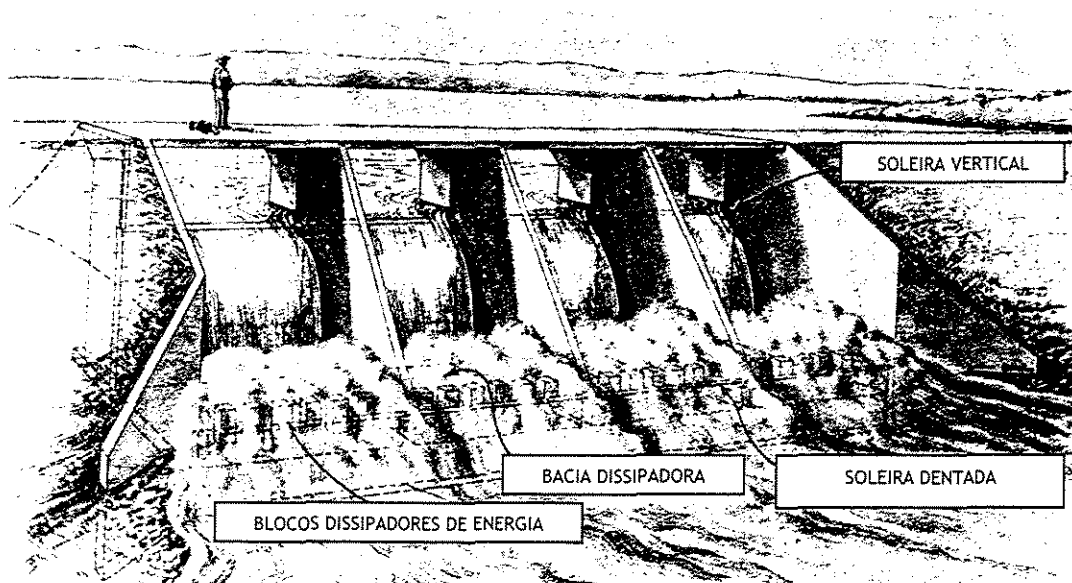


Figura 3.2 - Desenho artístico de um vertedor tipo soleira livre (Bureau of Reclamation 1987)

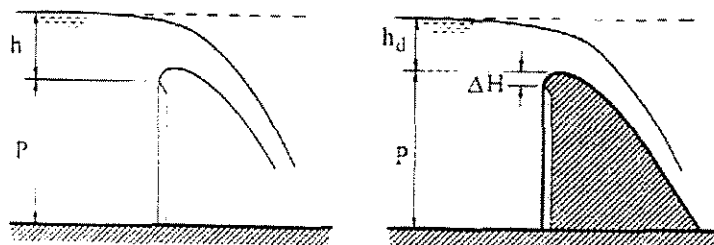


Figura 3.3 - Desenho esquemático de vertedor soleira normal - Porto (2001)

- c. Vertedor tipo canal lateral - este tipo de vertedor se caracteriza por sua soleira de controle estar posicionada ao longo, e aproximadamente paralela ao canal de descarga, e na maioria dos casos, a 90° do eixo da barragem. É utilizado em situações de pouco espaço (figura 3.4).

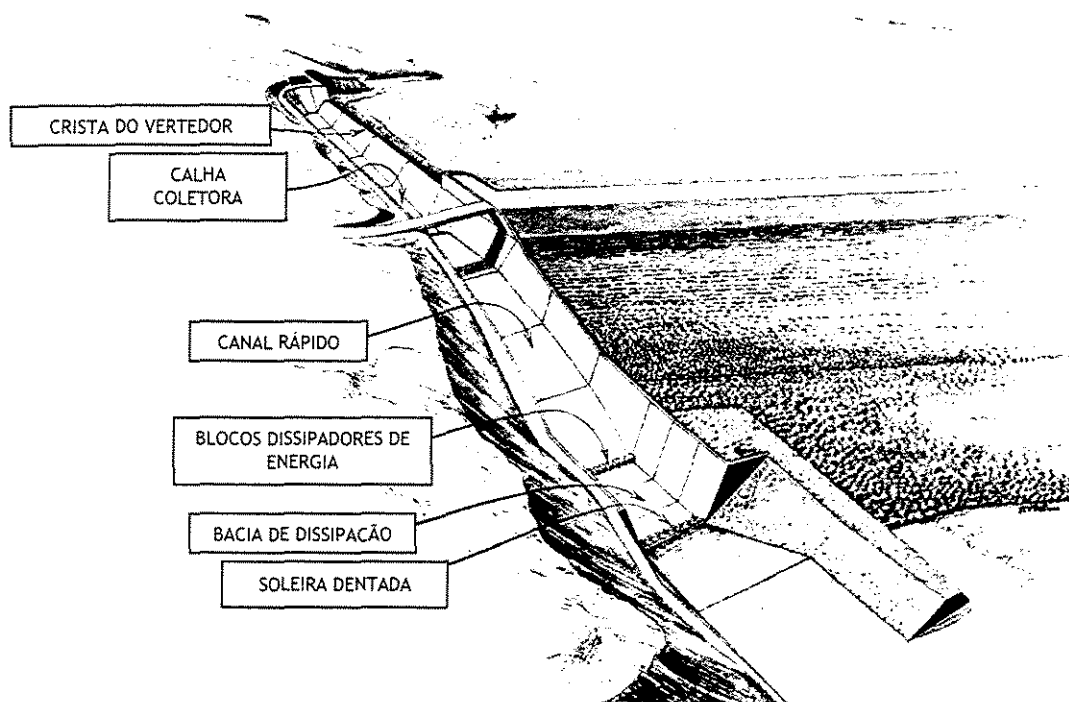


Figura 3.4 - Desenho artístico de um vertedor tipo canal lateral com descarga para um lado
Bureau of Reclamation (1987)

- d. Vertedor tipo canal de descarga - caracteriza-se por um canal perpendicular, ou aproximadamente perpendicular, ao eixo da barragem, que através de um dispositivo de controle (soleira normal, orifício, soleira plana), direciona o escoamento para jusante. Consiste de canal de aproximação, dispositivo de controle, estrutura de dissipação e canal de saída. Fatores que influenciam na seleção deste tipo de vertedor são a simplicidade do projeto e sua construção, a adaptabilidade para qualquer condição de fundação e sua economia na fase de escavação. Este tipo de vertedor é muito utilizado em barragens de terra. A figura 3.5 mostra uma vista aérea da Barragem do Cipó, em Poços de Caldas - MG, que utiliza

vertedor tipo canal de descarga com dissipação em forma de degraus.

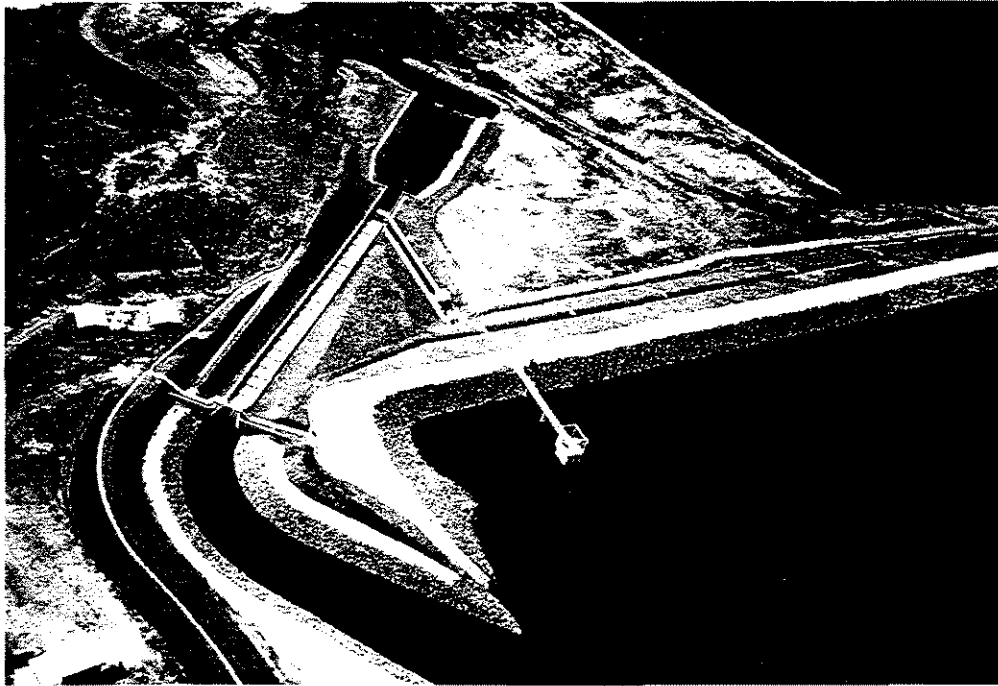


Figura 3.5- Vertedor tipo canal de descarga com dissipação em forma de degraus - Barragem do Cipó em Poços de Caldas-MG

- e. Vertedor tipo túnel ou conduto - caracteriza-se por um conduto fechado que conduz o escoamento ao lado ou por baixo da barragem. Pode ser na forma de um poço vertical ou inclinado, tubo de aço ou concreto, ou de um túnel na horizontal em rocha. Este tipo de vertedor deve possuir boa aeração a fim de prevenir o efeito sifão que pode ocorrer em parte do túnel, selando-o temporariamente. Este selo pode resultar na exaustão do ar causando jatos d'água a jusante ou ondas a montante. O escoamento deverá ser limitado a 75% da área a fim de evitar este problema. É utilizado em situações de pouco espaço e em estruturas provisórias.
- f. Vertedor tipo tulipa ou poço - o fluxo de água do reservatório esco por uma soleira horizontal, geralmente circular em planta, semelhante a um

funil, seguido de um poço vertical ou inclinado que é ligado por uma curva ao túnel de descarga. Geralmente existe no final do túnel uma estrutura de dissipação de energia. É uma boa solução para locais onde não há espaço para a construção de outros tipos de vertedores. Na soleira horizontal deve ser construído um anteparo para evitar a formação de vórtice. Vide figura 3.6.

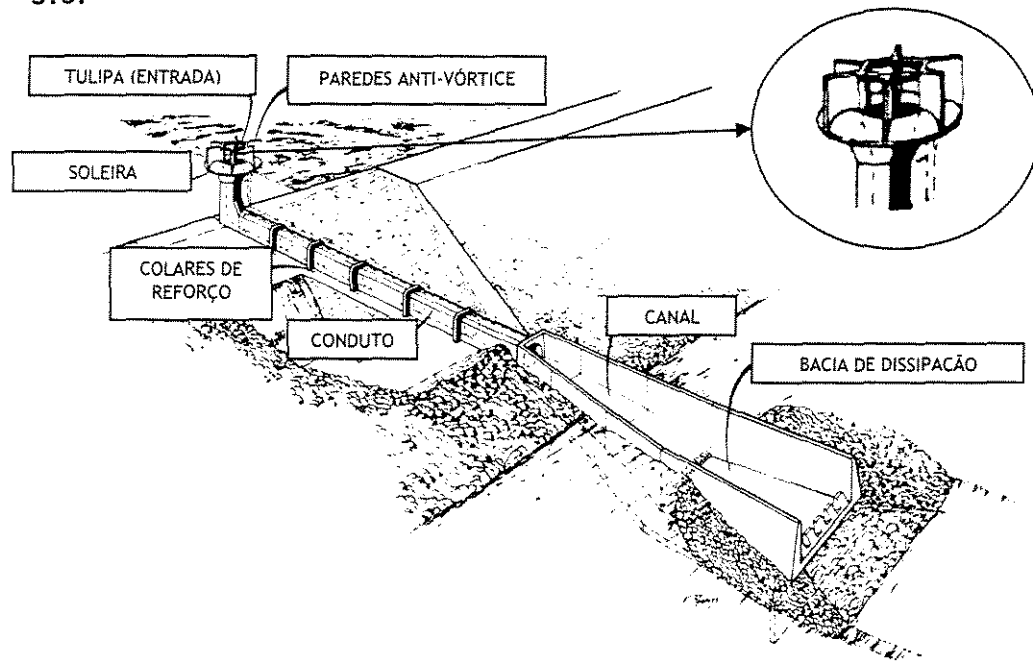


Figura 3.6 - Desenho artístico de um vertedor tipo tulipa - Bureau of Reclamation (1987)

- g. Vertedor tipo sifão - segundo Bureau of Reclamation (1987) é caracterizado por um tubo fechado com a forma de U invertido, constituído de 5 partes: a entrada, ramal superior, garganta ou seção de controle, ramal inferior e a saída. A crista é localizada coincidindo com o nível normal do reservatório. Quando o nível da água sobe, o escoamento começa, e à medida que a lâmina vertente vai fechando a parte superior do sifão, o ar que se encontra na garganta vai sendo extraído até que a depressão chega ao ponto em que o sifão automaticamente escoar. Estes vertedores costumam levar um dispositivo de admissão de ar para interromper o efeito do sifão. A entrada pode ser colocada bem abaixo do

nível normal, evitando-se a entrada de lixo, detritos, gelo, etc., e também para prevenir a formação de vórtices. Vide ilustração da figura 3.7.

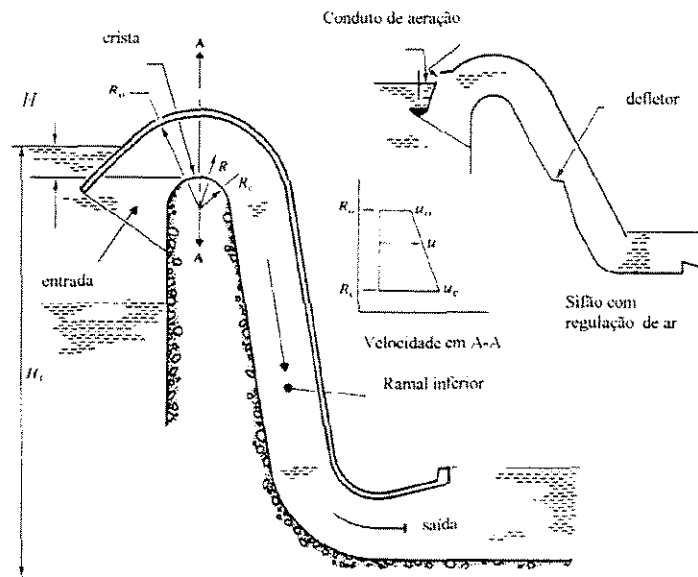


Figura 3.7 - Desenho esquemático de um vertedor tipo sifão - Genovez (1999)

- h. Vertedores tipo soleira dentada - são utilizados nos casos em que não é possível construir uma bacia de dissipação. Os blocos de choque obstruem o escoamento e dissipam energia na medida em que este se desenvolve para jusante, gerando baixas velocidades no pé da barragem. Vide figura 3.8.

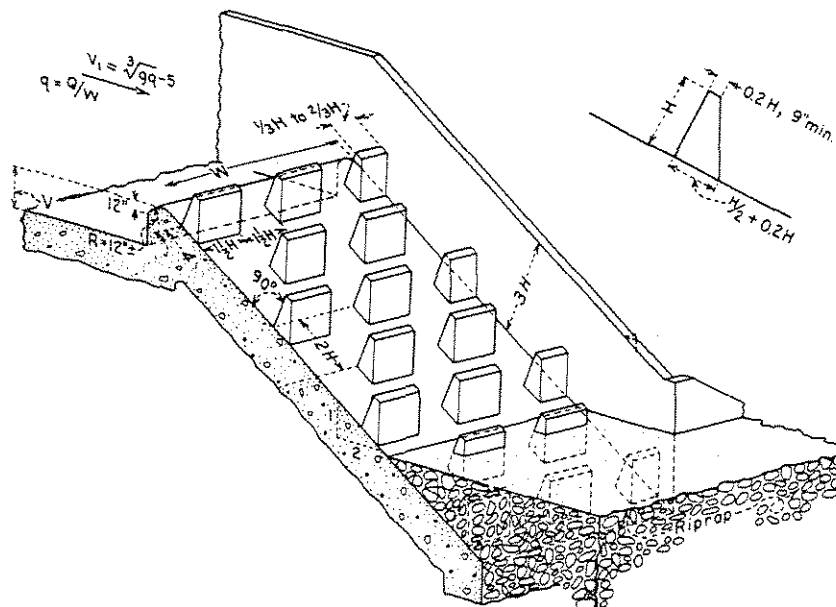


Figura 3.8 - Desenho esquemático de um vertedor tipo soleira dentada
Bureau of Reclamation (1987)

- i. Vertedores tipo labirinto - segundo Afshar (1988), em algumas circunstâncias, estes vertedores provam ser uma solução apropriada para os casos de pouco espaço, pois a geometria de sua crista, trapezoidal ou triangular, disposta repetidamente, proporciona um aumento considerável no comprimento da soleira extravasora. Tema deste trabalho de dissertação, este tipo de vertedor será descrito nos próximos capítulos.

A Eletrobrás (2002), de forma bem genérica, recomenda apenas, dependendo do porte da obra, que nos projetos de pequenas centrais hidrelétricas - PCHs, podem ser definidos três tipos básicos de solução para o extravasamento do excesso de água do reservatório de um aproveitamento:

- por um canal lateral, em cota elevada em relação ao leito natural do rio, com soleira vertedora a jusante;
- por sobre o próprio corpo da barragem, ao longo de toda a extensão da crista ou parte dela; e,
- por meio da combinação dos tipos acima citados.

A melhor solução dependerá das condições topográficas e geológico-geotécnicas de cada local, as quais condicionam a definição do arranjo geral das obras e da vazão de projeto do vertedor.

É certo que da forma como a Eletrobrás expõe a questão, possibilita uma série de alternativas ao projetista, contudo, seria interessante que o órgão regulador pudesse apresentar alternativas para cada uma das que foram citadas, inclusive a apresentação de exemplos com seus sucessos e fracassos.

4 VERTEDORES TIPO LABIRINTO - CRITÉRIOS DE PROJETO

4.1 Revisão Bibliográfica

O vertedor labirinto caracteriza-se por uma estrutura poligonal, com uma geometria em planta, em forma de V ou U dispostos repetidamente lado a lado (ciclos), que por consequência apresenta um maior desenvolvimento da crista do que um vertedor frontal, ocupando a mesma largura (Magalhães (1983) e Melo, Ramos e Magalhães (2002)).

Magalhães (1983) cita que de acordo com Gentilini (1941), os primeiros estudos sobre este tipo de vertedor datam de 1854 por Boileau, que apresentou um estudo experimental sobre vertedores com a soleira disposta obliquamente em relação ao escoamento, e de Aichel (1907), que apresentou um primeiro estudo detalhado sobre estes vertedores.

Hay e Taylor (1970) foram os primeiros pesquisadores a estudar sistematicamente soleiras vertedoras do tipo labirinto, e apresentaram resultados de um estudo experimental que fornecem dados importantes para o projeto dessas estruturas. Tal estudo possibilitou a determinação da performance de um vertedor em labirinto através da relação Q_L/Q_N , que, para uma determinada carga sobre a crista, relaciona a vazão de um vertedor em labirinto, Q_L , com a vazão de um vertedor comum retilíneo de mesmo perfil e mesma largura, Q_N .

É possível uma infinidade de variações em planta da forma destes vertedores,

porém, o mais favorável é o trapezoidal simétrico pela sua facilidade de construção (figura 4.1). A sua forma é definida pela relação l/w (l =comprimento total da crista vertedora de cada módulo e w =largura do módulo) , pelo ângulo α entre as paredes e a direção principal do fluxo e pelo número de módulos n que formam o vertedor.

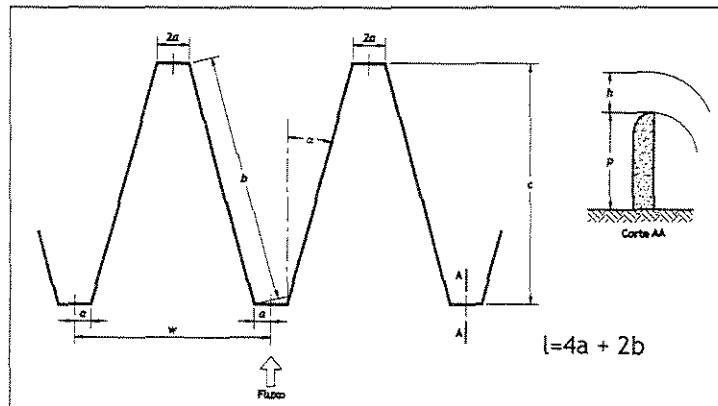


Figura 4.1 - Forma esquemática de um vertedor labirinto trapezoidal (Hay e Taylor 1970)

Na figura 4.2 são apresentadas algumas das formas de vertedores labirinto estudadas, que variam de retangulares em que $\alpha=0^\circ$ (modelo nº 30), várias formas trapezoidais (modelos nº 31 e 41), até a forma triangular (modelo nº 37) onde o ângulo α será o ângulo máximo para um determinado valor de l/w .

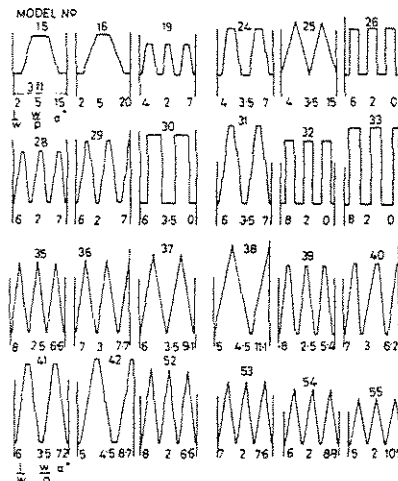


Figura 4.2 - Plantas dos modelos estudados por Hay e Taylor (1970). Os números apresentados embaixo de cada modelo representam, respectivamente, as relações l/w , w/p e α .

Neste mesmo estudo, ainda foram apresentados diversos parâmetros adimensionais, gráficos para determinação da relação Q_L/Q_N para vertedores triangulares e trapezoidais (figura 4.3), e ainda, valores recomendados, baseados nas definições anteriores, fundamentais para determinação da performance do vertedor:

- a. Parâmetro Q_L/Q_N - determina a performance de um vertedor, relacionando a vazão da soleira em labirinto (Q_L) com a vazão de uma soleira retilínea (Q_N) de mesmo perfil e mesma largura. Seu valor pode ser obtido através de gráficos que o relacionam com outros parâmetros da estrutura do vertedor labirinto.
- b. Parâmetro h/p - O valor de Q_L/Q_N se torna mais elevado quanto menor for o valor de h/p .
- c. Parâmetro l/w - o valor de Q_L/Q_N se torna mais elevado quanto maior for o valor de l/w . Porém, raramente verificam-se valores de l/w superiores a 8, pois os custos da estrutura não compensam o aumento de Q_L/Q_N . Uma exceção a essa regra é o caso da barragem de Beni Bahdel, Argélia (1944), com $l/w=15,63$, citado por Magalhães (1983).
- d. Parâmetro $\alpha/\alpha_{máx}$ - teoricamente o valor de Q_L/Q_N aumentaria à medida que $\alpha/\alpha_{máx}$ aumenta. Sendo assim, em um vertedor labirinto com a forma triangular deveria obter-se o maior valor de Q_L/Q_N , para um dado valor de l/w . Na prática, porém, isto pode não se verificar, pois é possível haver interferência dos escoamentos junto aos vértices da soleira, provocando uma diminuição da sua capacidade de vazão.
- e. Parâmetro w/p - este parâmetro não deve atingir valores muito pequenos. Quando estes tendem a valores próximos de zero, o vertedor passa a ser constituído por pequenos módulos triangulares que são "ignorados" pelo

fluxo, fazendo com que sua performance se aproxime de um vertedor retilíneo comum. As pesquisas sugerem valores da relação w/p maiores que 2 para plantas trapezoidais e valores maiores que 2,5 para plantas triangulares.

- f. Parâmetro n - o valor de Q_L/Q_N é praticamente independente do número de módulos da soleira em labirinto.

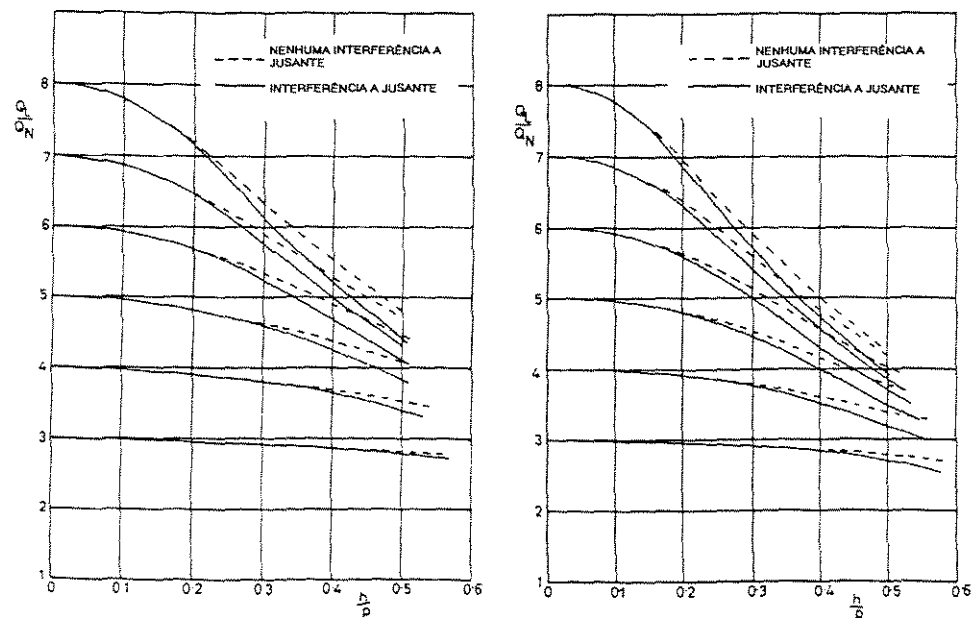


Figura 4.3 - Gráficos para determinação da relação Q_L/Q_N , para os vertedores tipo labirinto triangulares e trapezoidais. (Hay e Taylor - 1970)

Houston (1983) demonstra, por meio de testes em modelos reduzidos, a viabilidade de um vertedor auxiliar com a soleira em labirinto, para a barragem de Hyrum, em Utah - EUA, construída em 1935 para fins de irrigação.

Após uma revisão da capacidade de vazão do vertedor de serviço da barragem, foi verificada a necessidade de sua ampliação. Esta ampliação foi feita na forma de um vertedor auxiliar com soleira em labirinto, localizado a aproximadamente 150 m (metros) de uma das ombreiras da barragem, paralela ao vertedor existente (Figura 4.4). Os 91 m de soleira labirinto foram construídos em 2 ciclos de 18 m de

comprimento cada, com 3,65 m de altura, resultando uma lâmina vertente de 1,83 m e uma vazão total de 278 m³/s. O escoamento foi descarregado em um canal com 12,2 m de largura até uma bacia de dissipação.

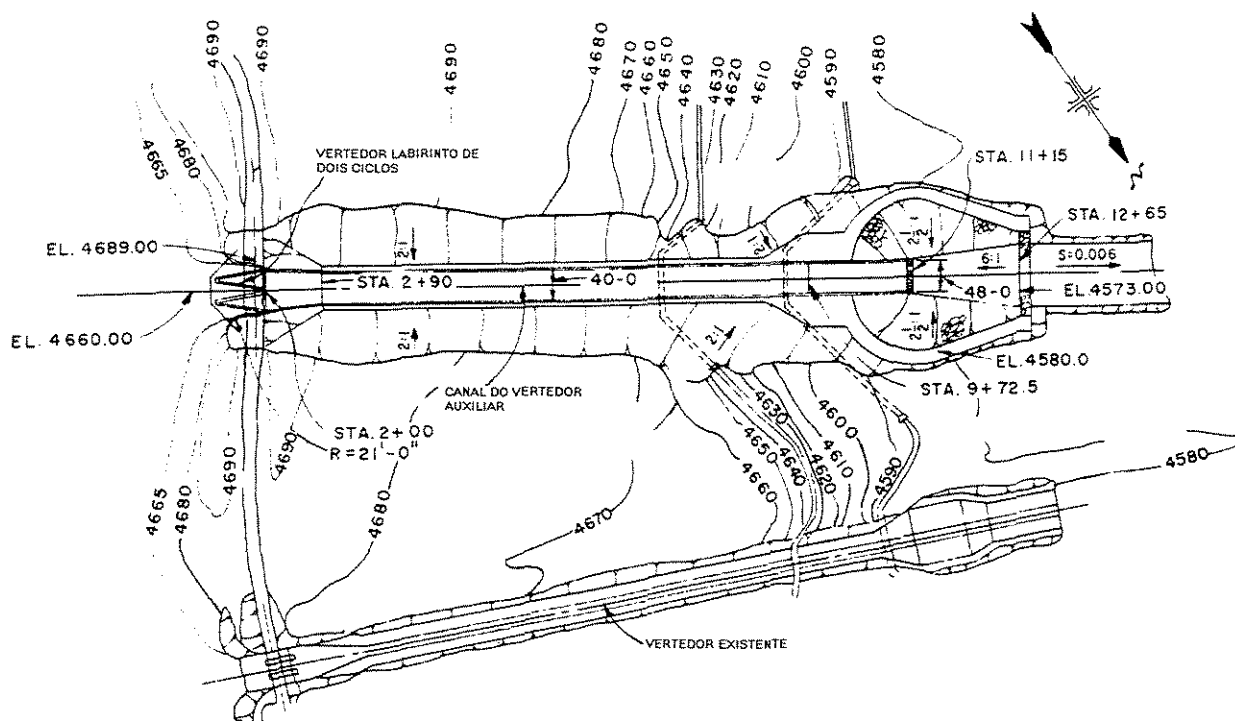


Figura 4.4 - Planta baixa da Barragem Hyrum com a disposição do vertedor existente e do vertedor auxiliar com soleira labirinto. Unidades em pés - Houston (1983).

O primeiro propósito de estudo em modelo era de verificar a capacidade do vertedor para o escoamento máximo necessário, sem ultrapassar uma cota determinada no reservatório. Os dados de capacidade de descarga foram tomados para cada orientação, dimensão dos modelos e disposição de entrada. Cada combinação tinha efeito significativo na distribuição do escoamento e na eficiência do vertedor.

O projeto do vertedor foi baseado no procedimento desenvolvido por Hay e Taylor, citado anteriormente, e a modificação das curvas foi desenvolvida no laboratório de hidráulica do U.S. Bureau of Reclamation (USBR).

Apesar do modelo estudado ter sido específico daquele local, a concepção do vertedor labirinto mostrou outras aplicações: são econômicos, pois o comprimento da crista pode ser comprimido em um estreito trecho, reduzindo a altura para uma grande descarga; a altura do vertedor permite armazenamento no reservatório como uma estrutura com comportas. Outra observação feita, durante a execução dos testes, foi a orientação do vertedor, com dois vértices de montante de sua estrutura para o lado de dentro do reservatório (figura 4.5), pois apesar de sua eficiência ser um pouco menor, quando afastado das paredes laterais do canal e seus vértices, para este caso, inseridos aproximadamente 6 m dentro do reservatório, proporcionaram ótima condição hidráulica e o projeto tornou-se mais eficiente.

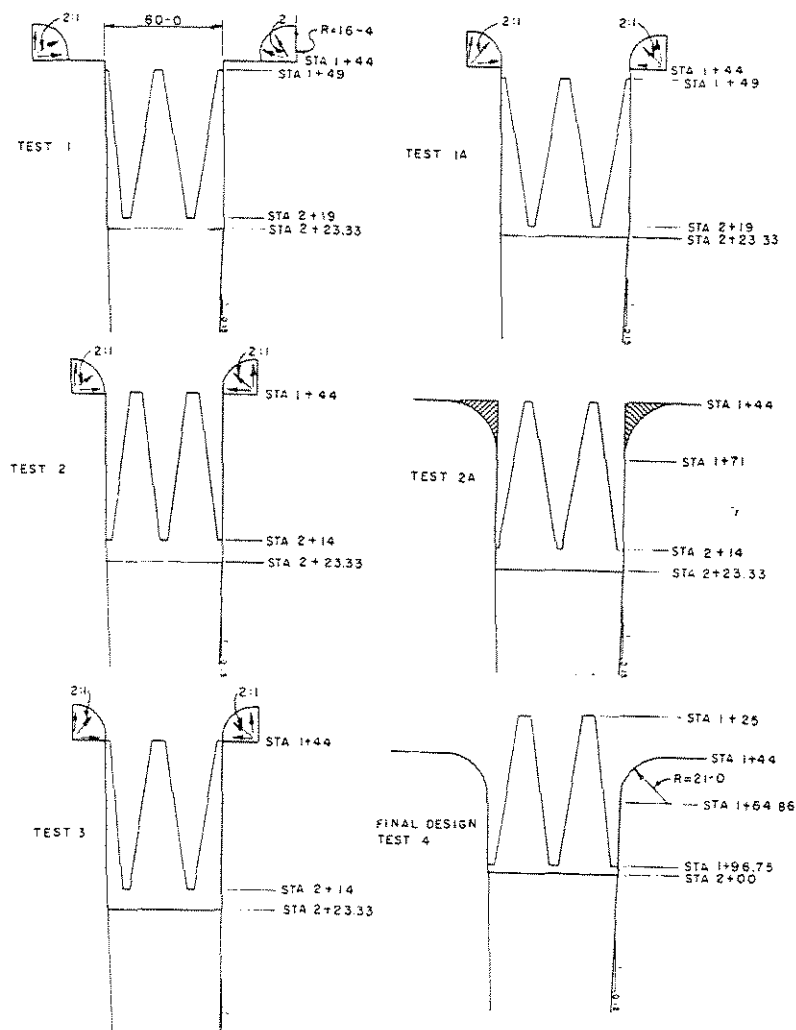


Figura 4.5 - Plantas Baixas dos modelos reduzidos testados. Notar teste 4 com 2 vértices dentro da área do reservatório. Unidades em pés - Houston(1983)

Durante condições de baixo escoamento, foram observados problemas com a oscilação da lâmina vertente devido à não aeração (figura 4.6), causando colamentos e descolamentos sucessivos. A instalação de pilares permitiu a continuidade de sua aeração (figura 4.7), e apesar de diminuir o comprimento total da crista em aproximadamente 0,77 m (3,3%), a descarga máxima necessária ($278 \text{ m}^3/\text{s}$) foi mantida.

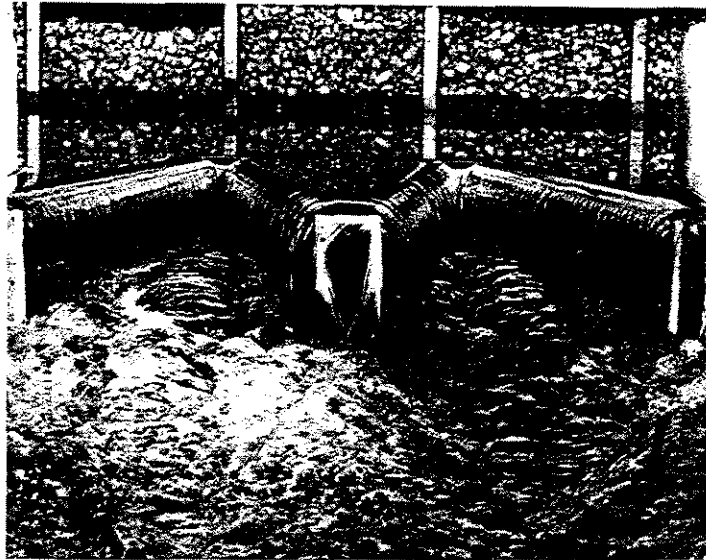


Figura 4.6 - Foto do modelo final com a lâmina colada devido ao baixo escoamento.
Houston (1983)



Figura 4.7 - Foto do modelo final com um pilar inserido para aeração da lâmina.
Houston (1983)

O projeto final do vertedor labirinto procurou maximizar a eficiência hidráulica e diminuir os custos para sua construção (figura 4.8).

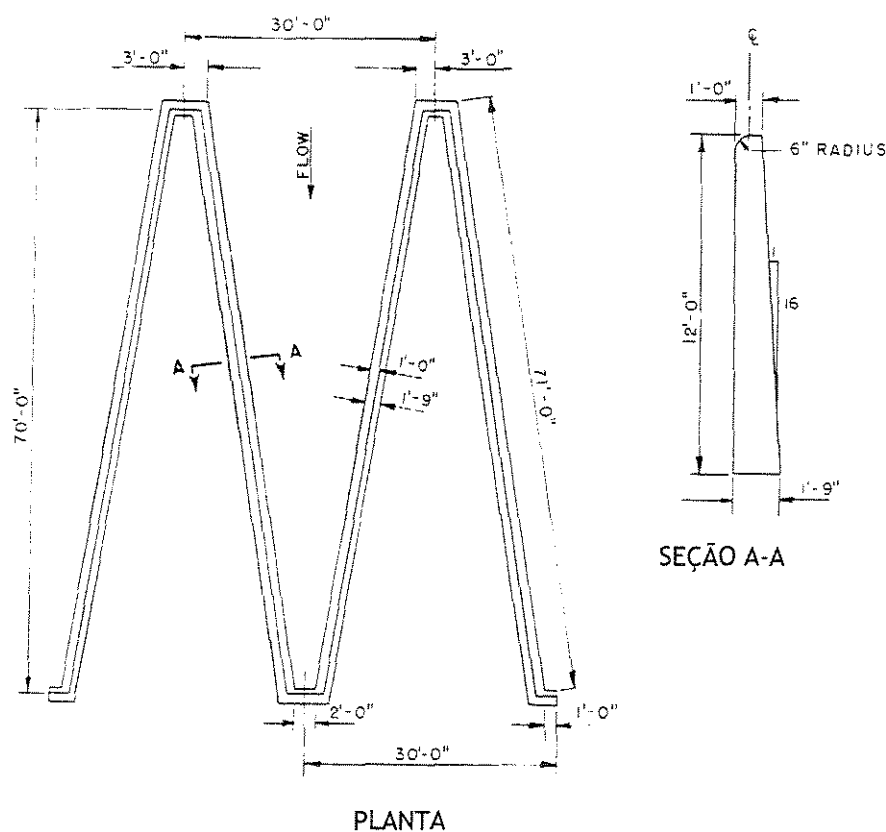


Figura 4.8 - Desenho com as dimensões recomendadas para o vertedor labirinto da Barragem de Hyrum (Unidades em pés) - Houston (1983)

Magalhães (1983) apresenta as principais características dos vertedores tipo labirinto, construídos até a data de publicação do artigo, conforme tabela 4.1, e fornece elementos para o seu dimensionamento hidráulico.

De acordo com **Magalhães (1983)**, a espessura das paredes é de cerca de 0,50 m e devem-se evitar soleiras com altura superior a 5 m, pois obrigaria a construção de muros mais espessos e fundações mais resistentes, prejudicando a economia da obra.

Tabela 4.1 - Características de vertedores labirinto construídos até 1983 segundo Magalhães (1983)
As variáveis estão definidas na lista de símbolos e na figura 4.33.

Barragem	País	Ano de Conclusão	$Q_{\max}$ (m ³ /s)	l (m)	w (m)	c (m)	a (°)	p (m)	$h_{\max}$ (m)	l/w	w/p	$h_{\max}/p$	$\alpha/a_{\max}$ (%)	n	L (m)	W (m)	μ_L	μ_w
Avon	Austrália	1927	1790	26,46	13,54	10,65	27,5	3	2,8	1,95	4,51	0,93	90	10	265,8	136,6	0,33	0,63
Bélia	Zaire		400	31	18	18,4		3,0/2,0	2	1,72	6	0,67		2	76,6	40,8	0,42	0,78
Beni Bahdel	Argélia	1944	1000	62,5	4	30			0,5	15,63				20	1250	80	0,51	7,99
Carty	EUA		390	54,6	18,29									2	109,2	36,6		
Dungo	Angola		576	28,56	9,73	12,55	15,2	3,5/4,3	2,4	2,94	2,78	0,69	72	4	115,5	40,1	0,3	0,87
East Park	EUA	1910																
Estancia	Venezuela	1967	661	65	32	30	22		3,01	2,03				1	65	32	0,44	0,89
Harezza	Argélia	1963	350	28,56	9,73	12,55	15,2	3,5/4,5	1,9	2,94	2,78	0,54	72	3	86,9	30,4	0,35	0,94
Keddara	Argélia		250	26,31	8,92	12	14,9	3,5/4,2	2	2,95	2,55	0,57	75	2	53,8	19	0,37	1,05
Santa Justa	Portugal		285	67,4	10,5	30,5	4	3	1,35	6,42	3,5	0,45	41	2	134,8	21	0,3	1,95
Skelton Grance	Reino Unido																	
Woronora	Austrália	1941	1020	31,23	13,41		22,8	2,2	1,36	2,33	6,07	0,62	90	11	343,5	147,5	0,42	0,98

Magalhães (1983) recomenda também que a fim de se evitar instabilidades do escoamento, através de descolamentos sucessivos da lâmina líquida, podendo provocar vibrações na estrutura, é conveniente colocar-se sobre a soleira vertedora pilares de arejamento. A título de exemplo cita o caso da barragem de Avon, na Austrália, que inicialmente não possuía esses pilares, e durante o escoamento de pequenas vazões a lâmina líquida se tornava muito instável, provocando grandes vibrações, chegando a partir vidros em edificações próximas. Com a colocação dos pilares de arejamento, o problema foi solucionado.

Outra observação é a de que o vertedor labirinto impossibilita o uso de comportas de superfície.

O autor segue o dimensionamento hidráulico baseado nos artigos de Hay e Taylor (1970), citado anteriormente, e Darvas (1971), que apresentou um ábaco que permite obter o valor de C_w ($C_w = Q_L / w \cdot h^{1,5}$), expresso em $ft^{1/2}/s$, em função dos parâmetros l/w e h/p , obtido por meio de ensaios nas seguintes condições:

- soleira em labirinto com a forma trapezoidal em planta, sobre fundo horizontal e com perfil vertente em forma de um quarto de círculo;
- escoamento sobre a soleira não afogado;

- $1 < l/w < 8$;
- $0,2 < h/p < 0,6$
- $\alpha/\alpha_{m\acute{a}x} > 0,80$; e,
- $w/p > 2$.

Após transformação de unidades (Q_L - m^3/s) e utilizando um coeficiente de descarga - μ_w - adimensional, para a equação (4.1):

$$Q_L = \mu_w \times w \times \sqrt{2g} \times h^{1,5} \quad (4.1)$$

obtém-se o ábaco representado na figura 4.9, baseado no ábaco de Darvas (1971), que permite obter o valor de μ_w em função do valor de h/p e de l/w .

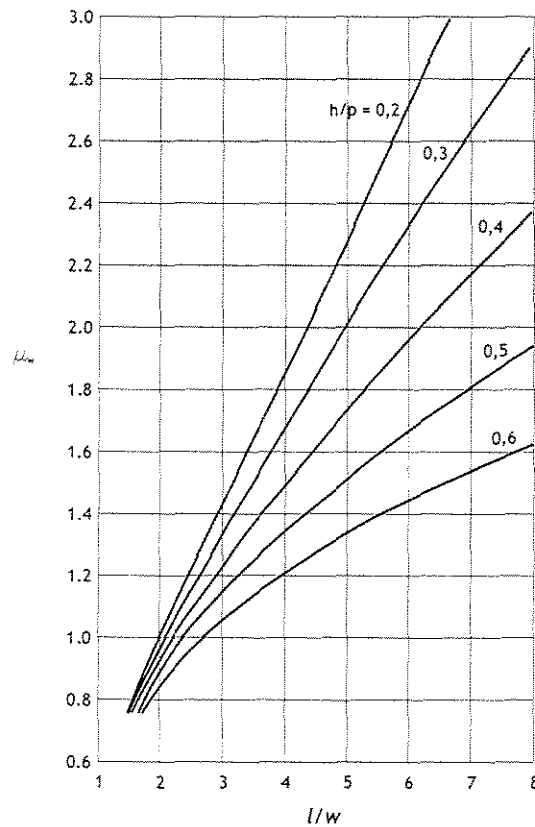


Figura 4.9 - Ábaco proposto por Magalhães (1983)

O autor comenta ainda que ensaios realizados pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Lisboa - Portugal) e por outros laboratórios, verificaram valores do coeficiente de descarga μ_w muito próximos dos obtidos a partir da utilização deste ábaco.

Segundo Afshar (1988), quase um terço das falhas ocorridas em barragens são provocadas pela capacidade insuficiente do vertedor. Durante a década de 70, foi dada maior atenção para a minimização deste perigo para vidas humanas, bem como uma redução dos danos estruturais causados pelo galgamento de uma barragem. Por essa razão, os projetos de uma barragem tentam selecionar um escoamento com um grande período de retorno para o desenho do vertedor, resultando em obras de grandes dimensões e altos custos.

O escoamento dessas grandes cheias pode ser efetuado simplesmente através da soleira do vertedor ou por um sistema de comportas de superfície, sendo que este último pode aumentar significativamente a descarga sobre a crista. Porém, algumas desvantagens podem tornar seu uso inadequado:

- Em operações de emergência, apesar das comportas de superfície possuírem sistemas de segurança para garantir sua operação, uma soleira livre proporciona confiança de operação sem ajuda de outros sistemas;
- Aberturas acidentais das comportas resultam perda significativa de volume de água; e,
- Grandes liberações de água por acidente operacional podem causar grandes danos a populações a jusante.

Para aumentar o comprimento da crista de vertedores não controlados, diversos tipos de soleira foram desenvolvidos: vertedor de três lados, vertedor de

crista em Y, e vertedores de crista curva, aqui citado pelo autor como vertedor mexicano, e o vertedor tulipa. Vide figura 4.10. Geralmente, as condições do local é que determinarão o tipo de vertedor a ser usado.

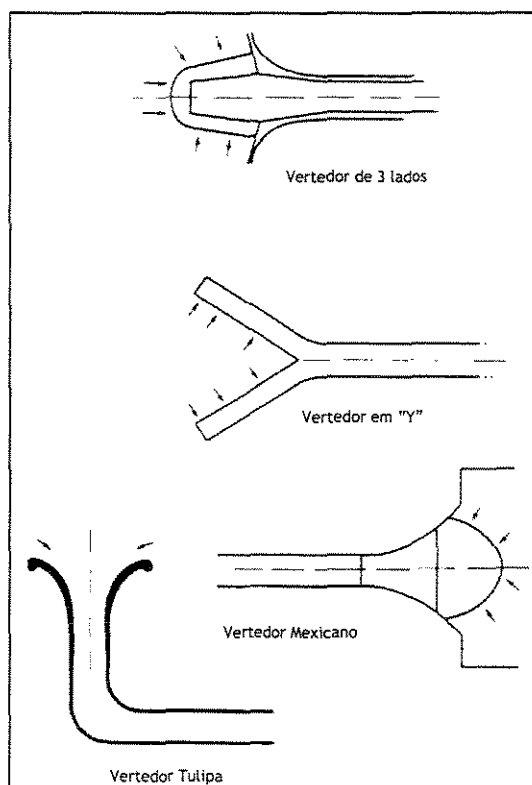


Figura 4.10 - Tipos de vertedores que procuram aumentar a crista de escoamento apresentados por Afshar (1988)

O autor também comenta o padrão complexo do escoamento para esta disposição de crista. A capacidade de descarga do vertedor deveria aumentar proporcionalmente com o aumento no comprimento de sua crista, porém, isto só se confirma para escoamentos com baixa altura da lâmina vertente. Geralmente, o padrão de escoamento do vertedor labirinto passa por quatro fases básicas durante o incremento da altura da lâmina d'água vertente:

1. Totalmente aerada: para pequenos valores de carga na crista, o escoamento cai livremente sobre todo o comprimento do vertedor. Nem a

espessura da crista nem a profundidade da descarga a jusante afetam o coeficiente de descarga;

2. Parcialmente aerada: quando a altura da lâmina vertente aumenta, ocorre uma restrição nos vértices de montante, as lâminas opostas convergem e o nível da descarga de jusante aumenta. O escoamento dos vértices de montante começa a ser suprimido e o ar é expulso por baixo até o vértice de jusante, formando bolsões de ar;
3. Transição: com um maior aumento da lâmina vertente, ela começa a ser suprimida em vários pontos e as bolsas de ar são quebradas em pequenas bolhas causando instabilidade na lâmina. Esta fase é difícil de ser definida com precisão em laboratório e sua principal característica é a descontinuidade na curva do coeficiente de descarga; e,
4. Suprimida: o escoamento sobre a crista forma uma lâmina sólida e não aerada. Isto significa que a submersão completa ocorrerá se a altura da lâmina na crista for tão grande quanto a altura das paredes do vertedor labirinto.

Portanto, com o aumento da altura da lâmina no vertedor labirinto, sua eficiência diminui, próxima da eficiência de uma soleira plana comum, com largura igual ao canal de descarga.

Afshar (1988) ainda cita o trabalho de Hay e Taylor (1970) já descrito anteriormente, e o trabalho de Lux e Hinchliff (1985) que introduz o desenho de curvas para vários tipos de soleiras labirinto usando uma combinação de análise dimensional e experimentos para definir o coeficiente de descarga. Após estas combinações e simplificações matemáticas, os autores puderam definir a equação 4.2:

$$Q = C_w \cdot \left(\frac{w/p}{(w/p) + k} \right) \cdot w \cdot \sqrt{g} \cdot H_0^{\frac{3}{2}} \quad (4.2)$$

em que: Q - vazão em m³/s por ciclo;

C_w - coeficiente de descarga;

w - largura do ciclo do vertedor em m;

P - altura da parede de montante do vertedor em m;

k - constante (vert. triangular = 0,18 e vert. trapezoidal = 0,1 , para A/W=0,0765);

A - largura interna dos vértices em m;

g - aceleração da gravidade em m/s²; e,

H₀ - altura da lâmina d'água em m.

Esta relação é válida para: $2 \leq l/w \leq 8$ e $2 \leq w/P \leq 5$.

As curvas resultantes desta equação são apresentadas na figura 4.11, utilizando uma soleira labirinto triangular em A e trapezoidal em B. C_w será colocado em função de H₀/P e l/w. Os gráficos mostram também que o coeficiente de descarga diminui com o aumento da lâmina vertente, conforme já citado anteriormente. A região C do gráfico representa a lâmina totalmente aerada; na região D, lâmina parcialmente aerada e a região E lâmina suprimida. A descontinuidade da curva na região de transição representa a perda de aeração iniciando a fase suprimida.

Para se obter a descarga total, a largura do ciclo w dever ser repetida para o comprimento total do vertedor.

Afshar (1988) comenta também que os testes feitos por Lux e Hinchiliffi

(1985) usaram uma crista biselada para simplificar. Houston (1983), citado anteriormente, testou uma crista linear com seu perfil na forma de um quarto de círculo, e se mostrou mais eficiente quando usada a montante das paredes do vertedor.

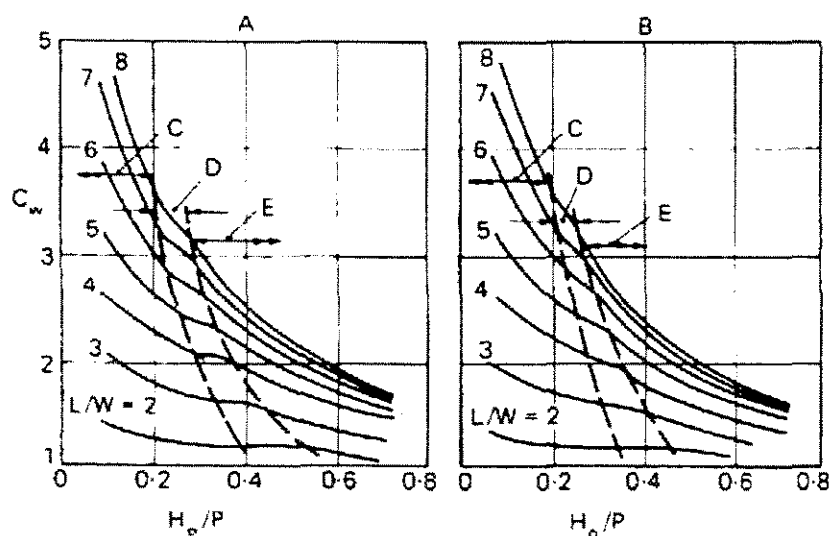


Figura 4.11 - Curvas para vertedores labirinto triangulares e trapezoidais apresentadas por Afshar (1988)

Devido à convergência das paredes e ao distúrbio provocado no escoamento sob a crista, pode haver a formação de ondas que se cruzam a jusante da crista (caso que será citado mais adiante por Falvey (2003)). Por isso, o autor recomenda atenção especial no projeto do vertedor, assegurando que não ocorra o galgamento das paredes, e que a estrutura a jusante não seja perturbada seriamente. Uma análise detalhada deve ser feita para estabelecer o comprimento da calha a jusante, de forma que as ondas produzidas sejam amortecidas.

Lux (1989) apresenta as curvas do coeficiente de descarga para vertedores labirinto triangulares e trapezoidais (figura 4.12), utilizando a mesma equação de seu artigo de 1985 citado anteriormente (equação 4.2), porém utilizando o perfil da crista do vertedor na forma de um quarto de círculo. Baseado nesta equação e nos gráficos da figura 4.11, um desenho preliminar do vertedor labirinto e uma avaliação da sua curva de descarga poderão ser desenvolvidos.

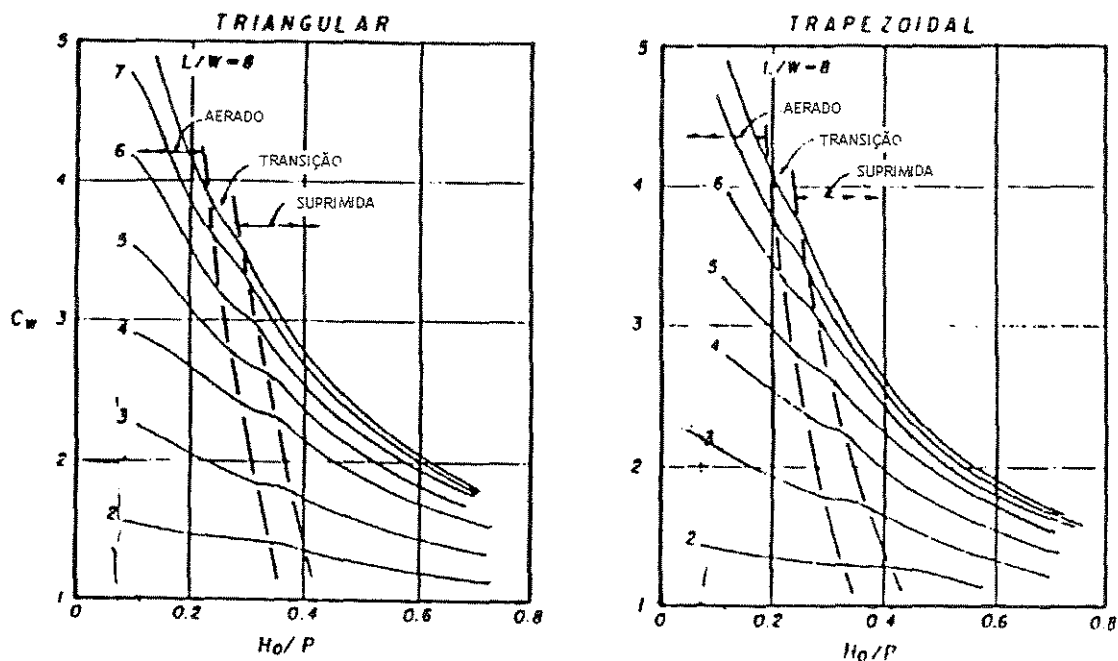


Figura 4.12 - Curvas para vertedores labirinto triangulares e trapezoidais apresentadas por Lux (1989)

O autor apresenta também uma tabela com as características principais de vertedores labirinto que utilizaram o método de Hay e Taylor (1970) para o seu dimensionamento preliminar (tabela 4.2). Contudo, testes em modelos hidráulicos específicos para cada local mostraram que a descarga atual é cerca de 25 % menor que a prevista pelo método de Hay e Taylor (1970), particularmente para valores de H_0/P maiores que 0,4. O U.S. Bureau of Reclamation constatou que o método de Hay e Taylor assume que a velocidade acima da crista é a mesma tanto para um vertedor de soleira retilínea como para um vertedor labirinto (Houston 1982). Devido à descarga por unidade de largura ser substancialmente maior que para um vertedor retilíneo, esta subestimativa de velocidade na crista aconteceria para grandes valores de H_0/P .

Lux (1989) ainda apresenta diretrizes gerais para uma escolha prévia dos parâmetros do projeto do vertedor e também considerações práticas para sua locação e construção. Assim pode se destacar:

Tabela 4.2 - Barragens que possuem vertedores labirinto dimensionados pelo método de Hay e Taylor segundo Lux (1989).

Nome	País	Ano de Construção	Q m³/s	H ₀ m	P m	W m	L m	n
Vertedores								
Avon	Austrália	1970	1,790	2,80	3,00	13,5	26,5	10
Bartletts Ferry	USA	1983	5,920	2,19	3,43	18,3	70,3	20,5
Boardman	USA	1978	387	1,71	2,8/4,3	18,3	53,5	2
Cimia	Itália	1982	1,100	1,50	15,50	30	87,5	4
Dungo	Angola	1985	576	2,40	3,5/4,3	9,7	28,6	4
Harrezza	Argélia	1983	350	1,90	3,5/4,5	9,7	28,6	3
Hyrum	USA	-	256	1,68	3,66	9,1	45,7	2
Keddera	Argélia	1985	250	2,46	3,5/4,2	8,9	26,3	2
Mercer	USA	1972	239	1,83	4,57	5,5	17,6	4
Santa Justa	Portugal	-	285	1,35	3,00	10,5	67,4	2
Ute	USA	1983	15,570	5,79	9,14	18,3	73,7	14
Estruturas de Controle de Nível								
Navet	Trinidad	1974	481	1,68	3,05	5,5	12,8	10
Quincy	USA	1973	552	2,13	3,96	13,6	26,5	4
Estruturas de Proteção								
Forestport	USA	1988	76	1,02	2,94	6,1	21,9	2
Garland Canal	USA	1982	26	0,37	1,40	4,57	19,6	3
Ohau C. Canal	NZ	1980	540	1,08	2,50	6,25	37,5	12

- Razão H_0/P : devido ao coeficiente de descarga do vertedor labirinto diminuir com o aumento da altura d'água sobre a crista, a melhor solução é a de que a altura máxima sobre a crista seja a menor possível. Geralmente os vertedores labirinto são projetados para valores de H_0/P na faixa de 0,45 a 0,55, operando no limite da supressão da lâmina e economizando o tamanho do vertedor. Contudo, os vertedores labirinto têm provado ser uma solução econômica para valores de H_0/P até 0,7. Para valores acima deste, a melhor solução seria a adoção de vertedores com coeficiente de descarga que aumentam à medida que a altura sobre a crista também aumenta, como os vertedores de soleira Creager.
- altura P da parede: para paredes de seção fina com alturas até 4,50 m, estão sujeitas a baixos esforços, podendo sua estrutura ser projetada como

uma parede em balanço (muro). Para paredes mais altas que isto, deverão ser feitas outras análises, inclusive com o uso de perfil gravidade.

- Relação w/P : para início de projeto, o valor de w/P igual a 2,5 é o recomendado. Grandes valores para este parâmetro resultam em grandes estruturas sem ganhos em sua performance. Valores menores que 2 não devem ser usados pois diminuem rapidamente a performance do vertedor.
- Relação dos vértices A/w : para máxima performance, o menor valor deste parâmetro deve ser adotado para o projeto, ou seja, uma planta triangular. Para grandes valores de A/w , uma grande interferência limitaria a performance do vertedor. Plantas trapezoidais tendo A/W igual a 0,0765 ou menos poderão ser usadas sem grandes perdas de performance. Além disso, para estruturas em concreto moldado in loco, a configuração do vértice deve considerar a facilidade de instalação e remoção das fôrmas.
- Relação l/w : examinando a figura 4.12, pode-se observar que para valores de l/w maiores que 6 tem pouco acréscimo na performance, exceto para pequenas alturas de lâmina. Para valores menores que 2, o uso de um vertedor de soleira plana retilínea prova ser mais econômico.
- considerações sobre a cota de fundo: os testes no modelo estudado foram feitos com os mesmos níveis de fundo. Testes realizados por Taylor (1968) mostraram que condição ótima para o escoamento ocorre quando a cota do fundo a montante da parede é próximo do de jusante, e a parede do vertedor (lado de montante) é vertical. Aumentando o nível do fundo do lado de jusante, a performance do vertedor diminui, e isso deve ser evitado. Uma redução na cota de jusante, pode minimizar o efeito de uma grande lâmina e melhorar as condições do escoamento sobre a soleira, mas segundo o autor, nenhum estudo foi feito avaliando este efeito.

- Perfil da crista: abaixo da condição da lâmina suprimida, o coeficiente de descarga para o vertedor labirinto tende a ser independente do perfil da crista. Os perfis em um quarto de círculo ou perfil meia-lua são os mais utilizados para estas condições.

Tacail, Evans e Babb (1990) apresentam uma descrição do projeto e do estudo hidráulico do modelo para o vertedor labirinto da barragem de South Heart, em Alberta, Canadá. O gerenciamento da bacia e um estudo hidrológico da barragem mostraram que, além da necessidade de um aumento no volume armazenado, pois os dados de novas precipitações e o escoamento superficial mostraram um crescimento substancial, a capacidade do vertedor existente não permitiria a vazão de projeto sem galgar a barragem. Baseados nos equacionamentos e recomendações de Hay e Taylor (1970), Darvas (1971), Magalhães (1983) e Lux (1989), e a grande variação no coeficiente de descarga C_L , calculado para alguns vertedores labirinto, apresentados na tabela 4.3, os autores perceberam a necessidade de execução de um modelo para o estudo do vertedor labirinto da barragem South Heart.

Tabela 4.3 - Parâmetros de algumas barragens que possuem vertedores labirinto segundo Tacail, Evans e Babb (1990).

Nome	Pais	Ano	Q (m ³ /s)	l (m)	w (m)	c (m)	α (°)	p (m)	h (m)	l/w	w/p	h/p	$\alpha/\alpha_{\max}$	n	L* (m)	W* (m)	CL
Avon	Austrália	1927	1790	26,46	13,54	10,65		3,00	2,80	1,95	4,50	0,93	90	10	265,80	136,60	1,44
Avon (reconstructed)	Austrália	1970	1420	26,50	13,50			3,00	2,16	1,96	4,50	0,72		10			
Barletts Ferry Dam	USA	1983	5920	70,30	18,30			3,43	2,19	3,84	4,34	0,64		20,5	1441,15		1,27
Belia	Zaire		400	31,00	18,00	18,40		3,0/2,0	2,00	1,72	6,00	0,67		2	76,60	40,80	1,85
Beni Bahdel	Argélia	1944	1000	62,50	4,00	30,00			0,50	15,63				20	1250,00	80,00	2,26
Boardman Spillway	USA	1978	387	53,50	18,30	25,93	19,44	2,76	1,77	2,92	6,63	0,64		2	106,70	36,50	1,54
Carty	USA	1977	387	54,60	18,30	25,90	19,40	2,8/4,3	1,80	2,98	5,18	0,50	100	2	109,20	36,60	1,47
Cimia Dam	Itália	1982	1100	87,50	30,00			15,50	1,50	2,92	1,94	0,10		4	350,00		1,71
Dungo	Angola	1985	576	28,56	9,73	12,55	15,20	3,5/4,3	2,40	2,94	2,78	0,69	72	4	115,50	40,10	1,34
Estancia	Venezuela	1967	661	65,00	32,00	30,00	22,00		3,00	2,03				1	65,00	32,00	1,96
Harreza	Argélia	1983	350	28,56	9,73	12,55	15,20	3,5/4,5	1,90	2,94	2,78	0,54	72	3	86,90	30,40	1,54
Hyrum	USA	1935	256	45,72	9,14	21,34	9,60	3,66	1,68	5,00	2,50	0,46	84	2	91,40	18,30	1,29
Keddara	Argélia	1985	250	26,30	8,92	12,00	14,90	3,5/4,2	2,46	2,95	2,55	0,70	75	2	53,80	19,00	1,20
Mercer Dam	USA	1972	239	17,65	5,49			4,57	1,83	3,20	1,20	0,40		4	74,98		1,29
Navet Pumped Storage	Trinidade	1974	481	13,72	5,49			3,05	1,68	2,50	1,80	0,55		10	137,16	54,86	1,61
Ohau C. Canal	Nova Zelândia	1980	540	37,50	6,25	15,50		2,50	1,08	6,00	2,50	0,43		12	450,00	77,10	1,07
Quincy Dam	USA	1973	552	26,50	13,60			3,96	2,13	1,95	3,43	0,54		4	106,00	35,97	1,68
Santa Justa	Portugal		285	67,40	10,50	30,50	4,00	3,00	1,35	6,42	3,50	0,45	41	2	134,80	21,00	1,35
Sarno Dam	Argélia	1952	360	27,90				6,00	1,50			0,25		8	223,20		0,88
South Heart Dam	Canadá	1988	215	60,20	11,75	30,00	8,77	4,00	1,00	5,12	2,94	0,25	77	2	120,40	24,50	1,79
Ute Dam	USA	1962	15574	73,15	18,29	33,99	12,90	9,14	5,79	4,00	2,00	0,63	84	14	1024,10	256,00	1,09
Ute Dam (reconstructed)	USA	1983	15600	73,70	18,30			9,14	5,79	4,00	2,00	0,63		14	1024,10	256,00	1,09
Woronora	Austrália	1941	1020	31,23	13,40		22,80	2,20	1,36	2,33	6,07	0,62	90	11	343,50	147,50	1,87

* $L=n.l$ e $W=n.w$ valores aproximados apenas para comparação.

Durante a fase de projeto, foi utilizado o método de Hay e Taylor (1970) para a seleção da maioria das dimensões. O modelo reduzido foi construído na escala 1:30,

e os testes foram divididos em três fases, resultando no gráfico de descargas (figura 4.13) e na tabela de parâmetros dos vertedores (tabela 4.3):

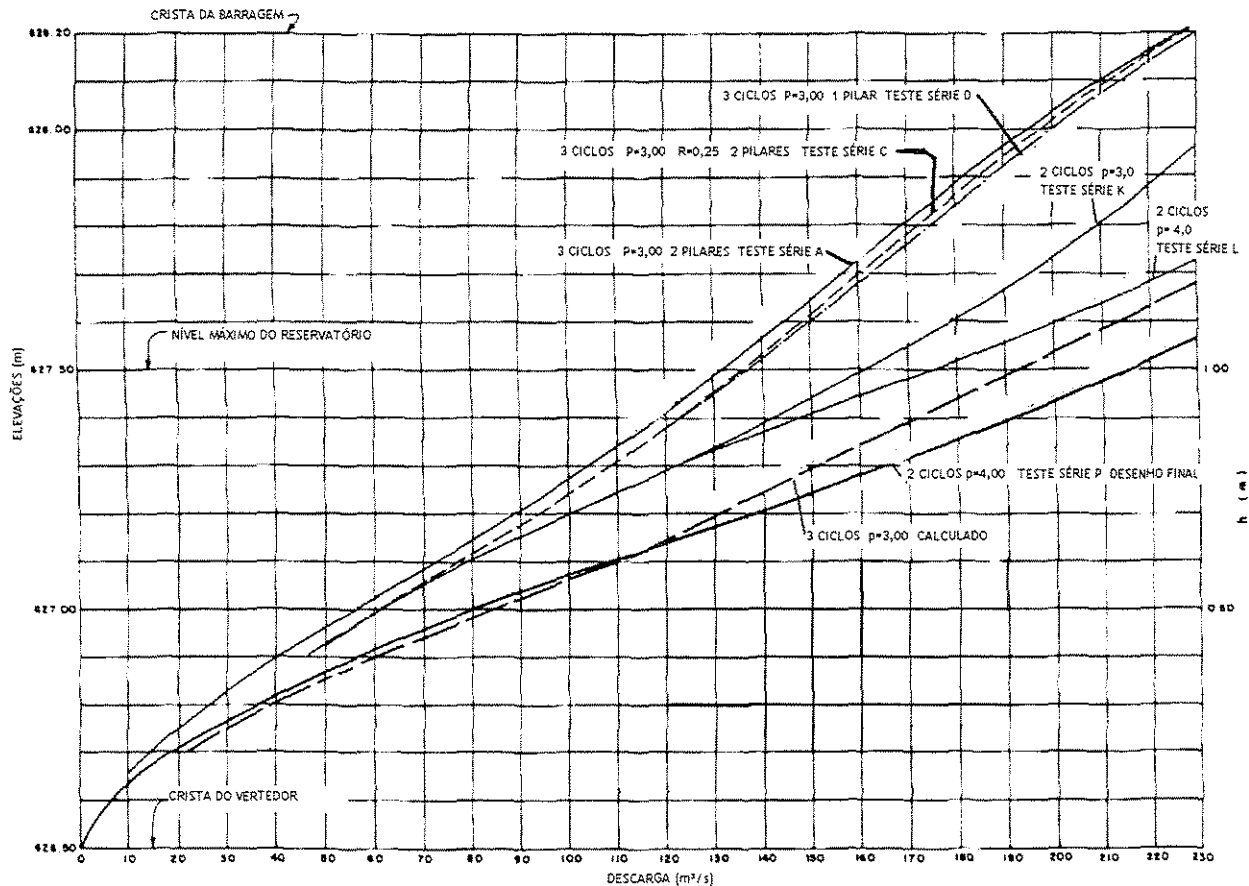


Figura 4.13 - Gráfico de descargas para os testes dos vertedores apresentados por Tacail, Evans e Babb (1990).

1. Testes preliminares - Foi feito com um projeto em 3 ciclos, conforme figura 4.14, tendo 3 vértices a montante, com um comprimento total de 103,80 m contido em uma largura de 24,50 m, altura da parede do vertedor de 3 m com uma largura de 0,50 m, faces de jusante e montante inclinadas, crista arredondada a montante com raio de 0,25 m. Foram colocados pilares da ponte de serviço sobre o centro dos vértices de jusante. Os testes iniciais mostraram que a capacidade de descarga foi 32% menor que a calculada quando o reservatório atingiu a cota 627,50 m (nível máximo do

reservatório). Com o aumento da altura da água sobre a crista, a eficiência do vertedor diminui substancialmente (fato também observado por Afshar 1988). Outros testes foram feitos como o uso da crista semi-circular e a eliminação de um dos pilares da ponte, mas todos apresentaram efeito desprezível na capacidade do vertedor.

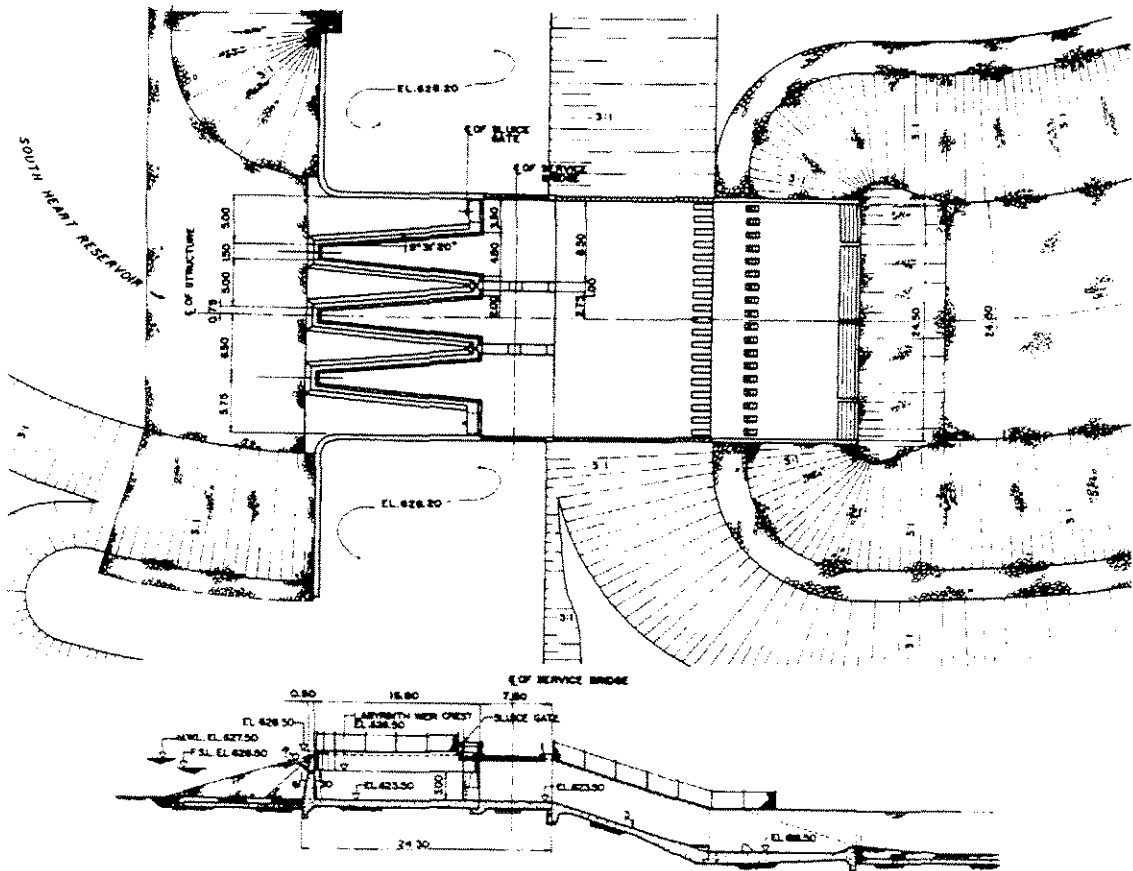


Figura 4.14 - Desenho da Barragem South Heart com vertedor labirinto disposto em 3 ciclos, estudado por Tacail, Evans e Babb (1990).

2. Desenvolvimento - Foram estudadas diferentes geometrias em planta e alturas da parede do vertedor. Diversas variações da opção de 3 ciclos foram exploradas, e o mais significativo progresso, que mais tarde foi incorporado ao projeto final, foi o aumento da altura da parede do vertedor de 3 m para 4 m (veja tabela 4.4 - teste F). Após completar os

testes com o vertedor disposto em 3 ciclos, foram iniciados os testes com o vertedor de 2 ciclos, baseados nos procedimentos de Hay e Taylor. O projeto de 2 ciclos possibilitou um incremento na largura e no comprimento desenvolvido da crista de cada ciclo, e de outros parâmetros como a relação vertical w/p , e o ângulo α das paredes laterais com o escoamento. Os autores comentam o estudo feito por **Houston (1983)** na barragem Hyrum, onde se obteve um aumento na capacidade de escoamento do vertedor com o uso de pilares de arejamento e o prolongamento dos vértices de montante para dentro do reservatório. No estudo de 2 ciclos, este uso resultou em uma melhor condição de aproximação do escoamento, ajudando a aumentar a descarga. Neste estudo, as principais características que melhoraram a capacidade hidráulica do vertedor foram: relação (w/p) - sem alterar a largura inicial do vertedor de 24,50 m, o parâmetro w foi aumentado, diminuindo o número de ciclos e mantendo o valor recomendado de mais de 2 para esta relação. Com o aumento dessa relação, os efeitos da interferência e submergência de jusante foram eliminados. O maior incremento na capacidade do vertedor de 2 ciclos para o de 3 ciclos não foi só devido ao acréscimo em seu comprimento, mas também ao fato das paredes do vertedor estarem mais distantes entre si, proporcionando maior capacidade de descarga e não oferecerem restrições ao escoamento; parâmetro h/p - pela tabela 4.4, uma comparação entre os testes F e E mostra que para um aumento na altura da parede do vertedor e altura da lâmina sobre a crista mantida constante, a capacidade do vertedor labirinto certamente aumentará; parâmetro $\alpha/\alpha_{\text{máx}}$ - o modelo estudado confirmou os resultados experimentais de Hay e Taylor que recomendam a adoção de ângulo das paredes laterais de $\alpha \geq 0,75\alpha_{\text{máx}}$.

Tabela 4.4 - Parâmetros dos testes dos vertedores apresentados por Tacail, Evans e Babb (1990).

Teste	Descrição	α (°)	$\alpha_{\text{máx}}$ (°)	l (m)	n	p (m)	w (m)	$\alpha / \alpha_{\text{máx}}$	l/w	w/p	h (m)	Q (m³/s)	h/p	C_d $Q/Lh^{1.5}$
Projeto inicial com pequenas modificações														
A	Projeto original	5,53	10,82	34,6	3	3,00	6,50	0,51	5,32	2,17	1,00	130	0,33	1,25
B	Muros laterais	5,53	10,82	34,6	3	3,00	6,50	0,51	5,32	2,17	1,00	131	0,33	1,26
C	crista semi-circular	5,53	10,82	34,6	3	3,00	6,50	0,51	5,32	2,17	1,00	136	0,33	1,31
D	1 pilar ao invés de 2	5,53	10,82	34,6	3	3,00	6,50	0,51	5,32	2,17	1,00	140	0,33	1,35
Projeto em 3 ciclos														
E	teste D com crista reta	5,53	10,82	34,6	3	3,00	6,50	0,51	5,32	2,17	1,00	130	0,33	1,25
F	$p=4$ m à montante e jusante	5,53	10,82	34,6	3	4,00	6,50	0,51	5,32	1,63	1,00	146	0,25	1,41
G	$p=3$ m à montante; 4 m à jusante	5,53	10,82	34,6	3	Variável	6,50	0,51	5,32	Variável	1,00	130	Variável	1,25
H	aumento de α	7,64	10,3	33,6	3	3	6,50	0,74	5,17	2,17	1,00	130	0,33	1,29
Projeto em 2 ciclos														
K	$p=3$ m à montante e jusante	8,34	10,76	61,6	2	3	11,5	0,78	5,36	3,83	1,00	167	0,33	1,36
L	$p=4$ m à montante e jusante	8,34	10,76	61,6	2	4	11,5	0,78	5,36	2,88	1,00	175	0,25	1,42
M	Fundo inclinado à jusante	8,34	10,76	61,6	2	4	11,5	0,78	5,36	2,88	1,00	175	0,25	1,42
N	Fundo inclinado	8,34	10,76	61,6	2	Variável	11,5	0,78	5,36	3,29	1,00	172	Variável	1,40
Projeto Final														
P	2 ciclos conforme fig. 4.15	8,77	11,45	60,2	2	4	11,75	0,77	5,12	2,94	1,00	215	0,25	1,79

3. Projeto final - o teste P, cujos valores resultantes são mostrados na tabela 4.4, tem parâmetros ligeiramente alterados em relação ao teste L da fase de desenvolvimento. A figura 4.15 apresenta o projeto final do vertedor de 2 ciclos, com um comprimento total de 120,40 m, parede do vertedor com 4 m de altura e 0,50 m de espessura de crista chanfrada ao invés de arredondada a fim de facilitar a sua construção. Por razões estruturais a face de montante do vertedor tem uma inclinação de 1:8 e a face de jusante é vertical. Observando ainda a tabela 4.3, o incremento de 23% na descarga do teste P em relação ao teste L sugere que sob condições de descarga livre, a performance do vertedor labirinto é muito sensível a alterações do perfil da crista. Os autores comentam que o estudo feito por Hay e Taylor encontrou que a crista com perfil semicircular possui um coeficiente de descarga da ordem de 20% maior que o com perfil reto.

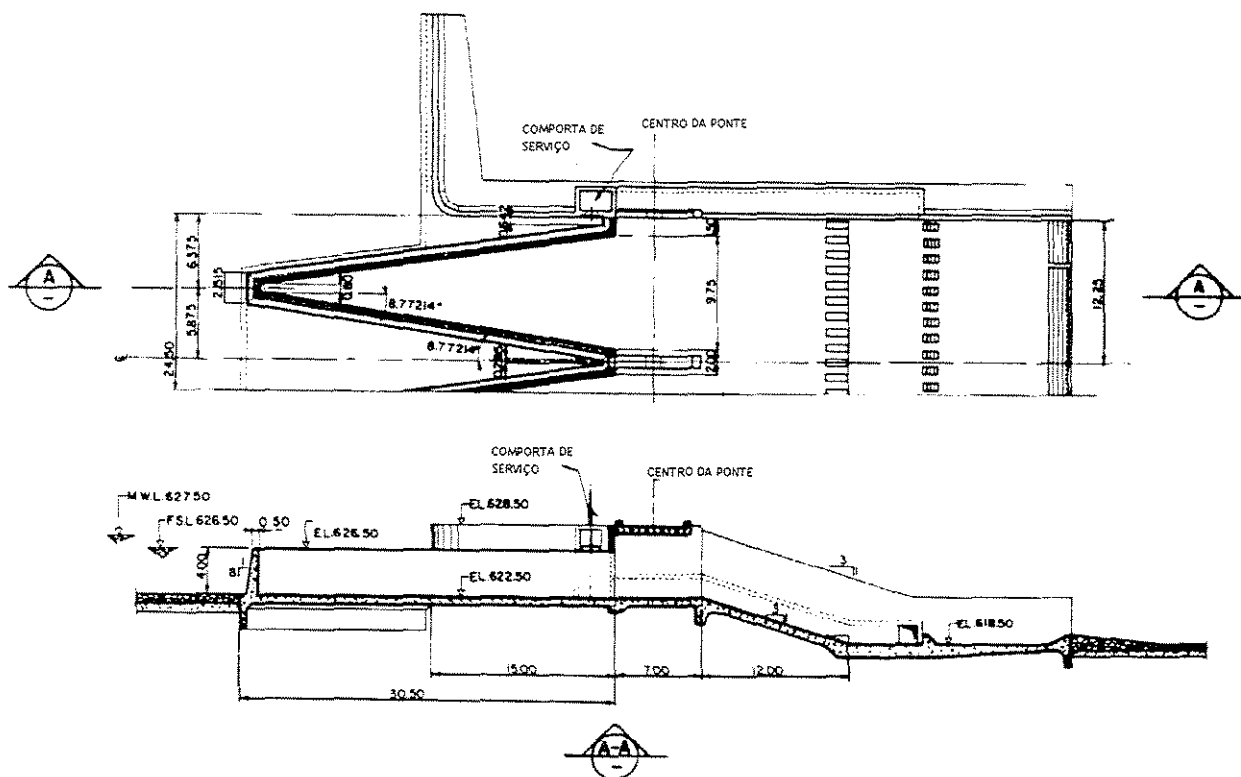


Figura 4.15 - Projeto final do vertedor labirinto com 2 ciclos apresentado por Tacail, Evans e Babb (1990).

Sitompul e Sharp (1995) apresentam um estudo demonstrando as vantagens dos vertedores labirinto no controle do nível d'água em áreas baixas próximas a rios, sujeitas anualmente a grandes inundações. Esta estrutura permite uma crista vertente, formada por ciclos geométricos dispostos repetidamente, significativamente maior que a largura do rio, possibilitando menores elevações do nível da água durante o período de intensas precipitações.

Citam o exemplo do vertedor da Barragem de Beni Bahdel na Argélia, que possui capacidade de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ e uma lâmina d'água de $0,50 \text{ m}$ de altura sobre uma crista de 1200 m de comprimento, contida em um canal de 80 m de largura. Para uma mesma altura de lâmina ($0,50 \text{ m}$), em um vertedor retilíneo comum passariam apenas $95 \text{ m}^3/\text{s}$.

Outra vantagem apresentada pelos vertedores labirinto é o da sua execução, pois como as paredes geralmente são verticais, possuem armadura, diminuindo o volume de concreto, e conseqüentemente simplificando as fundações da estrutura.

Citam ainda as vantagens econômicas do vertedor labirinto através da experiência da Indonésia em um projeto do Rio Ciwadas (terras baixas, a oeste de Java, região onde é cultivado arroz) de um barramento para suprir tanques de criação de peixes e camarão. Comparando-se com uma barragem típica com comporta de superfície para o controle de nível, os vertedores labirinto não só se mostraram mais fáceis na execução, mas também cerca de 25% mais baratos.

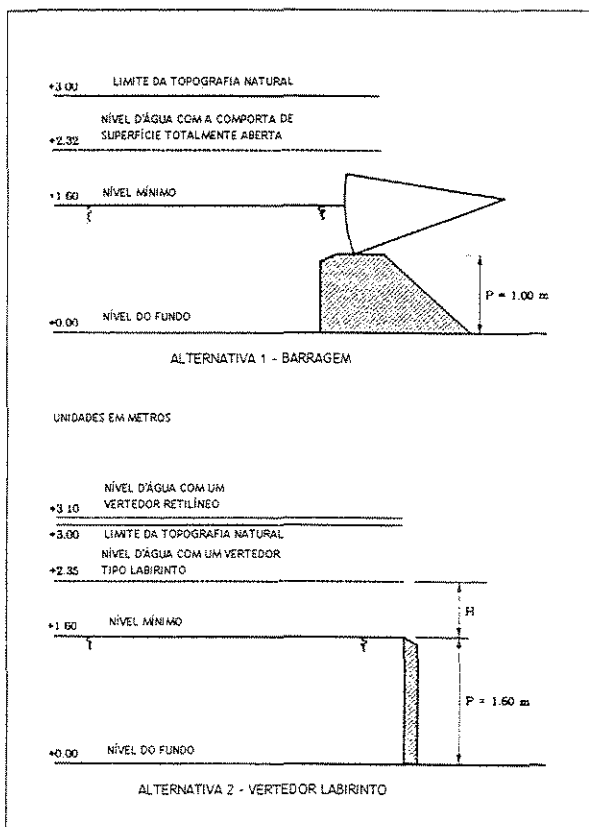


Figura 4.16 - Perfil de uma barragem comum e em labirinto para o caso da barragem Ciwadas, na Indonésia, apresentado por Sitompul e Sharp (1995).

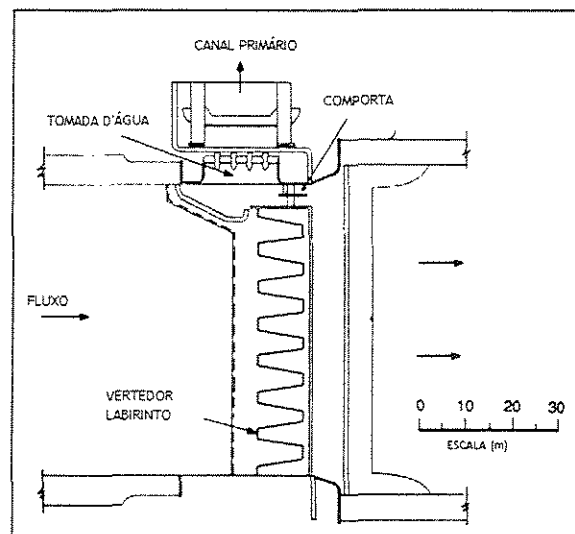


Figura 4.17 - Planta do vertedor em labirinto da barragem Ciwadas, na Indonésia, apresentadas por Sitompul e Sharp (1995).

Tullis, Amanian e Waldron (1995) apresentam dados e procedimentos para o projeto de vertedores labirinto com ângulos entre as paredes laterais entre 6° e 35°, e variações de perfis da crista. O procedimento permite que o ângulo das paredes e o número de ciclos variem até que o arranjo e capacidade sejam satisfatórios.

A solução é apresentada através de uma planilha eletrônica, que recebe informações sobre o escoamento a montante da crista, dados estimados para o número de ciclos e ângulo entre as paredes, e limitações para alguns dados como altura da parede do vertedor e perda na entrada, e automaticamente, calcula as outras dimensões para o vertedor labirinto (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Planilha de cálculo para vertedores labirinto apresentada por Tullis, Amanian e Waldron (1995).

Parâmetro (1)	Símbolo (2)	Valores (3)	Unid. (4)	Fonte/Equações/Observações (5)
(a) DADOS DO EMPREENDIMENTO				
Vazão máxima requerida	$Q_{máx}$		m ³ /s	valor dado
Nível máximo no reservatório	res		m	valor dado
Cota do fundo da barragem	---		m	valor dado
Cota da crista do vertedor	el		m	valor dado
Altura da lâmina d'água	H_t		m	$= res - el - perda$
(b) DADOS ADOTADOS				
Perda estimada na entrada	$Perda$		m	estimado
Número de ciclos	N		---	deve manter o parâmetro $w/P - 3$ a 4
Altura da parede do vertedor	P		m	selecione $P - 1,4.H_t$
Ângulo da parede lateral	α		graus	normalmente entre 8° e 16°
(c) DADOS CALCULADOS				
Espessura da parede do vertedor	t		m	$t=P/6$
Largura interna do vértice	A		m	selecione de t a $2t$
Largura externa do vértice	D		m	$D = A + 2 \cdot t \cdot \tan(45 - \alpha/2)$
Parâmetro H_t/P	H_t/P		---	---
Coefficiente de descarga	C_d		---	Equação 4.5
Compr. efetivo da crista	L		m	$1,5.Q_{máx}/[C_d.H_t1,5).(2.g)^{0,5}]$
Compr. da parede (paralelo ao fluxo)	B		m	$B=[L/(2.N)+t.\tan(45 - \alpha/2)]\cos(\alpha)+t$
Compr. da parede	L_1		m	$L_1=(B-t)/\cos(\alpha)$
Compr. efetivo da parede	L_2		m	$L_2=L_1-t.\tan(45 - \alpha/2)$
Compr. total das paredes	L_3		m	$L_3=N(2L_1+D+A)$
Distância entre ciclos	w		m	$w=2L_1.\sin(\alpha)+A+D$
Largura do vertedor	W		m	$W=N.w$
Compr. p/ um vertedor retilíneo	---		m	$1,5.Q/[C_d.H_t1,5).(2.g)^{0,5}]$; C_d para vertedor retilíneo
Parâmetro w/P	w/P		---	Normalmente entre 3 e 4
(d) VOLUME DE CONCRETO				
Volume de concreto das paredes	---		m ³	$vol = L_3.P.t$
Volume de concreto da base *	---		m ³	$vol = W.B.t$
Volume total	---		m ³	---

Cada variável de entrada pode ser alterada para determinar a influência no projeto, com isso, haverá muitas disposições no desenho do vertedor que atendam os requisitos do escoamento. A escolha final deverá ser baseada na alternativa que melhor englobe as condições de todo o projeto: eficiência, custo efetivo e boas condições de dissipação da energia.

O método apresentado por Tullis, Amanian e Waldron (1995), para o projeto de vertedores labirinto, usa a equação básica para vertedores retilíneos:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_t^{1,5} \quad (4.3)$$

em que: C_d - coeficiente de descarga;

g - aceleração da gravidade;

L - comprimento efetivo do vertedor; e,

H_t - altura da lâmina sobre a crista, incluindo a carga cinética.

Para vertedores retilíneos sem contrações laterais e com aproximação normal, o comprimento efetivo L é o próprio comprimento do vertedor. O coeficiente de descarga depende do parâmetro H_t/P , da espessura da parede t , da configuração da crista e da aeração da lâmina. Na figura 4.18 são apresentadas as variações do coeficiente de descarga com a relação de H_t/P para um vertedor retilíneo aerado com a relação $t/P=1/6$ e com a crista arredondada para montante com raio de $P/12$. A curva foi obtida a partir de 3 séries de dados obtidos por diferentes pesquisadores da Utah Water Research Laboratory - UWRL (Armanian 1987, Baasiri 1992 e Waldron 1994).

Para os vertedores labirinto, o comprimento efetivo usado na equação (4.3) é definido na figura 4.19. O coeficiente de descarga depende das mesmas variáveis que influenciam um vertedor retilíneo somado à disposição dos vértices de montante e jusante, e do ângulo das paredes do labirinto.

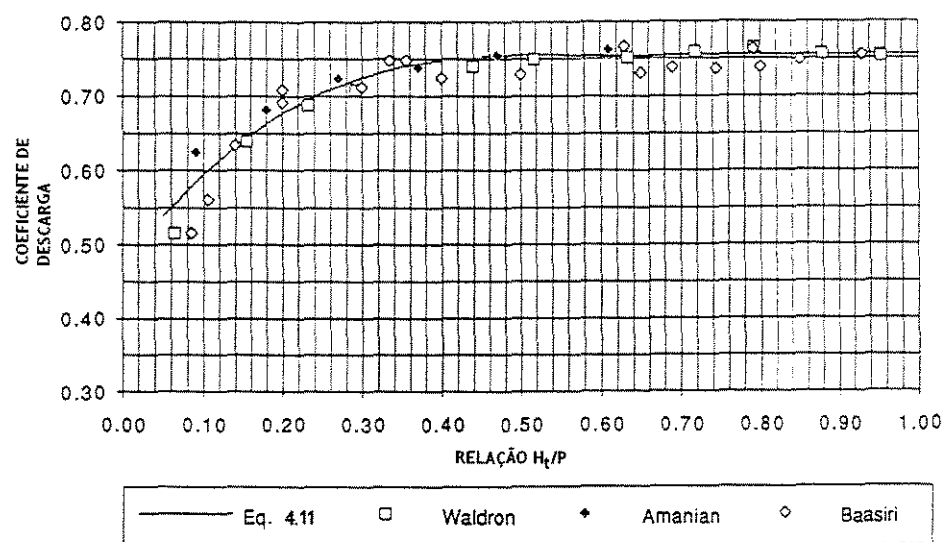


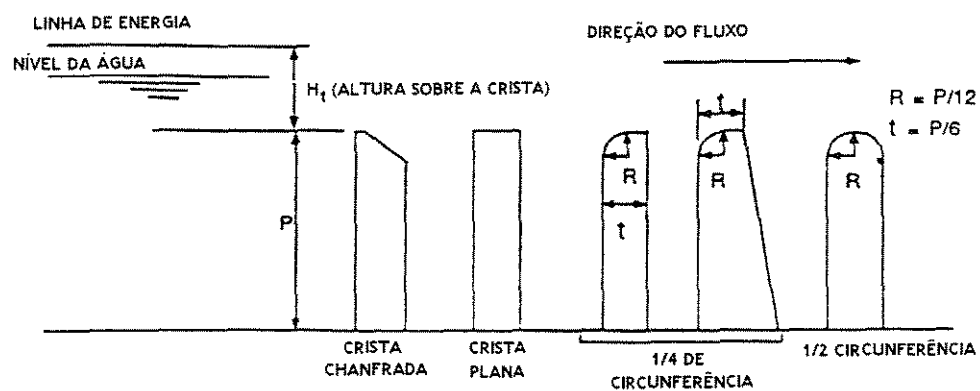
Figura 4.18 - Coeficiente de descarga para vertedores retilíneos apresentado por Tullis, Amanian e Waldron (1995).

O autor comenta a conclusão de Amanian (1987), de que a altura, a espessura e o perfil da crista têm influência significativa no coeficiente de descarga. Na figura 4.19 são apresentadas 4 opções básicas de perfis para cristas: crista biselada ou chanfrada, plana, um quarto de círculo e arredondada (meia-lua).

A espessura das paredes é determinada por uma análise estrutural, e depende da altura da crista, esforços hidráulicos, esforços por objetos na água (gelo, galhos de árvores) e características locais. Por razões de economia e resistência, é interessante fazer a parede de jusante inclinada. Isto não influencia o coeficiente de descarga. Para que os coeficientes apresentados em seu artigo sejam aplicáveis, o autor recomenda que o raio de curvatura da crista seja de $R=P/12$ (figura 4.19).

Dependendo da configuração do canal de entrada e de sua localização, o ângulo de aproximação do escoamento β pode não ser perpendicular ao eixo do vertedor. Dados obtidos para $\beta=15^\circ$, 30° e 45° , identificaram influência na capacidade do vertedor, com reduções no escoamento de 1%, 4% e 6% respectivamente. Por isso o

autor recomenda o uso de ângulos de entrada β inferiores a 15° . Os dados apresentados em seu artigo utilizaram $\beta=0^\circ$



TIPOS DE CRISTA

COMPRIMENTO EFETIVO DA CRISTA: $L = 2 \cdot N \cdot (A + L2)$
 COMPRIMENTO TOTAL DA CRISTA = $N \cdot (2 \cdot L1 + A + D)$
 $L1$ = COMPRIMENTO REAL DA PAREDE
 $L2$ = COMPRIMENTO EFETIVO DA PAREDE
 B = COMPRIMENTO DO LABIRINTO
 N = NÚMERO DE CICLOS

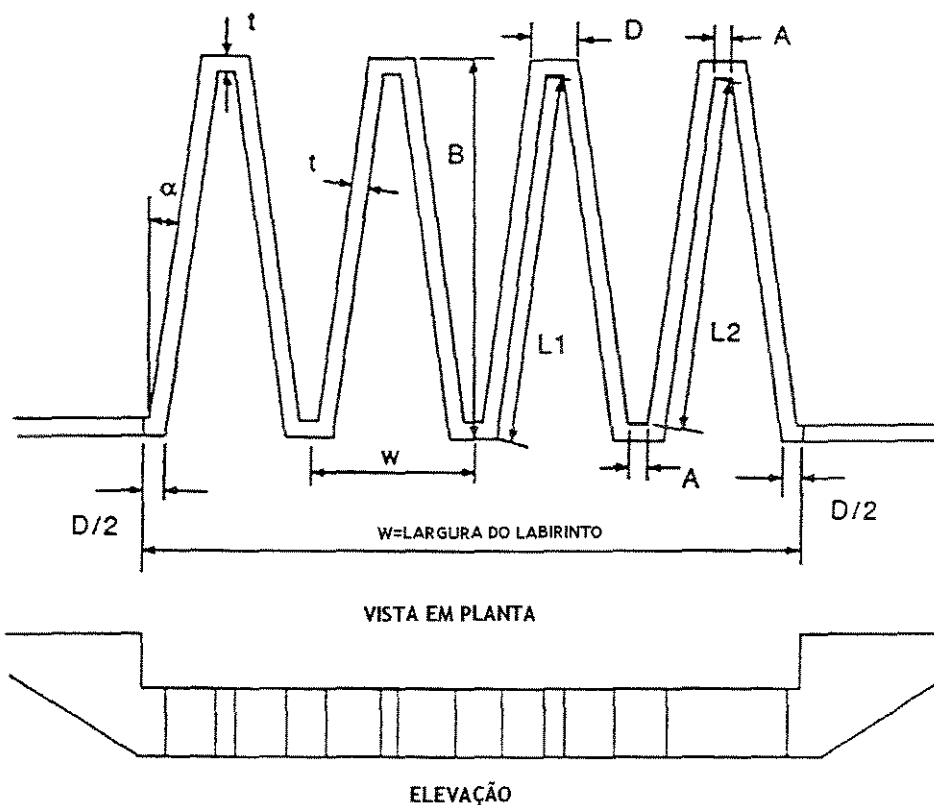


Figura 4.19 - Disposição e detalhes de um vertedor labirinto apresentado por Tullis, Amanian e Waldron (1995).

Tullis, Amanian e Waldron (1995) apresentam também, baseado nas pesquisas do Utah Water Research Laboratory - UWRL, a determinação do valor do coeficiente de descarga C_d para uma série de variáveis estudadas. Os coeficientes de descarga para vertedores labirinto são mostrados no gráfico da figura 4.20, para ângulo α entre 6° e 35° (Amanian 1987, Baasiri 1992, Tullis 1993 e Waldron 1994).

Para facilitar o uso de uma planilha eletrônica, equações (4.4 a 4.11) foram determinadas para uma variação de C_d com a relação H_t/P . As equações são válidas para vértices com $t \leq (A) \leq 2t$; $(H_t/P) < 0,9$; $(t)=P/6$; crista na forma de um quarto de circunferência e raio de curvatura da crista $R=P/12$.

$$C_d = 0,49 - 0,24 \cdot (H_t / P) - 1,20 \cdot (H_t / P)^2 + 2,17 \cdot (H_t / P)^3 - 1,03 \cdot (H_t / P)^4 \quad \text{válida para } \alpha=6^\circ \quad (4.4)$$

$$C_d = 0,49 + 1,08 \cdot (H_t / P) - 5,27 \cdot (H_t / P)^2 + 6,79 \cdot (H_t / P)^3 - 2,83 \cdot (H_t / P)^4 \quad \text{válida para } \alpha=8^\circ \quad (4.5)$$

$$C_d = 0,49 + 1,06 \cdot (H_t / P) - 4,43 \cdot (H_t / P)^2 + 5,18 \cdot (H_t / P)^3 - 1,97 \cdot (H_t / P)^4 \quad \text{válida para } \alpha=12^\circ \quad (4.6)$$

$$C_d = 0,49 + 1,00 \cdot (H_t / P) - 3,57 \cdot (H_t / P)^2 + 3,82 \cdot (H_t / P)^3 - 1,38 \cdot (H_t / P)^4 \quad \text{válida para } \alpha=15^\circ \quad (4.7)$$

$$C_d = 0,49 + 1,32 \cdot (H_t / P) - 4,13 \cdot (H_t / P)^2 + 4,24 \cdot (H_t / P)^3 - 1,50 \cdot (H_t / P)^4 \quad \text{válida para } \alpha=18^\circ \quad (4.8)$$

$$C_d = 0,49 + 1,51 \cdot (H_t / P) - 3,83 \cdot (H_t / P)^2 + 3,40 \cdot (H_t / P)^3 - 1,05 \cdot (H_t / P)^4 \quad \text{válida para } \alpha=25^\circ \quad (4.9)$$

$$C_d = 0,49 + 1,69 \cdot (H_t / P) - 4,05 \cdot (H_t / P)^2 + 3,62 \cdot (H_t / P)^3 - 1,10 \cdot (H_t / P)^4 \quad \text{válida para } \alpha=35^\circ \quad (4.10)$$

$$C_d = 0,49 + 1,46 \cdot (H_t / P) - 2,56 \cdot (H_t / P)^2 + 1,44 \cdot (H_t / P)^3 \quad \text{válida para } H_t/P < 0,7 \text{ e } \alpha=90^\circ \quad (4.11)$$

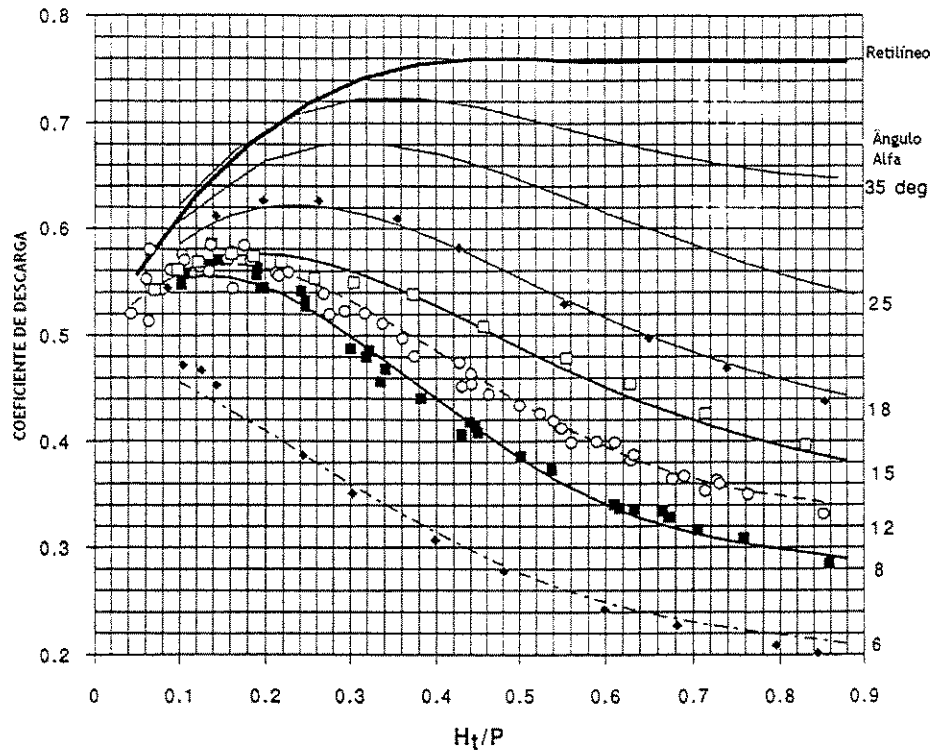


Figura 4.20 - Coeficiente de descarga para vertedores labirinto apresentado por Tullis, Amanian e Waldron (1995).

Tullis, Amanian e Waldron (1995) ainda apresentam uma demonstração de seu procedimento de cálculo através de um exemplo, baseado em dados de um modelo de estudo conduzido pelo UWRL para o vertedor labirinto da barragem do lago Standley, localizado próximo de Denver - EUA. A tabela 4.6 apresenta os dados e resultados na forma de uma planilha eletrônica.

O primeiro grupo de informações é referente a dados hidrológicos do local, incluindo níveis e descargas máximas. O segundo grupo corresponde aos dados considerados. O terceiro, aos cálculos para a obtenção da geometria do vertedor e às equações utilizadas. O autor sugere que para manter o projeto do vertedor de forma econômica e com boa eficiência, deve-se resguardar de alguns limites: $H_t/P < 0,9$ e $3 \leq w/P \leq 4$. E por fim, uma simples análise do volume de concreto consumido pelo vertedor.

Tabela 4.6 - Planilha com exemplo do procedimento de cálculo para vertedores labirinto apresentado por Tullis, Amanian e Waldron (1995).

Parâmetro (1)	Símbolo (2)	Valores (3)	Unid. (4)	Fonte/Equações/Observações (5)
(a) DADOS DO EMPREENDIMENTO				
Vazão máxima requerida	Q_{max}	1.538	m ³ /s	valor dado
Nível máximo no reservatório	res	1680,91	m	valor dado
Cota do fundo da barragem	---	1675,75	m	valor dado
Cota da crista do vertedor	el	1678,80	m	valor dado
Altura da lâmina d'água	H_t	1,975	m	= $res - el - perda$
(b) DADOS ADOTADOS				
Perda estimada na entrada	$Perda$	0,13	m	estimado
Número de ciclos	N	13	---	deve manter o parâmetro $w/P \sim 3$ a 4
Altura da parede do vertedor	P	3,05	m	selecione $P \sim 1,4.H_t$
Ângulo da parede lateral	α	8	graus	normalmente entre 8° e 16°
(c) DADOS CALCULADOS				
Espessura da parede do vertedor	t	0,51	m	$t=P/6$
Largura interna do vértice	A	0,95	m	selecione de t a $2t$
Largura externa do vértice	D	1,84	m	$D = A + 2 \cdot t \cdot \tan(45^\circ - \alpha/2)$
Parâmetro H_t/P	H_t/P	0,648	---	---
Coeficiente de descarga	C_d	0,3256	---	Equação 4.5
Compr. efetivo da crista	L	576,60	m	$1,5 \cdot Q_{max} / [(C_d.H_t^{1,5}).(2.g)^{0,5}]$
Compr. da parede (paralelo ao fluxo)	B	22,72	m	$B = [L/(2.N) + t \cdot \tan(45^\circ - \alpha/2)] \cos(\alpha) + t$
Compr. da parede	L_1	22,45	m	$L_1 = (B - t) / \cos(\alpha)$
Compr. efetivo da parede	L_2	22,01	m	$L_2 = L_1 - t \cdot \tan(45^\circ - \alpha/2)$
Compr. total das paredes	L_3	620	m	$L_3 = N(2L_1 + D + A)$
Distância entre ciclos	w	9,42	m	$w = 2L_1 \cdot \sin(\alpha) + A + D$
Largura do vertedor	W	123	m	$W = N \cdot w$
Compr. p/ um vertedor retilíneo	---	249	m	$1,5 \cdot Q / [(C_d.H_t^{1,5}).(2.g)^{0,5}]$; C_d para vertedor retilíneo
Parâmetro w/P	w/P	3,09	---	Normalmente entre 3 e 4
(d) VOLUME DE CONCRETO				
Volume de concreto das paredes	---	293	m ³	$vol = L_3 \cdot P \cdot t$
Volume de concreto da base *	---	431	m ³	$vol = W \cdot B \cdot t$
Volume total	---	655	m ³	---

* Para a base de concreto foi assumida a mesma espessura das paredes.

Na tabela 4.7, o autor apresenta um dimensionamento do vertedor para diferentes ângulos entre as paredes, mostrando que isto afeta significativamente, além da economia, a capacidade do vertedor. Pequenos valores de α proporcionam um maior comprimento da crista, aumentando assim sua vazão e produzindo pequenas elevações no nível do reservatório, mas também, aumentando o comprimento B do vertedor gerando maiores custos de execução. Os valores que apresentam boas condições estão entre os ângulos de 7° e 16°.

Tabela 4.7 - Variação dos parâmetros do vertedor para uma mesma vazão e para vários valores do ângulo α , apresentada por Tullis, Amanian e Waldron (1995).

ÂNGULO α (1)	LARGURA W (m) (2)	COMPR. B (m) (3)	Nº DE CICLOS N (4)	Cd (5)	COMPR. EFETIVO L (m) (6)
6°	139	20,2	20,0	0,232	811
7°	126	20,1	16,5	0,280	670
8°	122	20,2	14,0	0,327	572
9°	120	19,9	13,5	0,346	543
10°	127	20,6	12,5	0,359	523
12°	133	20,1	12,0	0,381	493
16°	136	20,3	10,0	0,445	421
32°	176	20,2	6,5	0,604	311
49°	213	20,1	4,5	0,682	275
Retilíneo	249	---	---	0,755	249

* Não aplicável

Outra variável importante que influencia o projeto e a economia do vertedor é o número de ciclos N. Quando o número de ciclos é reduzido, o comprimento B da parede cresce e pode torna-se igual ou maior que a largura w do módulo. Isto aumenta o volume de concreto e o seu custo. A tabela 4.8 apresenta os valores de alguns parâmetros do vertedor com a variação do número de ciclos. Os dados mostram que se o número de ciclos cresce, tem pequeno efeito na largura do vertedor, mas diminui B, aumenta w e diminui o volume de concreto. A seleção de muitos ou poucos ciclos pode não proporcionar um projeto de vertedor com boas condições hidráulicas e econômicas. O autor recomenda o critério $3 \leq w/P \leq 4$ mantendo o comprimento e a largura proporcionais, comprovando a recomendação de Hay e Taylor (1970) de que o valor desta relação deve ser superior a 2.

Tabela 4.8 - Variação dos parâmetros do vertedor para uma mesma vazão e para vários valores do número de ciclos, apresentada por Tullis, Amanian e Waldron (1995).

NÚMERO DE CICLOS * N	COMPR. DA BASE- B (m) (2)	LARGURA DA BASE- W (m) (3)	COMPR. DO VERTEDOR - L ₃ (m) (4)	VOLUME DE CONCRETO (m³) (5)	RELAÇÃO w/P (6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
7	40,5	103	1209	3034	4,83
8	35,4	106	1124	2821	4,34
9	31,4	108	1058	2655	3,95
10	28,3	111	1006	2525	3,64
11	25,6	114	963	2417	3,39
12	23,5	116	928	2329	3,18
13	21,6	119	899	2255	3,00
14	20,1	122	874	2192	2,85
15	18,9	124	852	2138	2,71
16	17,7	127	833	2092	2,60

* N = 10 a 13 é o intervalo preferencial para $\alpha = 8^\circ$

Um outro fator citado por Tullis, Amanian e Waldron (1995), relacionado com a escolha do projeto do vertedor labirinto, é o escoamento nos canais de aproximação e descarga. Se a lâmina d'água é alta e o ângulo α e o número de ciclos foi selecionado para apresentar a menor largura possível do vertedor, conseqüentemente resultará em grandes profundidades e altas velocidades. Isto potencializaria a correnteza e poderia dificultar o projeto de estruturas de dissipação a jusante. Os custos para escavação e construção deverão ser analisados e incorporados nos outros custos para a decisão final do projeto.

Melo, Ramos e Magalhães (2002) apresentam um estudo sobre vertedores labirinto de apenas um ciclo (figura 4.21). Após ensaios, verificou-se que o grau de convergência das paredes do canal (muro guia) em que o vertedor está inserido, influencia a capacidade de vazão da soleira. No artigo é apresentada uma proposta de inclusão desta influência dos ângulos dos muros, na curva do cálculo de vazão, resultando na expressão (4.12):

$$Q_L = k_\theta \mu_w \times w \times \sqrt{2g} \times h^{1,5} \quad (4.12)$$

em que: k_θ - parâmetro corretivo para incluir o efeito da convergência θ dos muros do canal.

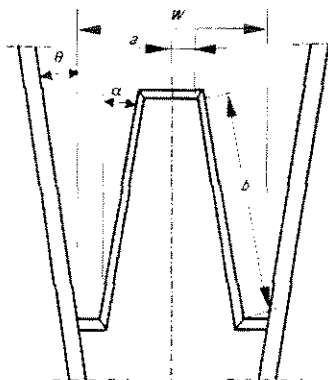


Figura 4.21 - Vertedor de um ciclo do estudo de Melo, Ramos e Magalhães (2002)

Os métodos de cálculo para capacidade de vazão de vertedores em labirinto foram desenvolvidos para situações em que o número de ciclos é elevado, tornando pouco relevante a influência de determinados parâmetros relacionados com as condições de aproximação e confinamento lateral, porém, após análise dos resultados, foi possível verificar que, em vertedores de um ciclo, para valores de H_T/P menores que 0,44, a influência do ângulo θ proporciona um aumento significativo na capacidade de vazão para valores entre 0° e 30° . Para valores de θ acima de 30° , a capacidade de vazão deixa de ser influenciada. Na figura 4.22 são apresentados gráficos que relacionam k_θ e θ e k_θ e h/p .

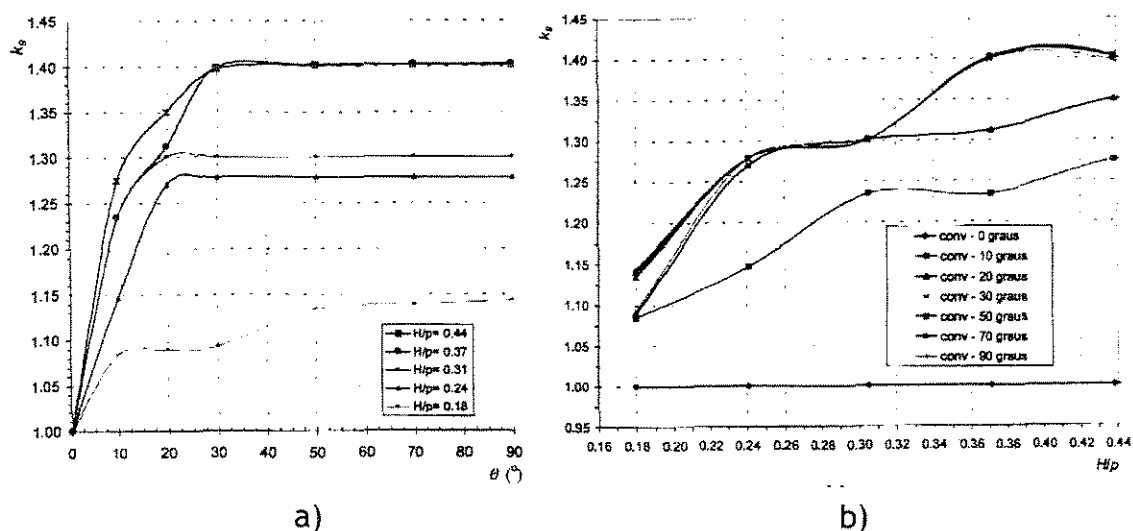


Figura 4.22 - Variação do parâmetro de convergência dos muros do canal, k_θ do estudo de Melo, Ramos e Magalhães (2002), onde:

- a) representação em função de θ , para valores fixos de $H/P < 0,44$;
- b) representação em função de $H/P < 0,44$, para valores fixos de $0^\circ < \theta < 90^\circ$.

Apesar dos resultados obtidos poderem ser considerados satisfatórios, **Melo, Ramos e Magalhães (2002)** consideram que devem ser conduzidos estudos adicionais com intenção de se obter a lei de variação do parâmetro de convergência para uma faixa maior do fator h/p e analisar a sua dependência do fator de amplificação do desenvolvimento da crista, l/w .

Falvey (2003) publica um manual reunindo estudos sobre os vertedores labirinto, citando, além dos artigos já apresentados aqui anteriormente, os tipos de perfil da crista utilizados nos vertedores (figura 4.23). Dependendo da sua forma, sua construção pode tornar-se mais cara devido a quantidade e disposição das fôrmas do concreto, e podem ocorrer pequenas variações no coeficiente de descarga para pequenas lâminas d'água.

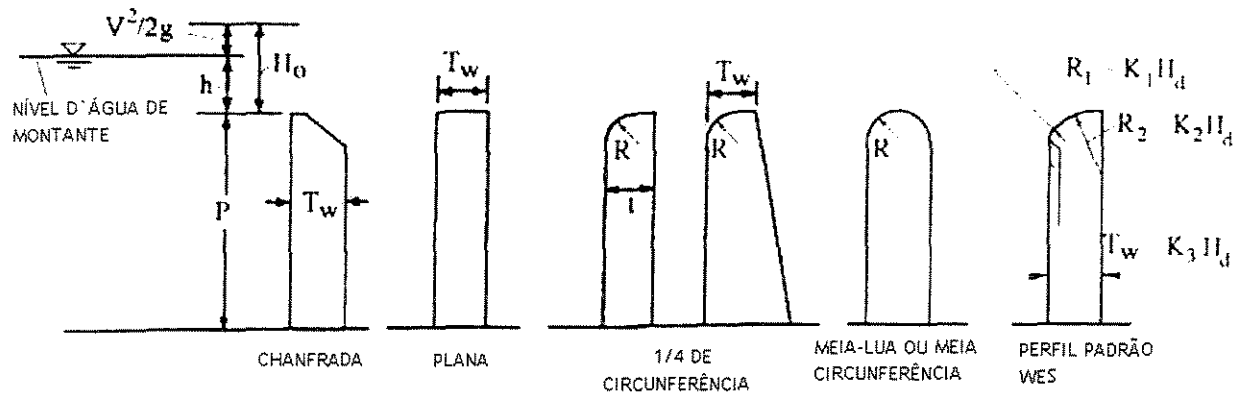


Figura 4.23 - Formas de perfis de cristas usadas na maioria dos vertedores labirinto apresentado por Falvey (2003).

Os perfis chanfrados ou planos apresentam grande facilidade de construção, porém, o vértice de montante do perfil provoca pequena turbulência no escoamento, diminuindo o coeficiente de descarga, obtido pela equação de Rehbock (1929) para unidades métricas:

$$C_d = 0,605 + 0,08 \frac{h}{P} + \frac{1}{h(\text{mm})} \quad (4.13)$$

A forma de ¼ de circunferência, com testes conduzidos por Tullis, Amanian e Waldron (1995) apresentada anteriormente, é um dos perfis mais utilizados nos vertedores labirinto. Possui coeficiente de descarga superior ao perfil plano ou chanfrado e também é de fácil construção. O coeficiente de descarga pode ser obtido pelas equações 4.4 a 4.11.

O perfil meia-lua ou meia circunferência é também muito utilizado e o seu coeficiente de descarga é bastante influenciado pelo escoamento na crista. Seu custo de construção é um pouco maior que o citado anteriormente devido à dificuldade da fôrma do concreto. Uma opção para baixar o custo da execução seria a utilização da crista pré-moldada e montada posteriormente sobre as paredes do vertedor. Quatro condições de escoamento são possíveis: pressurizada, atmosférica, subatmosférica e cavitante (figura 4.24).

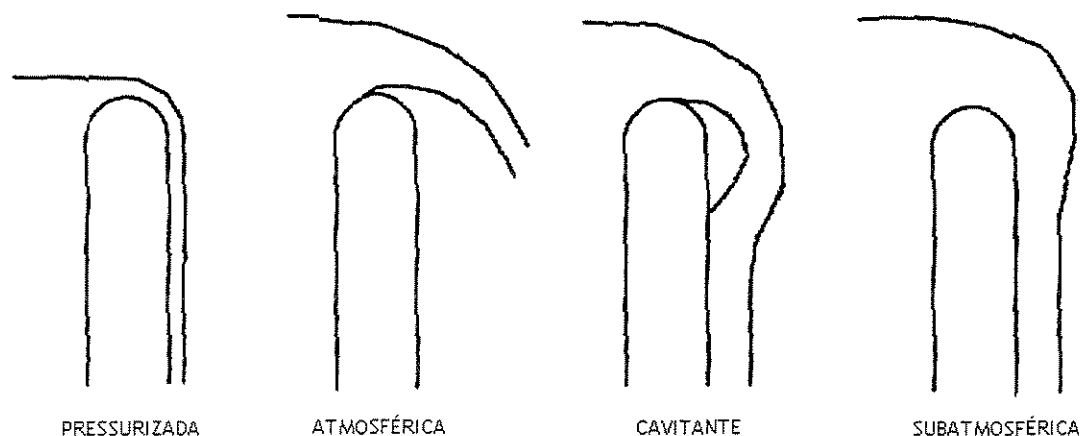


Figura 4.24 - Definição das condições de escoamento para o perfil meia-lua apresentado por Falvey (2003).

O escoamento pressurizado é análogo ao escoamento em um perfil em arco ou tipo WES, a pressão ao longo de toda a crista é positiva (acima da atmosférica). À medida que a lâmina d'água cresce sobre a crista, esta descola da parede do vertedor projetando-se livremente a jusante, tornando-se atmosférica. Quando a lâmina aumentar volta a colar-se na parede do vertedor tornando-se subatmosférica. Se a lâmina não for aerada, poderá tornar-se cavitante, tornando o escoamento bastante instável. Falvey (2003) comenta o trabalho de Indlekofer e Rouvé (1975) que apresentaram os coeficientes de descarga para o perfil meia-lua (figura 4.25), expressos em função do raio da curvatura do perfil, da altura do vertedor e da altura da lâmina d'água sobre o vertedor. O limite entre o escoamento pressurizado e o subatmosférico ou aerado ocorre com valores de H_0/R próximos de 1,3.

$$C_d = f\left(\frac{H_0}{R}, \frac{H_0}{P}\right)$$

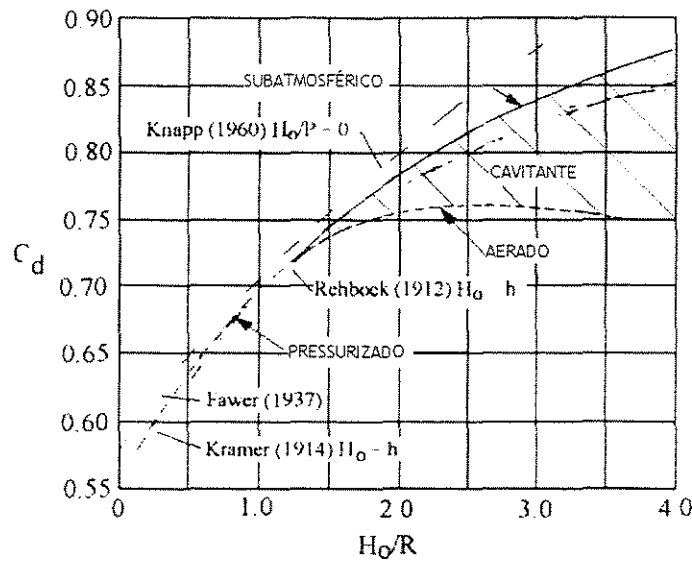


Figura 4.25 - Coeficiente de descarga para perfil meia circunferência do estudo de Indlekofer e Rouvé (1975) apresentado por Falvey (2003).

Falvey (2003) comenta também o trabalho feito por Babb (1976), que para o estudo do modelo do vertedor labirinto da barragem de Boardman, o escoamento pressurizado ocorreu para valores de H_0/P menores que 0,3, equivalente a valores de H_0/R menores que 3,6. Babb (1976) ainda verificou que para valores de H_0/R maiores que 3,6, a lâmina projeta-se livremente, voltando a ser aerada.

Outro tipo de perfil citado por Falvey (2003) é o perfil em arco ou padrão WES, definido pela trajetória do escoamento sobre um vertedor de crista chanfrada mostrado na figura 4.23. A área traçada pela lâmina d'água é preenchida com concreto, tornando a pressão atmosférica ao longo de seu trajeto. O autor cita o trabalho de Magalhães e Lorena (1989), que recomendam que o perfil seja estendido além do cume da crista, como é mostrado na figura 4.26. Com esta extensão, os coeficientes de descarga devem ser os mesmos apresentados na figura 4.27.

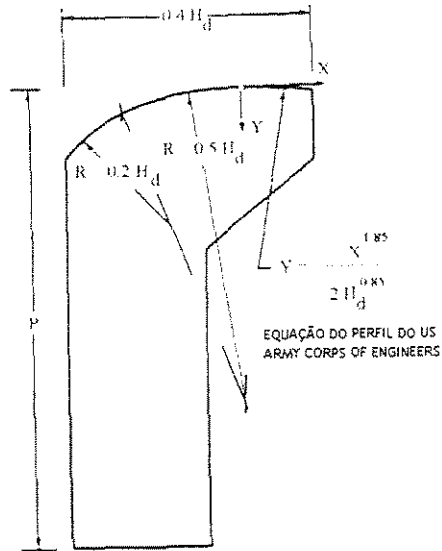


Figura 4.26 - Perfil em arco ou tipo WES do estudo de Magalhães e Lorena (1985) apresentado por Falvey (2003).

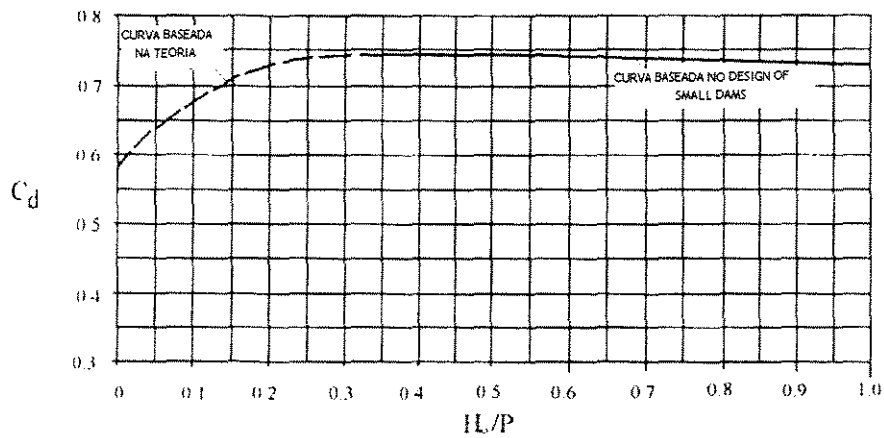


Figura 4.27 - Coeficiente de descarga para perfil em arco ou tipo WES apresentado por Falvey (2003).

A equação da curva do perfil recomendada pelo US Army Corps of Engineers é dada por:

$$Y = \frac{X^{1.85}}{2 \times H_d^{0.85}} \quad (4.14)$$

A descarga é dada pelo Bureau of Reclamation (1974) por:

$$Q = C \times L \times H_d^{3/2} \quad (4.15)$$

E o coeficiente de descarga C é dado por:

$$C = \frac{2}{3} \sqrt{2 \times g} \times C_d \quad (4.16)$$

O uso deste perfil requer que o comprimento do vértice de montante do vertedor seja tão grande quanto a largura da crista, pois caso contrário, a descarga sobre o vertedor seria menor devido à interferência das lâminas d'água a jusante. Este perfil, do ponto de vista econômico, não seria o mais recomendado, pois o custo das fôrmas do concreto seria muito alto, além da maior dificuldade da sua execução.

Outra citação feita por Falvey (2003) em seu manual, é sobre o comprimento de interferência das lâminas d'água no vértice de montante do vertedor. Esta interferência pode diminuir o coeficiente de descarga (figura 4.28).

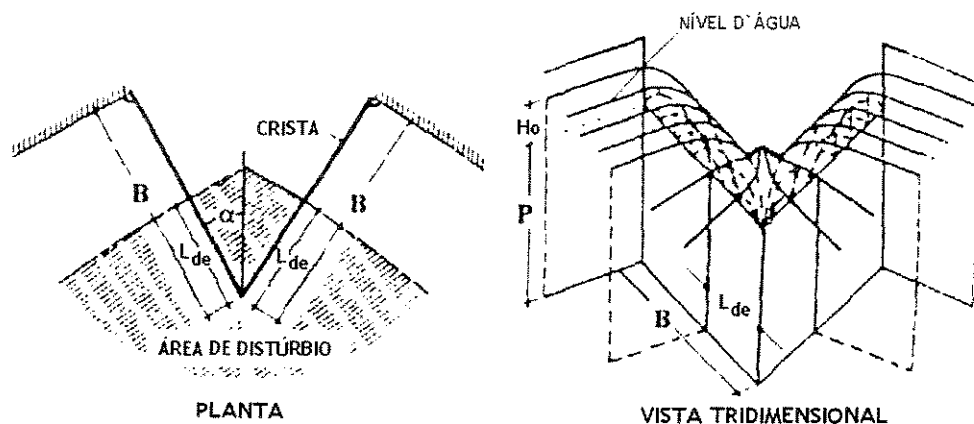


Figura 4.28 - Interferência das lâminas estudada por Indlekofer e Rouvé (1975) e apresentada por Falvey (2003).

É dada pela equação 4.17.

$$\frac{L_{de}}{H_0} = 6,1 \cdot e^{-0,052 \cdot \alpha} \quad (4.17)$$

O valor da relação L_{de}/B deve ser menor que 0,3. Para valores desta relação maiores que 0,5, a redução no coeficiente de descarga é enorme, reduzindo muito a eficiência do vertedor.

Outra citação importante feita por **Falvey (2003)** é sobre a condução do escoamento no canal de descarga. Para acelerar o escoamento e prevenir a submergência do vertedor, o canal de descarga é geralmente feito em rampa até o leito natural do rio. Dependendo da sua disposição pode haver a formação de ondas supercríticas, e sua propagação pode resultar no galgamento dos muros laterais do canal. A formação destas ondas pode ser observada no modelo do vertedor de Boardman - EUA (figura 4.29). Se o número de ciclos do vertedor for relativamente grande, estas ondas se interagem tornando o escoamento uniforme, como o exemplo do modelo do vertedor da barragem UTE (figura 4.30).

Falvey (2003) ainda comenta a solução de alguns projetistas para minimizar a formação das ondas: a colocação de difusores ou pequenos obstáculos ao longo do canal de descarga. No vertedor de Quincy - EUA, foram colocados estes difusores logo abaixo dos vértices de jusante do vertedor. Contudo, segundo **Falvey (2003)**, como mostra a figura 4.29, estes difusores são geralmente dispostos na zona de simetria do escoamento, não fazendo quase ou nenhum efeito sobre as ondas, sendo assim desaconselháveis para aplicação.

A fim de reduzir os efeitos da rampa de jusante e melhorar o escoamento sobre o vertedor, **Falvey (2003)** recomenda que a disposição do canal de descarga seja, sempre que possível, em rampa com uma inclinação de 6 % , com seu início no

mesmo nível do lado de montante do vertedor, como mostra a figura 4.31. Esta disposição diminui a tendência de submergência do vertedor e melhora a aeração na crista.

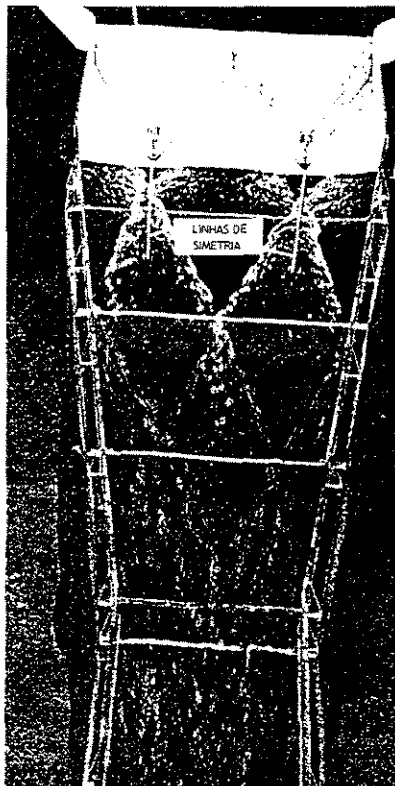


Figura 4.29 - Ondas supercríticas do modelo do vertedor de Boardman estudo por Babb (1976) e apresentado por Falvey (2003).

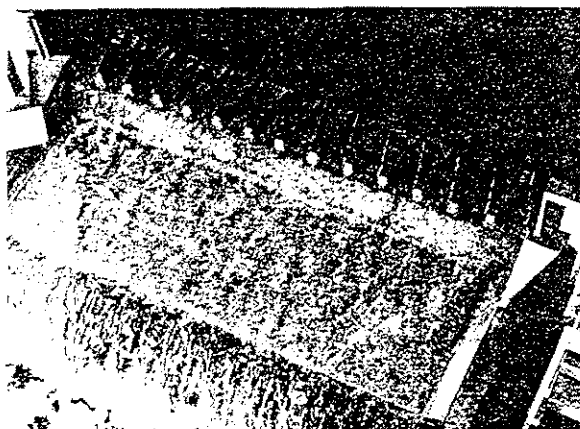


Figura 4.30 - Canal de descarga do modelo do vertedor da barragem UTE estudo por Houston (1982) e apresentado por Falvey (2003).

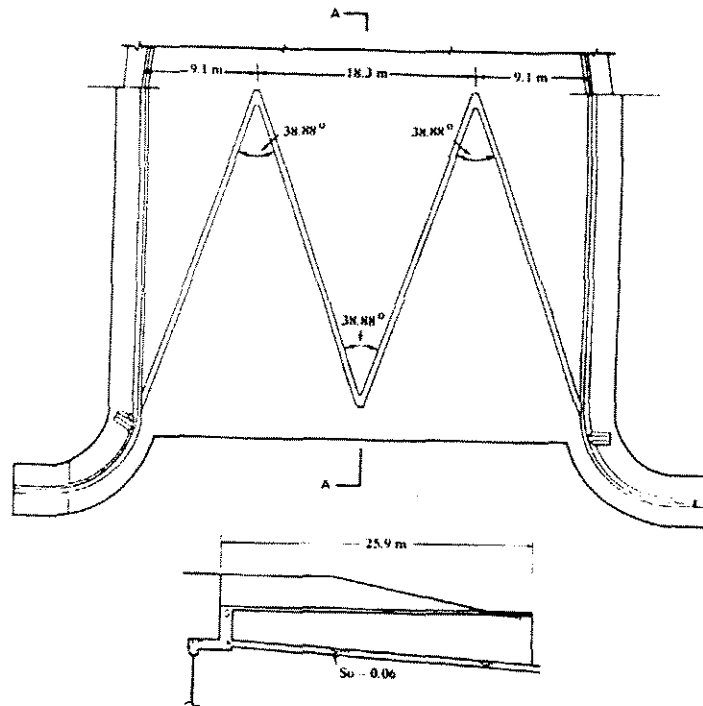


Figura 4.31 -Vertedor de Boardman estudado por Babb (1976) e apresentado por Falvey (2003).

Falvey (2003) cita também em seu manual, as ondulações da lâmina d'água sobre o vertedor labirinto que provocam vibrações durante baixos escoamentos, acrescentando as diversas tentativas dos projetistas em cessar estas ondulações. Dentre elas, e a que realmente trouxe resultados a este problema, é o trabalho de Hinchliff e Houston (1984) que recomendam a colocação de pilares sobre a crista vertente, distantes do vértice de jusante entre 8 a 10% do comprimento da parede do vertedor. Estes pilares foram utilizados no vertedor da barragem de Flamingo - EUA, como mostrado na figura 4.32.

Apesar da preocupação de Hinchiff e Houston (1984) em posicionar o pilar sobre o vertedor, não foi mencionada sua largura para permitir uma boa aeração da lâmina. Fazendo uma analogia ao artigo Howe (1955) que trata da demanda de ar para um vertedor, pode-se aplicar a formulação apresentada para a determinação da largura do pilar para a aeração da lâmina d'água.

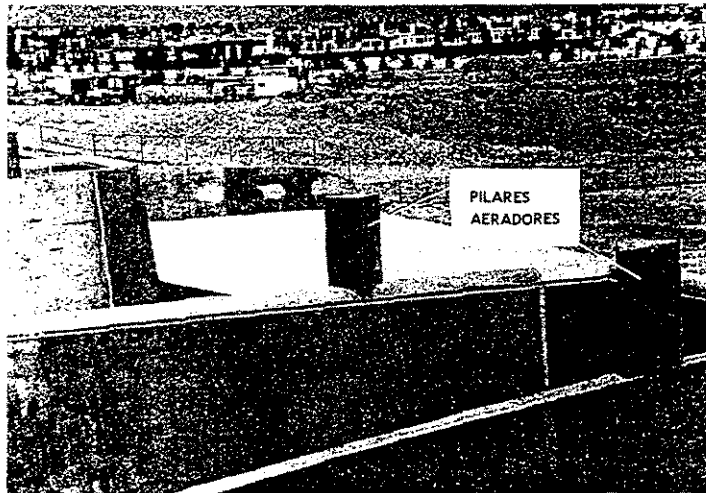


Figura 4.32 - Aplicação de pilares aeradores no Vertedor de Flamingo - EUA apresentado por Falvey (2003).

Howe (1955) apresenta a equação de Rehbock para vertedores, com unidades em pés (equação 4.18):

$$q = \frac{2}{3} \cdot \left[0,605 + 0,08 \cdot \frac{H_0}{P} + \frac{1}{305 \cdot H_0} \right] \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_0^{\frac{3}{2}} \quad (4.18)$$

em que:

- q - vazão no vertedor em pés³/s;
- H₀ - altura da lâmina d'água em pés;
- P - altura da parede do vertedor em pés;
- g - aceleração da gravidade em pés /s².

O fluxo de ar através de um orifício é dado por (equação 4.19):

$$q_a = 0,61 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{0,002 \cdot Pe}{\rho}} \quad (4.19)$$

em que:

- q_a - vazão de aeração em pés³/s;

S - área da passagem de ar em pés²;

P_e - peso específico da água igual a 62,4 lbf/pés³;

ρ - 0,0024 lbf/pés³ para uma temperatura de 60°F.

O valor da relação q_a/q pode ser obtido através do ábaco da figura 4.33.

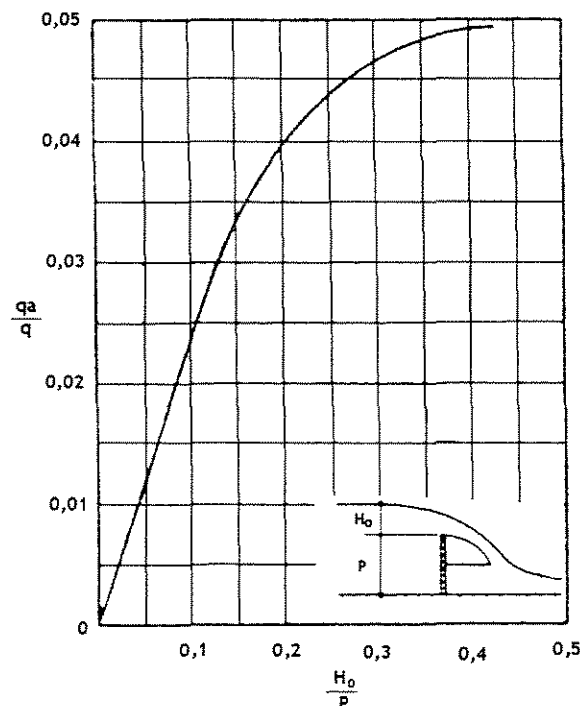


Figura 4.33 - Ábaco para dimensionamento da quantidade de ar para aeração de vertedores, apresentado por Howe (1955).

Uma solução apresentada para a vibração provocada pela lâmina é a aplicação de uma rugosidade na soleira do vertedor. Esta alternativa, segundo **Falvey (1980)**, eliminou a vibração, porém, a altura da crista é elevada cerca de 15 mm e sua descarga é reduzida em aproximadamente 2%, além de que esta rugosidade, feita através de discos de concreto com diâmetro de 19 mm espaçados a cada 100 mm, deve ser colada sobre a crista.

Outra citação interessante apresentada por **Falvey (2003)** é o comportamento

dos vertedores labirinto com o assoreamento de montante. Estudos conduzidos por Babb (1976) demonstraram que a deposição dos sedimentos é apresentada como na figura 4.34, e que o vertedor é capaz de remover estes sedimentos durante grandes escoamentos.

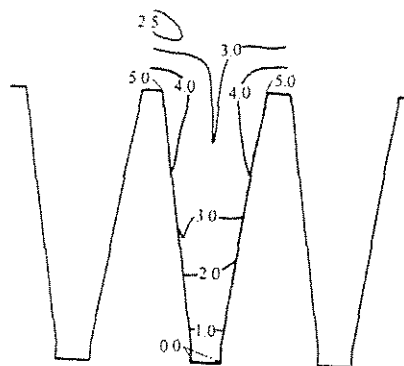


Figura 4.34 - Altura dos sedimentos a montante do vertedor estudado por Babb(1976) e apresentado por Falvey (2003).

O autor também comenta o procedimento de Tullis, Amanian e Waldron (1995) para o dimensionamento de vertedores labirinto através de uma planilha eletrônica, e cita uma planilha desenvolvida por um pesquisador de nome M. A. Stevens, que usa as curvas de Tullis, Amanian e Waldron (1995) e todos os limites descritos pela bibliografia. O autor ainda apresenta um croqui com a geometria utilizada para um vertedor labirinto trapezoidal (figura 4.35).

Falvey (2003) apresenta também um relato dos vertedores labirinto mencionados e não mencionados pela literatura até a publicação de seu livro (tabelas 4.9 e 4.10).

Tabela 4.9 - Vertedores Labirinto mencionados pela literatura, apresentado por Falvey 2003.

Nome	País	Ano de Construção	Q (m³/s)	H ₀ (m)	P (m)	W (m)	L (m)	n	Artigo Fonte
Água Branca	Portugal		124	1,65	3,5	12,5	28	2	Quintel et al (2000)
Alfaíates	Portugal	1999	99	1,6	2,5	13,2	37,5	1	Quintel et al (2000)
Alijo	Portugal	1991	52	1,23	2,5	8,7	21,05	1	Magalhães (1989)
Arcossó	Portugal	2001	85	1,25	2,5	13,3	16,68	1	Quintel et al (2000)
Avon	Austrália	1970	1420	2,16	3	13,5	26,5	10	Darvis (1971)
Bartletts Ferry	EUA	1983	5920	2,19	3,43	18,3	70,3	20,5	Mayer (1980)
Belia	Zaire		400	2	3,0/2,0	18	31	2	Magalhães (1989)
Beni Bahdel	Argélia	1944	1000	0,5		4	62,5	20	Afshar (1988)
Boardman	EUA	1978	387	1,77	2,76	18,3	53,5	2	Babb (1976)
Calde	Portugal	2001	21	0,6	2,5	7,4	28,19	1	Quintel et al (2000)
Carty	EUA	1977	387	1,8	2,8/4,3	18,3	54,6	2	Afshar (1988)
Cimnia	Itália	1982	1100	1,5	15,5	30	87,5	4	Lux/Hinchliff (1985)
Dungo	Angola	1985	576	2,4	4,3	9,7	28,6	4	Lux (1989)
Estancia	Venezuela	1967	661	3,01		32	65	1	Magalhães (1989)
Forestport	EUA	1988	76	1,02	2,94	6,1	21,9	2	Lux (1989)
Garland Canal	EUA	1982	25,5	0,37	1,4	4,57	19,6	3	Lux/Hinchliff (1985)
Gema	Portugal		115	1,12	3	12,5	30	2	Quintel et al (2000)
Harrezza	Argélia	1983	350	1,9	3,5	9,7	28,6	3	Lux (1989)
Hyrum	EUA		256	1,68	3,66	9,1	45,7	2	Lux (1989)
Influente	Moçambique	1985	60	1	1,6	4,15	24,76	3	Magalhães (1989)
Jutarnaiba	Brasil	1983	862	0,7					Afshar (1988)
Keddera	Argélia	1985	250	2,46	3,5	8,9	26,3	2	Lux (1989)
Kizilcapinar	Turquia		2270	4,6	4	75,4	263,9	5	Yildiz (1996)
Mercer	EUA	1972	239	1,83	4,57	5,49	17,6	4	CH2M Hill (1976)
Navet	Trinidad	1974	481	1,68	3,05	5,49	12,8	10	Phelps (1974)
Ohau C Canal	Nova Zelândia	1980	540	1,08	2,5	6,25	37,5	12	Walsh (1980)
Pacoti	Brasil	1980	3400	2,72	4	8	41,52	15	Magalhães (1989)
Pisão	Portugal		50	1	3,5	8	200	1	Quintel et al (2000)
Quincy	EUA	1973	26,5	2,13	3,96	13,6	26,5	4	Magalhães (1989)
Ritschard	EUA		1555	2,74	3,05	83,8	411	9	Vermeyen (1991)
Rollins	EUA	**	1841	2,74	3,35		472	9	Tullis (1995)
Saco	Brasil	1986	640	1,5		45	248,5		Quin et al (1988)
S. Domingos	Portugal	1993	160	1,84	3	7,5	22,53	2	Magalhães (1989)
Sam Rayburn Lake	EUA	1996	***		6,1	195,1	526,7	16	USCOLD Bulletin (1994)
Santa Justa	Portugal		285	1,35	3	10,5	67,4	2	Lux (1989)
Sarioglan	Turquia		490,7	1,06	3	70	358,4	7	Yildiz (1996)
Sarno	Argélia	1952	360	1,5	6		27,9	8	Afshar (1988)
Teja	Portugal	1995	61	1,05	2	12	36	1	Quintel et al (2000)
Ute	EUA	1983	15570	5,79	9,14	18,3	73,7	14	Lux (1989)
Woronora	Austrália	1941	1020	1,36	2,13	13,41	31,23	11	Afshar (1988)

** Outro tipo de vertedor foi construído.

*** A altura do nível d'água e descarga foram restringidos pelo Departamento do Exército Americano

Tabela 4.10 - Vertedores Labirinto não mencionados pela literatura, apresentado por Falvey 2003.

Nome	País	Ano de Construção	Q (m³/s)	H ₀ (m)	P (m)	W (m)	L (m)	n	Artigo Fonte
Flamingo	EUA	1990	1591	2,23	7,32	95,1	67,4	4	Las Vegas, NV
Tongue River	EUA								Decker, MT
Twin Lake	EUA	1989	570	2,74	3,35	8,31	34,05	4	Buffalo, WY

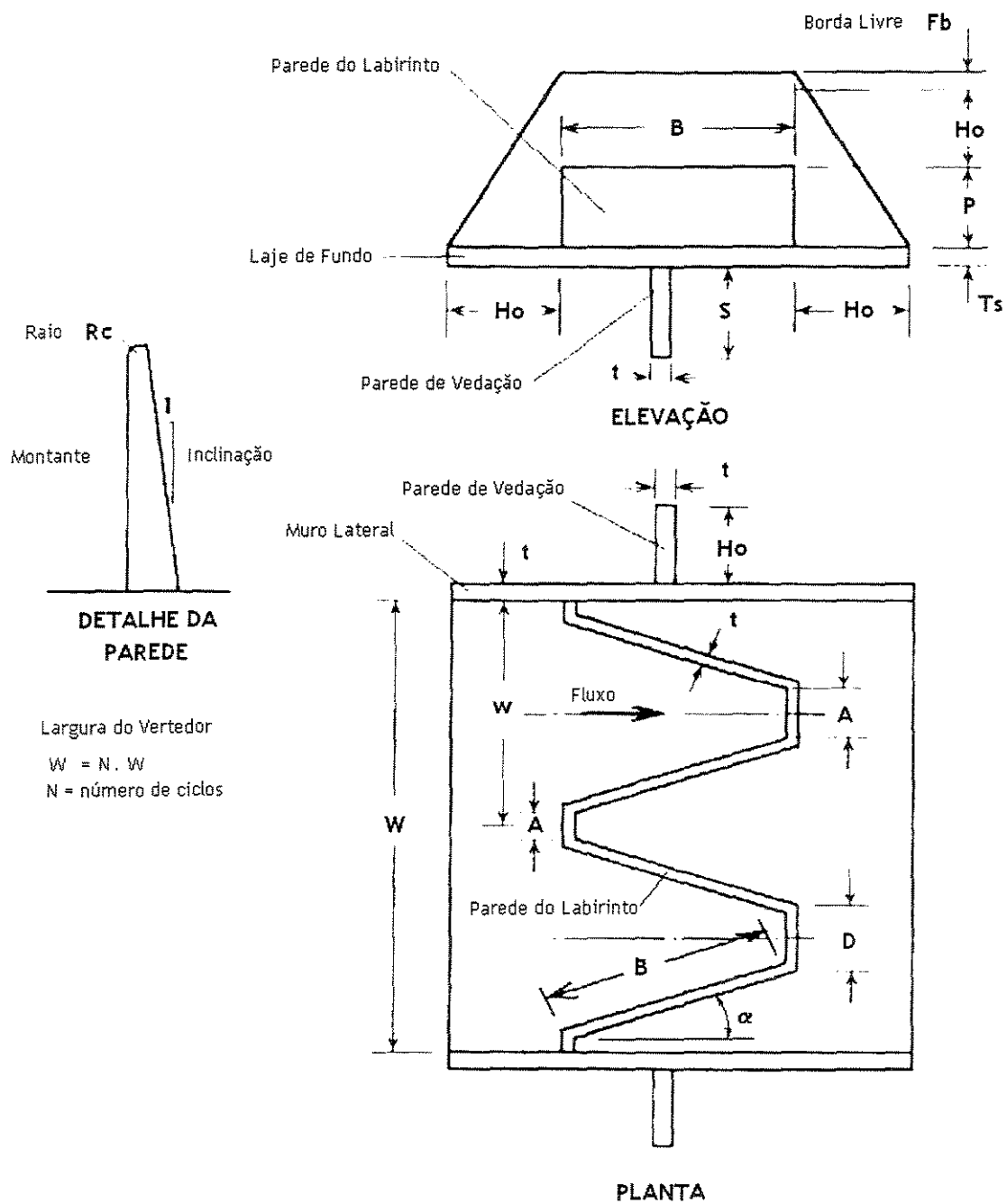


Figura 4.35 - Croqui com a geometria sugerida por Falvey (2003) para um vertedor labirinto trapezoidal.

4.2 Considerações Finais

Os estudos realizados para os vertedores tipo labirinto, apesar de demonstrarem que ainda são necessárias maiores pesquisas em determinados detalhes, puderam apresentar parâmetros confiáveis para seu projeto e construção, pois em todos os casos se basearam em resultados obtidos em modelos físicos.

A utilização de procedimentos computacionais durante a fase de projeto possibilita maior precisão e rapidez na análise dos dados, facilitando a escolha da melhor e mais eficiente disposição do vertedor, caso comprovado pelo método utilizado por **Tullis, Amanian e Waldron (1995)** e confirmado por **Falvey (2003)**, ainda mais, quando este recurso computacional se faz através de uma simples planilha eletrônica, ferramenta de fácil operação e comum em qualquer computador pessoal.

Todos os parâmetros utilizados para o projeto de vertedores labirinto foram exaustivamente confirmados e aperfeiçoados pelos pesquisadores ao longo dos anos, oferecendo aos futuros projetistas maior segurança na escolha de seus valores. Mesmo assim, muitos dos pesquisadores aconselham que para determinados casos, em função das condições do local, deve ser conduzido um estudo específico para cada caso, através de um modelo reduzido de sua estrutura.

Além da utilização dos vertedores tipo labirinto apenas como um meio para passagem da água excedente de uma barragem, também começa a ser pesquisado o seu uso como escada para peixes. Estudos conduzidos por **Brenchley (1997)** demonstraram que a velocidade do fluxo d'água em determinadas seções da escada, na forma de um vertedor labirinto, é menor do que em uma escada comum na forma de um vertedor retilíneo. Isto possibilita uma migração de peixes mais eficiente e mais eficaz para montante das barragens.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Introdução

Será dimensionado um vertedor em labirinto trapezoidal, a partir do procedimento apresentado por Tullis, Amanian e Waldron (1995) e Falvey (2003) e com as recomendações de outros autores descritos na revisão bibliográfica, para o caso do projeto de ampliação da barragem da Usina Hidrelétrica Engº Pedro Affonso Junqueira, em Poços de Caldas - MG, com capacidade para 320 m³/s, utilizando uma planilha eletrônica.

A obra de ampliação desta usina, conhecida como UHE Antas I, localizada em um vale estreito e com topo rochoso aflorante, será feita com a instalação de uma nova unidade geradora de 4124 kW. Com a entrada em operação da Barragem do Cipó, barragem de regularização situada na mesma bacia hidrográfica, a montante da UHE Antas I, foi proporcionado um acréscimo de vazão regularizada, justificando assim esta ampliação. O projeto desta ampliação foi executado pela empresa Hydros Engenharia Ltda, de São Paulo. Vide figura 5.1 para desenho de Implantação Geral da UHE Antas I.

Resumidamente, seguem abaixo as etapas para a ampliação da UHE Antas I:

- Demolição da barragem e canal de adução existentes;
- Construção da nova barragem com vertedor de capacidade vertente de 320 m³/s (TR = 1000 anos), e comporta desarenadora com capacidade de

58 m³/s. A barragem sofrerá um alteamento de aproximadamente 1 m no nível máximo maximorum, em relação ao anterior, passando da cota 1171,26 para a cota 1172,20;

- Construção de tomada d'água e canal de adução com maior capacidade (17 m³/s, quase o dobro da capacidade anterior);
- Construção de um único conduto forçado e substituição das derivações existentes;
- Reforma das máquinas antigas (6 unidades, uma delas instalada em 1911), melhorando suas eficiências e aprimorando seus recursos de operação, sem danificar seus aspectos originais; e,
- Construção de nova casa de força, canal de restituição e subestação, específicos para o acréscimo pretendido com a potência instalada de 4124 kW. A turbina será do tipo Francis com rotor duplo de eixo horizontal, que disporá de 5,12 m³/s de vazão e 89,3 m de queda líquida. As outras duas casas de força existentes, com as outras máquinas em funcionamento, 6 unidades, serão mantidas.

Esta ampliação deve ser iniciada em junho de 2004.

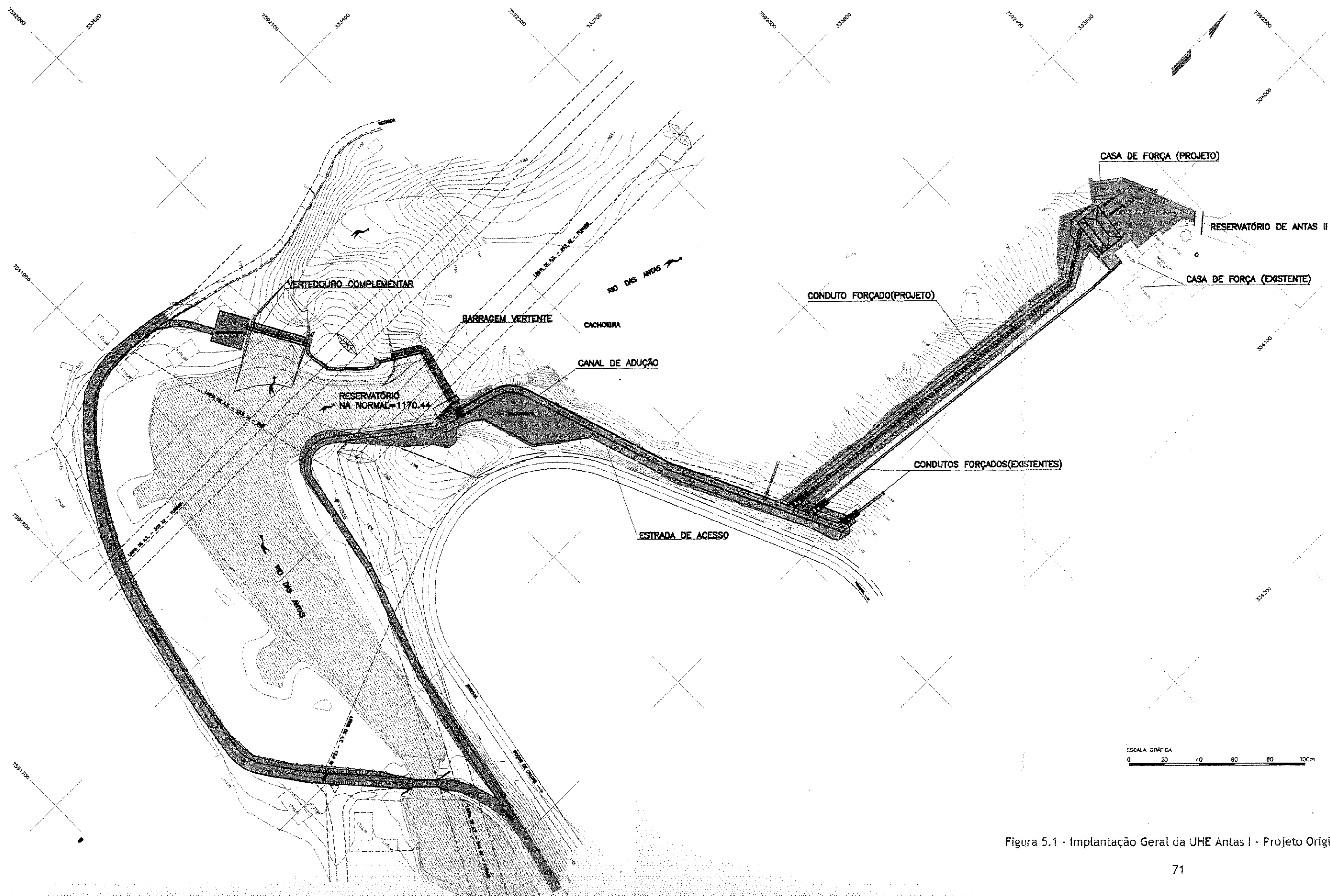


Figura 5.1 - Implantação Geral da UHE Antas I - Projeto Original

5.2 - Metodologia

Serão analisadas três alternativas para o sistema de extravasamento da barragem da UHE Antas I, tendo como parâmetros de comparação a sua performance, seu custo de execução, a energia gerada anualmente (para as 6 máquinas existentes) e o período para sua amortização:

Alternativa A - Projeto original da ampliação: vertedor principal e de emergência soleira retilínea com perfil Creager, conforme dimensionamento feito pela empresa de projetos Hydros Engenharia Ltda;

Alternativa B - Um único vertedor com soleira em labirinto trapezoidal;

Alternativa C - Vertedor principal soleira retilínea com perfil Creager (projeto original) e vertedor complementar com soleira em labirinto trapezoidal.

Baseado nas figuras 4.19 e 4.33, nas informações hidrológicas e topográficas do projeto original utilizadas pela empresa Hydros Engenharia Ltda (figura 5.1), no método de dimensionamento de Tullis, Amanian e Waldron (1995), nas recomendações de Falvey (2003) e dos outros autores da bibliografia, serão descritos a seguir os parâmetros, limites e dimensões para o projeto do vertedor labirinto trapezoidal:

Vazão Máxima Requerida - Q (m^3/s)

320 m^3/s , para um tempo de recorrência (TR) de 1000 anos. Pode ser obtido pela equação 4.3.

Nível máximo no reservatório - $NA_{máx}$ (m)

1.172,20 m (metros acima do nível do mar), em função de benfeitorias a

montante do barramento (estrada, ponte e edificações de uma fazenda).

Cota do Fundo da Barragem - EL f (m)

1.168,00 m , baseada nas plantas topográficas. O leito do rio é em rocha aflorante.

Cota da Crista do Vertedor - EL cr (m)

será determinada em função da altura da lâmina d'água, abaixo do NA máx.

Borda Livre - Fb (m)

1173,20 m, 1 m acima do NA máximo, valor do projeto original.

Altura Máxima da Lâmina D'água sobre o Vertedor - H_0 (m)

Deverá ser inferior a 1,76 m para vertedor principal e 1,61 para o vertedor complementar. É obtido pela diferença entre a cota do NA máx do reservatório e cota da crista do vertedor, subtraindo ainda a perda na entrada. Valores muito baixos de H_0 podem aumentar o valor de W, solicitando maior volume de escavação.

Perda Estimada na Entrada (m)

Perda = 1% (valor estimado) da diferença entre a cota do NA máx do reservatório e cota da crista do vertedor.

Número de Ciclos - N

deve manter o parâmetro w/P entre 3 e 4.

Altura da Parede do Vertedor - P (m)

segundo Tullis, Amanian e Waldron (1995), tem valor aproximado de $1,4 H_0$, e deve manter a relação H_0/P entre 0,1 e 0,9.

Ângulo das Paredes - α (°)

deve estar entre 6° e 16° , melhorando na economia de estrutura.

Espessura das paredes do vertedor - t (m)

pode ser previamente determinada com o valor de $P/6$, porém, esta estrutura pode ser comparada a um muro de arrimo, provido de armadura. Portanto a espessura das paredes será adotada conforme paredes do canal de adução da UHE Antas I, dimensionado pela empresa Hydros, com espessura do topo de 0,30 m e da base de 0,40 m, e altura média de 3 m, proporcionando uma inclinação na parede do lado de jusante de 1:30.

Largura interna dos vértices - A (m)

deve estar entre t e $2t$. Será adotado um valor médio destas duas referências: 0,60 m.

Largura externa dos vértices - D (m)

é dado por:

$$D = A + 2 \cdot t \cdot \tan\left(45 - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (5.1)$$

Comprimento de Interferência das Lâminas - L_{de} (m)

é dado pela equação 4.17.

Relação H_0/P

deve estar entre 0,1 e 0,9.

Coeficiente de Descarga - C_d

é obtido pelas equações 4.4 a 4.11, apresentadas por Tullis (1995).

Comprimento Efetivo da Crista - L (m)

é dado por:

$$L = \frac{1,5 \cdot Q}{[(C_d \cdot H_0^{1,5}) \cdot (2 \cdot g)^{0,5}]} \quad (5.2)$$

Largura do Vertedor (paralelo ao escoamento) - B (m)

é dado por:

$$B = \left[\frac{L}{2 \cdot N} + t \cdot \tan\left(45 - \frac{\alpha}{2}\right) \right] \cdot \cos \alpha + t \quad (5.3)$$

e será limitado em 35 m, que corresponde à largura da escavação do projeto original.

Comprimento da parede do vertedor - L_1 (m)

é dado por:

$$L_1 = \frac{(B - t)}{\cos \alpha} \quad (5.4)$$

Comprimento efetivo das paredes do vertedor - L_2 (m)

é dado por:

$$L_2 = L_1 - t \cdot \tan\left(45 - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (5.5)$$

Comprimento total das paredes do vertedor - L_3 (m)

é dado por:

$$L_3 = N \cdot (2 \cdot L_1 + D + A) \quad (5.6)$$

Comprimento de um ciclo - I (m)

é dado por: $l = 2 \cdot L_2 + 2 \cdot D$ (5.7)

Largura de cada ciclo - w (m)

é dado por: $w = 2 \cdot L_1 \cdot \sin \alpha + A + D$ (5.8)

Largura total do vertedor - W (m)

é dado por: $W = N \cdot w$ (5.9)

Para o vertedor principal deverá ser inferior a 46 m que é a largura disponível para sua implantação, sem que haja grandes desmontes de rocha; para o caso do vertedor complementar, a largura disponível é de 35 m.

Comprimento para um Vertedor Retilíneo - WL (m)

é dado pela equação 4.11.

Relação L_{de}/B

deve ser inferior ao valor de 0,3

Relação w/P

deve estar entre os valores 3 e 4.

Relação l/w

deve estar entre os valores 2 e 8.

Relação A/w

deverá possuir valor inferior a 0,0765.

Volume de Concreto das Paredes - V_{cp} (m^3)

é dado por: $V_{cp} = L_3 \cdot P \cdot t$ (5.10)

Volume de Concreto dos Muros Laterais - V_{cl} (m^3)

é dado por: $V_{cl} = (P + H_0 + F_b) \cdot (B + H_0) \cdot 2 \cdot t$ (5.11)

Volume de Concreto das Paredes de Vedação - V_{cv} (m^3)

Como para o caso da barragem da UHE Antas I ser instalada diretamente sobre a rocha, a parede de vedação inferior, de altura S , poderá ser suprimida dos volumes de concreto. As paredes laterais serão consideradas, pois nesta região será necessário reaterro.

É dado por: $V_{cv} = H_0 \cdot t \cdot (P + H_0 + F_b) \cdot 2$ (5.12)

Volume de Concreto da Base - V_{cb} (m^3)

É dado por: $V_{cb} = (W + 2 \cdot t) \cdot (B + 2 \cdot H_0) \cdot t$ (5.13)

Volume de Concreto Total - V_t (m^3)

É dado por: $V_t = V_{cp} + V_{cl} + V_{cv} + V_{cb}$ (5.14)

Área de Fôrmas - A_f (m^2)

É dado por: (5.15)

$$A_f = (2 \cdot L_3 \cdot P) + [2 \cdot (W + 2 \cdot H_0 + B) \cdot t] + \left(\frac{2 \cdot H_0 + 2 \cdot B}{2} \cdot (F_b + H_0 + P) \right) \cdot 4 + \left(2 \cdot t \cdot \sqrt{H_0^2 + (F_b + H_0 + P)^2} \right)$$

Peso da Armadura - Ar (kg)

Baseado na recomendação da revista Construção Mercado e do Livro TCPO 10 - Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos, ambos da Editora Pini - São Paulo, será adotado o valor de 80 kg de armadura para cada 1 metro cúbico de concreto.

É dado por: $Ar = V_t \cdot 80$ (5.16)

Relação L/W - Fator de Aumento do Vertedor

Deve ter valores entre 2 e 10.

Performance do Vertedor - ε

Este parâmetro sugerido por **Falvey (2003)** segue o mesmo princípio de Q_L/Q_N , utilizado por **Hay e Taylor (1970)**, porém, com a incorporação do fator de aumento do vertedor e do efeito do ângulo α das paredes no coeficiente de descarga, demonstrando a proporção do comprimento de um vertedor labirinto em relação a um vertedor retilíneo comum.

É dado por $\varepsilon = \frac{C_d(\alpha) \cdot (L/W)}{C_d(90^\circ)}$ (5.17)

em que: $C_d(\alpha)$ - coeficiente de descarga em função do ângulo das paredes;

$C_d(90^\circ)$ - coeficiente de descarga para um vertedor retilíneo.

Potência Disponível - Pi (kW)

De acordo com Mauad (2001), a potência instalada pode ser obtida através da equação:

$$P_i = 9,81 \cdot Q_t \cdot H_t \cdot \eta \quad (5.18)$$

em que: Q_t - vazão das turbinas existente, sem a ampliação (m^3/s);

H_t - altura de queda líquida;

η - rendimento geral da instalação levando em conta perdas nos geradores e turbinas. O valor adotado será de 88% (dado real apresentado pelas 6 máquinas atualmente instaladas na UHE Antas I) .

Energia Gerada Anual - En (MWh/ano)

É dada por:

$$E_n = \frac{(P_i \cdot 24 \cdot 365 \cdot F_c)}{1000} \quad (5.18)$$

em que: F_c é o fator de carga da usina, que representa o quanto de energia foi gerada anualmente em relação a sua potência total instalada, com valor de 72,31% referente ao Relatório Anual de Geração do DME, do ano de 2002.

Receita Anual - RA (R\$)

É dado por :

$$RA = E_n \cdot R\$ 99,89 \quad (5.19)$$

R\$ 99,89/MW é o valor aprovado pela ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, a ser utilizado pelo Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas, concessionária responsável pela usina, para efeito de cálculo de suas tarifas

referente ao mês de março de 2003.

5.3 - Características do Projeto Original - Alternativa A

A figura 5.2 mostra a planta da área da barragem com a disposição original dos vertedores principal e complementar, tomada d'água e canal de adução, projetados pela empresa Hydros. As características do projeto original - Alternativa A para comparação com as outras alternativas em labirinto são as seguintes:

Vertedor principal

Cota da Crista do Vertedor - EL cr: 1.170,44 m

Cota de Fundo na área do vertedor - EL f: 1168,00 m

Altura da lâmina d'água - H_0 : 1,76 m

Comprimento total de crista livre (soleira tipo Creager): 43,5 m

Capacidade de vazão: 203,2 m³/s

Volume de concreto total: 428 m³

Concreto de regularização: 23

Armadura: 1,852 ton

Área de fôrma: 679 m²

Vertedor Complementar

Cota da Crista do Vertedor - EL cr: 1.170,59 m

Cota de Fundo na área do vertedor - EL f: 1168,00 m

Altura da lâmina d'água - H_0 : 1,61 m

Comprimento total de crista livre (soleira tipo Creager): 29 m

Capacidade de vazão: 116,8 m³/s

Volume de concreto total: 302 m³

Concreto de regularização: 15 m³

Armadura: 0,728 ton

Área de fôrma: 477 m²

Dados da Geração

Com a intenção de demonstrar os valores reais de geração nas alternativas, serão adotados valores para as 6 máquinas existentes, desconsiderando a máquina 7 a ser instalada, que ainda não possui dados reais de seu comportamento no sistema.

Vazão total das turbinas existentes (6 unidades) - **Qt**: 7,376 m³/s

Queda líquida nominal média, visto que as turbinas se encontram em elevações com pequenas diferenças - **Ht**: 82,0 m

Fator de carga da usina - **Fc**: 72,31% (ano de 2002)

Custos de Materiais e Mão-de-obra para Construção

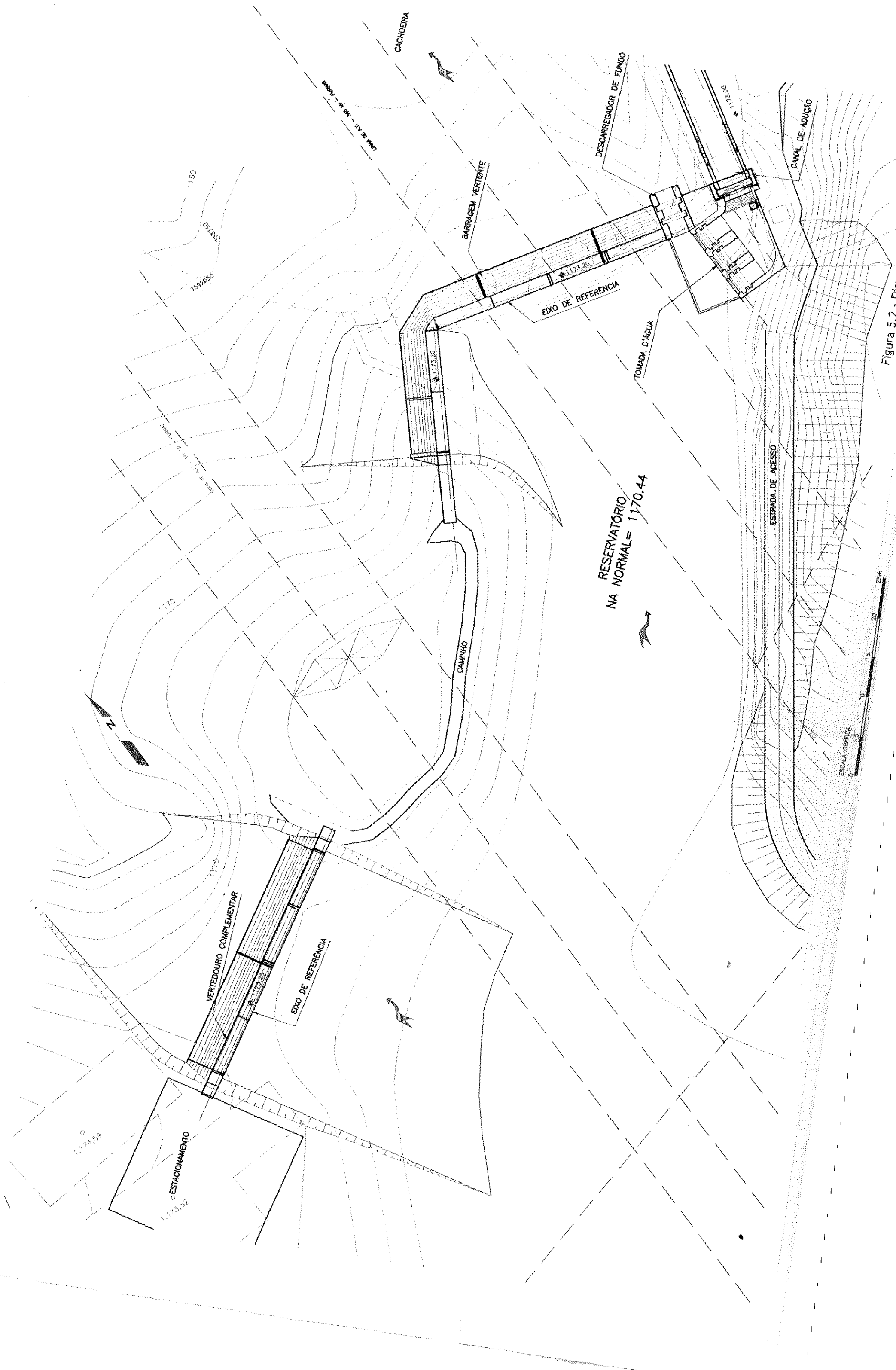
O procedimento correto para a análise dos custos seria o levantamento de todas as etapas da construção, porém, devido a rotina de cálculo do vertedor labirinto apresentar as quantidades de concreto, armaduras e fôrmas, itens com custos mais expressivos em uma obra, somente estes parâmetros serão analisados e comparados.

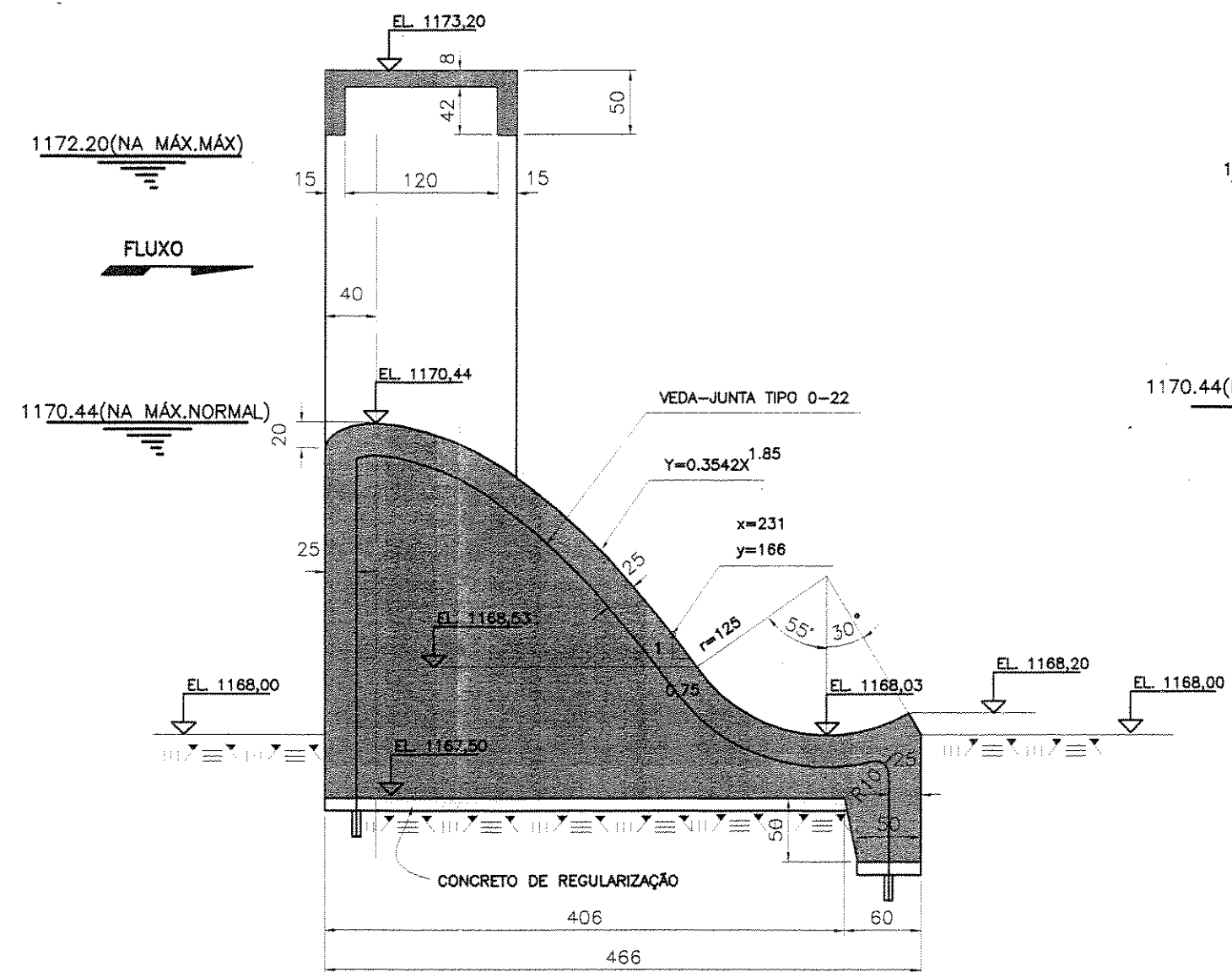
Os custos foram obtidos pela revista Construção Mercado da Editora Pini, mês de outubro de 2003, com preços para o estado de Minas Gerais:

Concreto usinado fck 15 MPa + lançamento + adensamento : R\$ 205,53 / m³;

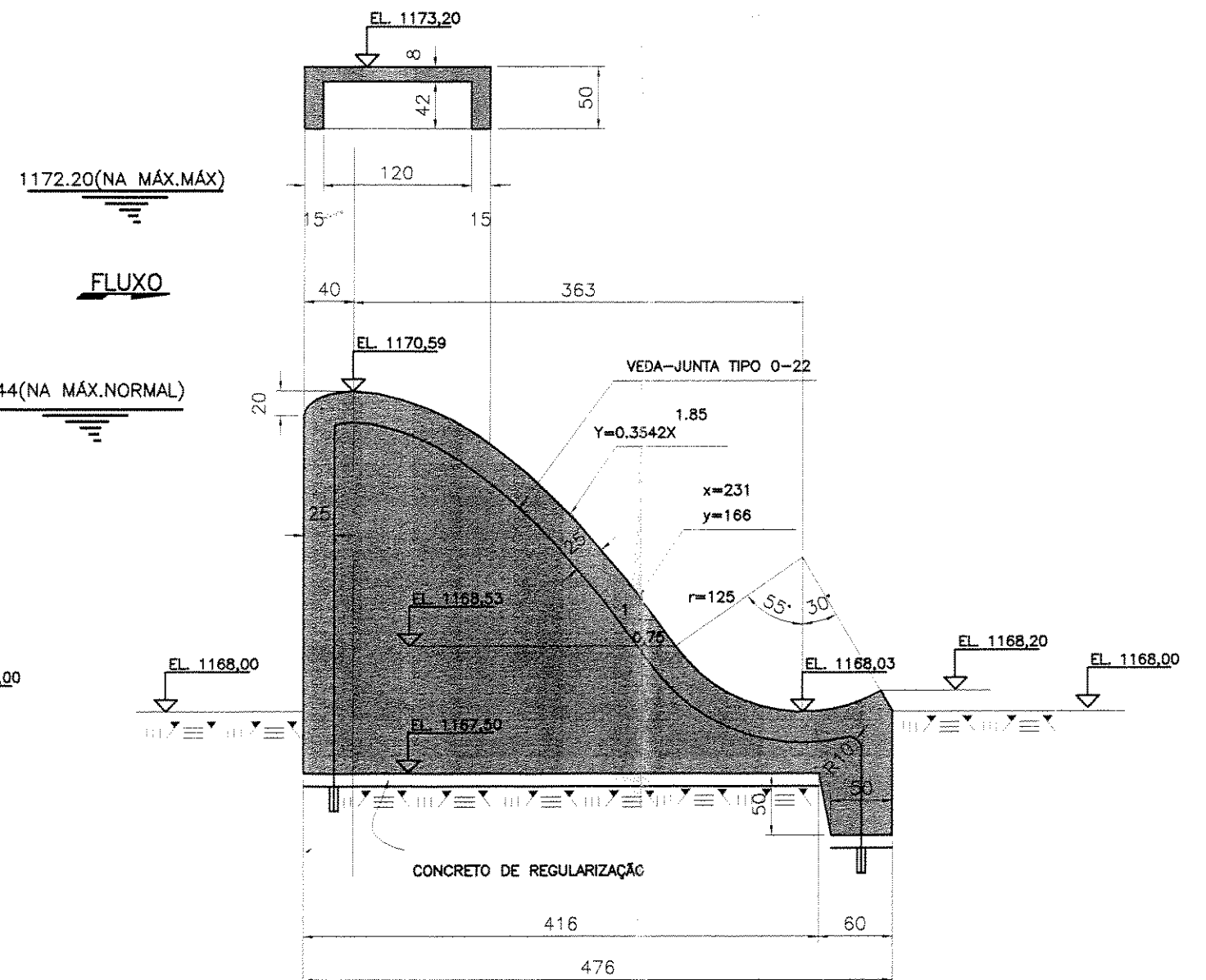
Armadura + dobra + instalação: R\$ 3.280,00 / ton;

Fôrma de madeira plastificada: R\$ 24,48 / m².





VERTEDOR PRINCIPAL – CORTE TRANSVERSAL



VERTEDOR COMPLEMENTAR – CORTE TRANSVERSAL

ESCALA GRÁFICA
0 50 100 150 200 250cm

Figura 5.3 - Disposição dos vertedores da UHE Antas I
Alternativa A - Projeto Original - Cortes

5.4 - Procedimento de Cálculo

O processo de dimensionamento do vertedor labirinto será feito por meio de uma planilha eletrônica, baseada na disposição apresentada por Tullis, Amanian e Waldron (1995), acrescida das relações condicionantes apresentadas por outros autores, dos volumes de concreto individuais das estruturas, do peso da armadura e da performance do vertedor, apresentados por Falvey (2003). Na planilha serão apresentadas 5 colunas com os resultados das equações e relações apresentadas anteriormente, tendo como variável o ângulo α das paredes do vertedor, com valores de 6°, 8°, 12°, 15° e 18°.

Em cada planilha será aplicado um valor de H_0 , combinado a um valor de número de ciclos N , de modo que as dimensões e parâmetros limite apresentados na revisão bibliográfica não sejam ultrapassados.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

6.1 Dimensionamento do Vertedor Labirinto - Alternativa B

Serão apresentadas a seguir, as tabelas 6.1 a 6.15, com os resultados do dimensionamento do vertedor labirinto - Alternativa B - um único vertedor com soleira em labirinto trapezoidal, tendo como variáveis:

1. Cota da crista do vertedor, partindo da elevação 1170,44 (cota do projeto original), equivalente a uma lâmina d'água de 1,76m menos a perda estimada na entrada, até o menor valor de lâmina possível.
2. Número de ciclos N;
3. Ângulo das paredes do vertedor com valores de 6°, 8°, 12°, 15° e 18°.

O valor de EL cr será aumentado em intervalos de 10 cm até que os limites estabelecidos pela bibliografia e condições do local para os 5 ângulos sejam superados. Para cada valor de EL cr, a quantidade de ciclos será variada de modo que os limites sejam atendidos. Após o valor de EL cr atingir este limite, este será diminuído em intervalos de 1 cm até que se atinja o menor valor de lâmina d'água sem ultrapassar os valores limites. Este intervalo de 1 cm foi escolhido por ser a unidade apresentada pelo medidor de nível existente na barragem. O vertedor labirinto ideal será aquele que apresentar o menor valor de H_0 , o maior valor de performance ε e o menor volume de concreto.

Tabela 6.1 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1170,44 (H₀ = 1,76 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1170,44	1170,44	1170,44	1170,44	1170,44
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	7,77	7,00	5,69	4,87	4,16
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,7131	0,7131	0,7131	0,7131	0,7131
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2292	0,3107	0,3621	0,4161	0,4808
17 Compr. efetivo da crista	L	m	205,99	151,96	130,39	113,47	98,20
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	32,61	24,11	15,72	17,78	9,48
19 Compr. da parede	L1	m	32,39	23,94	15,66	17,99	9,54
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	32,03	23,59	15,34	17,68	9,25
21 Compr. total das paredes	L3	m	200,09	149,32	132,70	113,39	104,33
22 Compr. de um ciclo	l	m	66,70	49,77	33,18	37,80	20,86
23 Largura de um ciclo	w	m	8,69	8,56	8,36	11,13	7,68
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	26,07	25,67	33,44	33,38	38,39
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	62,83	62,83	62,83	62,83	62,83
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,34	2,40	1,91	1,88	1,74
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,24	0,29	0,36	0,27	0,44
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,6	3,5	3,4	4,6	3,1
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,7	5,8	4,0	3,4	2,7
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0690	0,0701	0,0718	0,0539	0,0781
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	195,3	145,7	129,5	110,7	101,8
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	142,4	107,1	72,4	80,9	46,5
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	387,9	292,1	263,0	290,6	203,1
35 Volume total	Vt	m³	732,8	552,2	472,1	489,4	358,6
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1742,3	1311,2	1055,9	1005,8	786,9
37 Armadura	Ar	ton	58,6	44,2	37,8	39,2	28,7

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.2 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1170,54 (H₀ = 1,66 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1170,54	1170,54	1170,54	1170,54	1170,54
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,54	2,54	2,54	2,54	2,54
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	7,32	6,60	5,36	4,59	3,92
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,6457	0,6457	0,6457	0,6457	0,6457
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2399	0,3261	0,3795	0,4358	0,5011
17 Compr. efetivo da crista	L	m	215,08	158,23	135,96	118,40	102,97
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	34,03	25,08	16,38	18,53	9,92
19 Compr. da parede	L1	m	33,82	24,93	16,33	18,77	10,01
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	33,46	24,58	16,01	18,47	9,72
21 Compr. total das paredes	L3	m	208,66	155,25	138,06	118,08	108,97
22 Compr. de um ciclo	l	m	69,55	51,75	34,52	39,36	21,79
23 Largura de um ciclo	w	m	8,99	8,83	8,64	11,53	7,97
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	26,97	26,50	34,56	34,60	39,83
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	68,52	68,52	68,52	68,52	68,52
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,46	2,54	2,01	1,98	1,82
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,22	0,26	0,33	0,25	0,40
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,5	3,4	4,5	3,1
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,7	5,9	4,0	3,4	2,7
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0667	0,0679	0,0694	0,0520	0,0753
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	212,0	157,7	140,3	120,0	110,7
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	147,8	110,7	74,7	83,6	47,9
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	414,4	309,7	278,0	308,8	214,4
35 Volume total	Vt	m³	781,0	585,0	499,8	519,2	379,8
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1854,8	1390,6	1122,4	1067,3	839,7
37 Armadura	Ar	ton	62,5	46,8	40,0	41,5	30,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.3 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1170,64 (H₀ = 1,56 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1170,64	1170,64	1170,64	1170,64	1170,64
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	6,88	6,20	5,03	4,31	3,68
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,5833	0,5833	0,5833	0,5833	0,5833
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2531	0,3468	0,401	0,457	0,5226
17 Compr. efetivo da crista	L	m	224,04	163,51	141,41	124,08	108,50
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	35,43	25,91	17,02	19,40	10,43
19 Compr. da parede	L1	m	35,23	25,76	16,99	19,67	10,54
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	34,87	25,41	16,66	19,37	10,25
21 Compr. total das paredes	L3	m	217,11	160,23	143,30	123,48	114,35
22 Compr. de um ciclo	l	m	72,37	53,41	35,82	41,16	22,87
23 Largura de um ciclo	w	m	9,28	9,07	8,91	12,00	8,30
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	27,85	27,20	35,65	35,99	41,49
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	74,97	74,97	74,97	74,97	74,97
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,61	2,70	2,13	2,07	1,90
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,19	0,24	0,30	0,22	0,35
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,4	3,4	4,5	3,1
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,8	5,9	4,0	3,4	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0646	0,0662	0,0673	0,0500	0,0723
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	229,3	169,2	151,3	130,4	120,7
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	153,2	113,7	76,9	86,8	49,6
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	441,4	324,6	293,0	330,9	228,5
35 Volume total	Vt	m³	830,2	613,9	527,6	554,4	405,2
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1969,8	1464,0	1190,0	1137,0	900,0
37 Armadura	Ar	ton	66,4	49,1	42,2	44,4	32,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.4 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1170,74 (H₀ = 1,46 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1170,74	1170,74	1170,74	1170,74	1170,74
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	6,47	5,83	4,74	4,05	3,47
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,5292	0,5292	0,5292	0,5292	0,5292
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2677	0,37	0,4235	0,4773	0,5427
17 Compr. efetivo da crista	L	m	231,84	167,74	146,55	130,03	114,36
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	36,65	26,57	17,62	20,32	10,97
19 Compr. da parede	L1	m	36,45	26,43	17,61	20,62	11,11
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	36,09	26,08	17,28	20,31	10,82
21 Compr. total das paredes	L3	m	224,48	164,24	148,24	129,15	120,04
22 Compr. de um ciclo	I	m	74,83	54,74	37,06	43,05	24,01
23 Largura de um ciclo	w	m	9,54	9,25	9,17	12,49	8,65
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	28,62	27,75	36,68	37,46	43,25
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	81,76	81,76	81,76	81,76	81,76
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,77	2,88	2,25	2,17	1,98
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,18	0,22	0,27	0,20	0,32
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,4	3,3	4,6	3,2
29 Relação I/w (>2 e <8)	I/w	---	7,8	5,9	4,0	3,4	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0629	0,0649	0,0654	0,0480	0,0694
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	246,0	180,0	162,5	141,5	131,6
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	158,2	116,3	79,2	90,4	51,6
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	465,5	336,5	307,6	355,3	244,3
35 Volume total	Vt	m³	875,8	638,9	555,3	593,2	433,5
36 Área de Fôrmas	Af	m²	2080,0	1531,7	1258,3	1212,4	965,6
37 Armadura	Ar	ton	70,1	51,1	44,4	47,5	34,7

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.5 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1170,84 (H₀ = 1,36 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1170,84	1170,84	1170,84	1170,84	1170,84
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	6,03	5,43	4,41	3,77	3,23
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4754	0,4754	0,4754	0,4754	0,4754
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2852	0,3974	0,4487	0,4985	0,5631
17 Compr. efetivo da crista	L	m	242,24	173,85	153,97	138,59	122,69
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	38,28	27,52	18,49	21,63	11,74
19 Compr. da parede	L1	m	38,09	27,39	18,50	21,97	11,92
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	37,73	27,04	18,17	21,67	11,63
21 Compr. total das paredes	L3	m	234,28	170,01	155,37	137,29	128,14
22 Compr. de um ciclo	l	m	78,09	56,67	38,84	45,76	25,63
23 Largura de um ciclo	w	m	9,88	9,52	9,54	13,19	9,15
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	29,65	28,55	38,16	39,57	45,75
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	90,88	90,88	90,88	90,88	90,88
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,96	3,11	2,40	2,28	2,07
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,16	0,20	0,24	0,17	0,28
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,4	3,4	4,6	3,2
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,9	6,0	4,1	3,5	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0607	0,0630	0,0629	0,0455	0,0656
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	266,1	193,1	176,5	156,0	145,6
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	164,5	119,9	82,4	95,4	54,3
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	499,0	354,8	330,2	392,8	268,9
35 Volume total	Vt	m³	935,3	673,4	594,7	649,7	474,4
36 Área de Fôrmas	Af	m²	2214,2	1616,3	1346,2	1312,1	1052,0
37 Armadura	Ar	ton	74,8	53,9	47,6	52,0	37,9

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.6 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1170,94 (H₀ = 1,26 m - Perda)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor					
Dados do Local do Vertedor Labirinto								
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320	
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1170,94	1170,94	1170,94	1170,94	1170,94	
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	
Dados Adotados								
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5	
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18	
Dados Calculados								
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18	
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	5,58	5,03	4,09	3,50	2,99	
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4252	0,4252	0,4252	0,4252	0,4252	
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3041	0,4259	0,4736	0,5183	0,5815	
17 Compr. efetivo da crista	L	m	254,98	182,06	163,73	149,61	133,35	
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	40,27	28,80	19,64	23,31	12,72	
19 Compr. da parede	L1	m	40,09	28,68	19,67	23,72	12,96	
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	39,73	28,33	19,35	23,41	12,67	
21 Compr. total das paredes	L3	m	246,31	177,77	164,74	147,76	138,49	
22 Compr. de um ciclo	l	m	82,10	59,26	41,19	49,25	27,70	
23 Largura de um ciclo	w	m	10,30	9,88	10,03	14,09	9,79	
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	30,90	29,63	40,11	42,28	48,95	
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	102,21	102,21	102,21	102,21	102,21	
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,19	3,37	2,56	2,39	2,17	
Dados Condicionantes								
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,14	0,17	0,21	0,15	0,24	
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,4	3,4	4,8	3,3	
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	8,0	6,0	4,1	3,5	2,8	
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0582	0,0607	0,0598	0,0426	0,0613	
Quantitativo de Materiais								
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	289,7	209,1	193,7	173,8	162,9	
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	172,4	124,8	86,7	102,0	58,0	
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	542,4	381,1	362,3	444,8	302,9	
35 Volume total	V _t	m³	1009,6	720,1	647,9	725,7	529,0	
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	2373,5	1722,2	1456,4	1437,5	1160,0	
37 Armadura	A _r	ton	80,8	57,6	51,8	58,1	42,3	

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.7 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1171,04 (H₀ = 1,16 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,04	1171,04	1171,04	1171,04	1171,04
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	5,13	4,63	3,76	3,22	2,75
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3783	0,3783	0,3783	0,3783	0,3783
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3239	0,454	0,4971	0,5359	0,5971
17 Compr. efetivo da crista	L	m	271,29	193,55	176,77	163,97	147,16
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	42,82	30,59	21,17	25,51	14,00
19 Compr. da parede	L1	m	42,66	30,49	21,24	26,00	14,30
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	42,30	30,14	20,91	25,69	14,01
21 Compr. total das paredes	L3	m	261,69	188,63	177,28	161,43	151,92
22 Compr. de um ciclo	l	m	87,23	62,88	44,32	53,81	30,38
23 Largura de um ciclo	w	m	10,84	10,38	10,68	15,27	10,62
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	32,51	31,15	42,71	45,82	53,10
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	116,55	116,55	116,55	116,55	116,55
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,46	3,65	2,74	2,50	2,27
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,12	0,15	0,18	0,13	0,20
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,6	3,4	3,5	5,0	3,5
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	8,0	6,1	4,2	3,5	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0554	0,0578	0,0562	0,0393	0,0565
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	318,2	229,4	215,6	196,3	184,7
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	182,6	131,8	92,7	110,7	62,9
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	601,2	420,3	408,5	518,6	351,4
35 Volume total	Vt	m³	1106,8	786,3	721,6	830,4	603,9
36 Área de Fôrmas	Af	m²	2570,3	1861,4	1598,5	1598,2	1298,0
37 Armadura	Ar	ton	88,5	62,9	57,7	66,4	48,3

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.8 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1171,14 (H₀ = 1,06 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,14	1171,14	1171,14	1171,14	1171,14
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,69	4,23	3,43	2,94	2,51
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3344	0,3344	0,3344	0,3344	0,3344
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3438	0,4804	0,5182	0,5508	0,6094
17 Compr. efetivo da crista	L	m	292,96	209,66	194,36	182,86	165,27
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	46,24	33,11	23,24	28,41	15,68
19 Compr. da parede	L1	m	46,06	33,03	23,35	28,99	16,06
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	45,70	32,68	23,03	28,69	15,77
21 Compr. total das paredes	L3	m	282,13	203,85	194,19	179,40	169,52
22 Compr. de um ciclo	l	m	94,04	67,95	48,55	59,80	33,90
23 Largura de um ciclo	w	m	11,55	11,09	11,56	16,82	11,71
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	34,65	33,26	46,23	50,47	58,54
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	135,05	135,05	135,05	135,05	135,05
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,75	3,95	2,92	2,63	2,37
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,10	0,13	0,15	0,10	0,16
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,7	3,5	3,7	5,4	3,7
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	8,4	6,1	4,2	3,6	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0520	0,0541	0,0519	0,0357	0,0513
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	354,4	256,0	243,9	225,3	212,9
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	196,2	141,8	100,9	122,3	69,4
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	685,0	479,7	476,7	625,5	421,9
35 Volume total	Vt	m³	1239,9	881,9	825,8	977,5	708,6
36 Área de Fôrmas	Af	m²	2823,4	2048,3	1785,3	1807,1	1477,0
37 Armadura	Ar	ton	99,2	70,6	66,1	78,2	56,7

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.9 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1171,24 (H₀ = 0,96 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,24	1171,24	1171,24	1171,24	1171,24
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,24	3,82	3,10	2,66	2,27
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,2932	0,2932	0,2932	0,2932	0,2932
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3636	0,5038	0,536	0,5624	0,6178
17 Compr. efetivo da crista	L	m	321,87	232,30	218,34	208,10	189,43
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	50,73	36,64	26,06	32,27	17,91
19 Compr. da parede	L1	m	50,61	36,60	26,23	32,99	18,41
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	50,25	36,25	25,91	32,69	18,12
21 Compr. total das paredes	L3	m	309,40	225,26	217,24	203,41	192,99
22 Compr. de um ciclo	l	m	103,13	75,09	54,31	67,80	38,60
23 Largura de um ciclo	w	m	12,50	12,08	12,76	18,89	13,16
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	37,50	36,24	51,02	56,68	65,79
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	159,38	159,38	159,38	159,38	159,38
26 Performance do Vertedor	ε	---	4,09	4,26	3,11	2,75	2,47
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,08	0,10	0,12	0,08	0,13
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,9	3,7	3,9	5,8	4,1
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	8,3	6,2	4,3	3,6	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0480	0,0497	0,0470	0,0318	0,0456
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	401,0	291,9	281,5	263,6	250,1
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	214,6	156,1	112,1	137,9	78,3
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	806,3	571,1	579,5	785,6	527,6
35 Volume total	Vt	m³	1425,8	1023,0	977,1	1191,1	859,9
36 Área de Fôrmas	Af	m²	3154,1	2304,1	2035,8	2084,6	1714,7
37 Armadura	Ar	ton	114,1	81,8	78,2	95,3	68,8

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.10 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1171,23 (H₀ = 0,97 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,23	1171,23	1171,23	1171,23	1171,23
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,29	3,86	3,14	2,68	2,30
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,2972	0,2972	0,2972	0,2972	0,2972
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3616	0,5017	0,5344	0,5614	0,6171
17 Compr. efetivo da crista	L	m	318,61	229,64	215,59	205,22	186,69
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	50,22	36,22	25,73	31,83	17,65
19 Compr. da parede	L1	m	50,09	36,18	25,90	32,54	18,14
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	49,73	35,83	25,58	32,23	17,85
21 Compr. total das paredes	L3	m	306,32	222,74	214,59	200,68	190,33
22 Compr. de um ciclo	l	m	102,11	74,25	53,65	66,89	38,06
23 Largura de um ciclo	w	m	12,39	11,96	12,62	18,66	12,99
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	37,18	35,89	50,47	55,97	64,97
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	156,62	156,62	156,62	156,62	156,62
26 Performance do Vertedor	ε	---	4,05	4,23	3,09	2,74	2,46
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,09	0,11	0,12	0,08	0,13
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,8	3,7	3,9	5,8	4,0
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	8,2	6,2	4,3	3,6	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0484	0,0502	0,0476	0,0322	0,0462
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	395,8	287,8	277,3	259,3	245,9
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	212,5	154,4	110,8	136,1	77,3
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	792,0	559,8	567,2	766,4	514,9
35 Volume total	V _t	m³	1404,3	1006,0	959,2	1165,8	842,1
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	3117,0	2274,3	2007,2	2053,1	1687,8
37 Armadura	Ar	ton	112,3	80,5	76,7	93,3	67,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.11 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1171,22 (H₀ = 0,98 m - Perda)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor					
Dados do Local do Vertedor Labirinto								
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320	
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,22	1171,22	1171,22	1171,22	1171,22	
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	
Dados Adotados								
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5	
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18	
Dados Calculados								
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18	
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,33	3,90	3,17	2,71	2,32	
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3012	0,3012	0,3012	0,3012	0,3012	
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3597	0,4994	0,5327	0,5603	0,6164	
17 Compr. efetivo da crista	L	m	315,35	227,14	212,94	202,45	184,02	
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	49,71	35,83	25,42	31,41	17,41	
19 Compr. da parede	L1	m	49,58	35,78	25,58	32,10	17,88	
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	49,22	35,43	25,26	31,79	17,59	
21 Compr. total das paredes	L3	m	303,26	220,38	212,04	198,04	187,73	
22 Compr. de um ciclo	l	m	101,09	73,46	53,01	66,01	37,54	
23 Largura de um ciclo	w	m	12,29	11,86	12,49	18,43	12,83	
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	36,86	35,57	49,94	55,29	64,17	
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	153,94	153,94	153,94	153,94	153,94	
26 Performance do Vertedor	ε	---	4,02	4,20	3,07	2,72	2,45	
Dados Condicionantes								
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,09	0,11	0,12	0,09	0,13	
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,8	3,7	3,9	5,7	4,0	
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	8,2	6,2	4,2	3,6	2,9	
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0488	0,0506	0,0481	0,0326	0,0468	
Quantitativo de Materiais								
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	390,6	283,8	273,1	255,1	241,8	
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	210,4	152,8	109,6	134,4	76,3	
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	778,0	549,5	555,3	748,2	502,8	
35 Volume total	Vt	m³	1383,1	990,1	942,1	1141,7	824,9	
36 Área de Fôrmas	Af	m²	3080,2	2246,2	1979,5	2022,6	1661,5	
37 Armadura	Ar	ton	110,6	79,2	75,4	91,3	66,0	

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.12 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1171,21 (H₀ = 0,99 m - Perda)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor					
Dados do Local do Vertedor Labirinto								
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,21	1171,21	1171,21	1171,21	1171,21	1171,21
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Dados Adotados								
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5	
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18	
Dados Calculados								
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18	
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,38	3,94	3,20	2,74	2,34	
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3053	0,3053	0,3053	0,3053	0,3053	0,3053
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3577	0,4972	0,531	0,5593	0,6157	
17 Compr. efetivo da crista	L	m	312,27	224,66	210,36	199,71	181,42	
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	49,23	35,45	25,12	30,99	17,17	
19 Compr. da parede	L1	m	49,10	35,39	25,27	31,67	17,63	
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	48,74	35,04	24,95	31,36	17,34	
21 Compr. total das paredes	L3	m	300,35	218,04	209,56	195,44	185,21	
22 Compr. de um ciclo	l	m	100,12	72,68	52,39	65,15	37,04	
23 Largura de um ciclo	w	m	12,18	11,75	12,36	18,21	12,68	
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	36,55	35,24	49,42	54,62	63,39	
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	151,33	151,33	151,33	151,33	151,33	151,33
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,98	4,17	3,05	2,71	2,44	
Dados Condicionantes								
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,09	0,11	0,13	0,09	0,14	
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,8	3,7	3,8	5,7	3,9	
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	8,2	6,2	4,2	3,6	2,9	
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0492	0,0511	0,0486	0,0330	0,0473	
Quantitativo de Materiais								
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	385,6	280,0	269,1	250,9	237,8	
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	208,5	151,2	108,4	132,7	75,3	
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	764,8	539,2	544,0	730,3	491,1	
35 Volume total	Vt	m³	1363,0	974,5	925,5	1118,1	808,3	
36 Área de Fôrmas	Af	m²	3045,0	2218,4	1952,6	1992,6	1636,0	
37 Armadura	Ar	ton	109,0	78,0	74,0	89,4	64,7	

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.13 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1171,20 (H₀ = 1,00 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,20	1171,20	1171,20	1171,20	1171,20
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,42	3,98	3,24	2,77	2,37
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3094	0,3094	0,3094	0,3094	0,3094
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3557	0,4948	0,5293	0,5581	0,6149
17 Compr. efetivo da crista	L	m	309,28	222,34	207,84	197,12	178,91
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	48,76	35,09	24,82	30,59	16,94
19 Compr. da parede	L1	m	48,63	35,03	24,97	31,25	17,39
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	48,27	34,68	24,65	30,95	17,10
21 Compr. total das paredes	L3	m	297,53	215,84	207,15	192,97	182,77
22 Compr. de um ciclo	l	m	99,18	71,95	51,79	64,32	36,55
23 Largura de um ciclo	w	m	12,09	11,64	12,23	17,99	12,53
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	36,26	34,93	48,92	53,98	62,63
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	148,80	148,80	148,80	148,80	148,80
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,95	4,14	3,03	2,70	2,43
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,09	0,11	0,13	0,09	0,14
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,8	3,6	3,8	5,6	3,9
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	8,2	6,2	4,2	3,6	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0496	0,0515	0,0491	0,0333	0,0479
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	380,8	276,3	265,2	247,0	233,9
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	206,6	149,8	107,2	131,1	74,4
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	752,2	529,8	533,1	713,6	479,9
35 Volume total	V _t	m³	1343,7	959,9	909,6	1095,8	792,4
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	3010,9	2192,1	1926,5	1964,0	1611,3
37 Armadura	A _r	ton	107,5	76,8	72,8	87,7	63,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.14 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1171,19 (H₀ = 1,01 m - Perda)

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3135	0,3135	0,3135	0,3135	0,3135
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3537	0,4925	0,5275	0,557	0,6141
17 Compr. efetivo da crista	L	m	306,38	220,03	205,43	194,55	176,46
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	48,34	34,73	24,54	30,20	16,71
19 Compr. da parede	L1	m	48,17	34,66	24,68	30,85	17,15
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	47,81	34,32	24,36	30,54	16,86
21 Compr. total das paredes	L3	m	294,79	213,66	204,83	190,52	180,39
22 Compr. de um ciclo	I	m	98,26	71,22	51,21	63,51	36,08
23 Largura de um ciclo	w	m	11,99	11,54	12,11	17,78	12,38
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	35,97	34,63	48,44	53,35	61,90
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	146,35	146,35	146,35	146,35	146,35
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,91	4,10	3,01	2,69	2,42
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,09	0,12	0,13	0,09	0,14
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,8	3,6	3,8	5,6	3,9
29 Relação I/w (>2 e <8)	I/w	---	8,2	6,2	4,2	3,6	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0500	0,0520	0,0495	0,0337	0,0485
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	376,1	272,6	261,4	243,1	230,2
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	204,7	148,3	106,0	129,5	73,5
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	739,9	520,5	522,8	697,3	469,2
35 Volume total	V _t	m³	1324,9	945,6	894,4	1074,1	777,0
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	2977,6	2166,2	1901,3	1935,8	1587,2
37 Armadura	Ar	ton	106,0	75,6	71,5	85,9	62,2

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.15 - Planilha com resultados - Alternativa B - EL cr = 1171,18 (H₀ = 1,02 m - Perda)

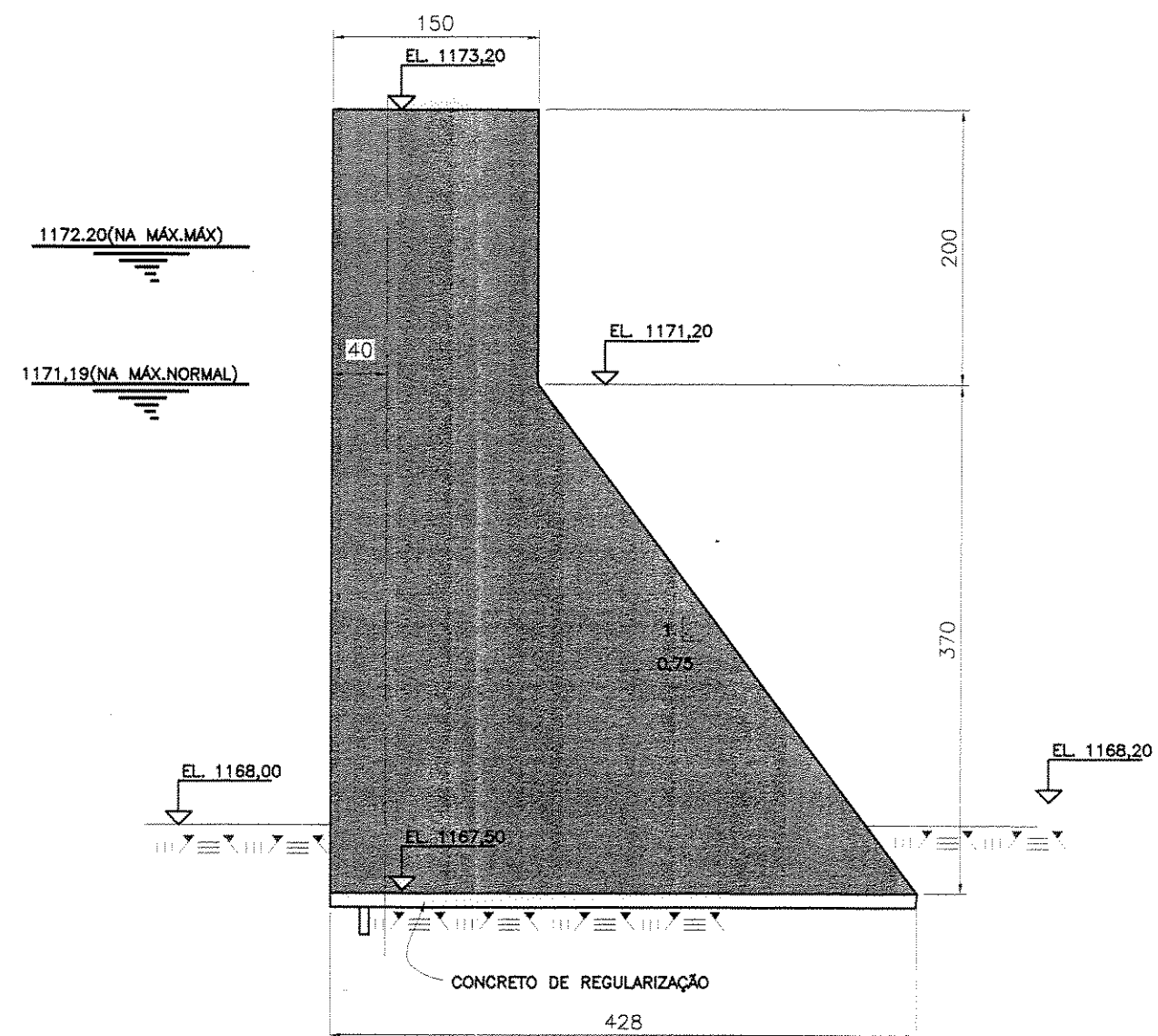
1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	320	320	320	320	320
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,18	1171,18	1171,18	1171,18	1171,18
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	3	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,51	4,06	3,30	2,82	2,42
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3176	0,3176	0,3176	0,3176	0,3176
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3518	0,4902	0,5257	0,5558	0,6132
17 Compr. efetivo da crista	L	m	303,47	217,79	203,08	192,08	174,10
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	47,85	34,38	24,26	29,82	16,49
19 Compr. da parede	L1	m	47,71	34,31	24,40	30,46	16,92
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	47,35	33,96	24,07	30,15	16,63
21 Compr. total das paredes	L3	m	292,04	211,55	202,57	188,18	178,10
22 Compr. de um ciclo	l	m	97,35	70,51	50,64	62,73	35,62
23 Largura de um ciclo	w	m	11,90	11,45	11,99	17,58	12,24
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	35,69	34,34	47,97	52,74	61,19
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	143,96	143,96	143,96	143,96	143,96
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,88	4,07	2,99	2,67	2,41
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,09	0,12	0,14	0,09	0,15
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,7	3,6	3,8	5,5	3,8
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	8,2	6,2	4,2	3,6	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0504	0,0524	0,0500	0,0341	0,0490
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	371,5	269,1	257,7	239,4	226,5
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	202,9	146,9	104,9	128,0	72,7
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	727,8	511,5	512,8	681,8	459,0
35 Volume total	Vt	m³	1306,4	931,7	879,6	1053,4	762,4
36 Área de Fôrmas	Af	m²	2944,5	2140,9	1876,7	1908,7	1564,0
37 Armadura	Ar	ton	104,5	74,5	70,4	84,3	61,0

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

De acordo com os resultados das tabelas, pode ser observado que o maior valor EL cr que atende todos os limites estabelecidos pela bibliografia e pelas condições do local, é o apresentado pela tabela 6.14, com valor de EL cr igual a 1171,19, equivalente a uma lâmina d'água H_0 de 1,0 m (H_t - perda). E para esta altura de lâmina d'água, o ângulo α entre as paredes que apresenta melhor resultado é o de 8° (coluna 5).

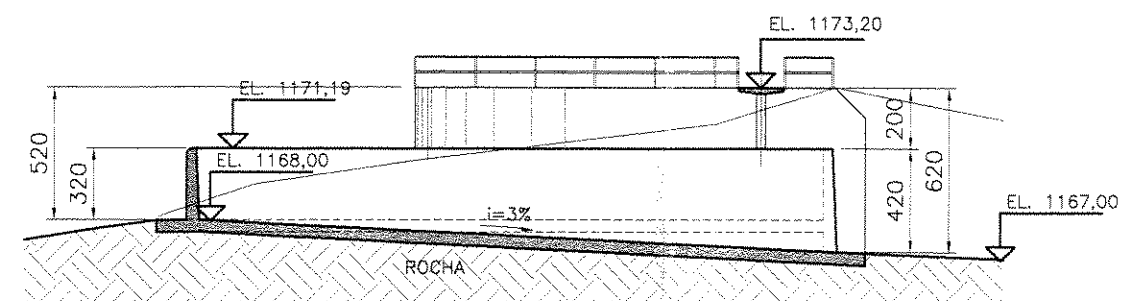
Adotando as dimensões para o vertedor labirinto com o valor da lâmina d'água H_0 de 1 m, pode-se obter a sua disposição conforme as figuras 6.1 e 6.2. Não foi escolhida a posição do vertedor labirinto no local do vertedor principal, ao lado da tomada d'água, devido à grande inclinação do terreno, o que solicitaria um maior volume de concreto em sua base. O seu posicionamento no local do vertedor complementar, além de apresentar menor inclinação, está na direção natural do escoamento, o que favorece as grandes descargas e a eliminação de detritos flutuantes, diminuindo as operações de limpeza das grades da tomada d'água. Conforme recomendações feitas por **Houston (1983)**, o vertedor será posicionado com os vértices de montante cerca de 1/3 de seu comprimento B adentro do reservatório, melhorando sua eficiência. No local do vertedor principal seria utilizado um dique de concreto, fazendo apenas o represamento da água. Com este arranjo, a tomada d'água e descarga de fundo podem ser posicionadas frontalmente ao fluxo e o canal de adução diminui os ângulos de suas 2 primeiras curvas. Seguem abaixo os dados finais que serão utilizados na comparação com as outras alternativas:

Performance - ϵ :	4,10
Volume de Concreto - V_t :	945,6 m ³
Área de Fôrma - A_f :	2166,2 m ²
Armadura - A_r :	75,6 ton



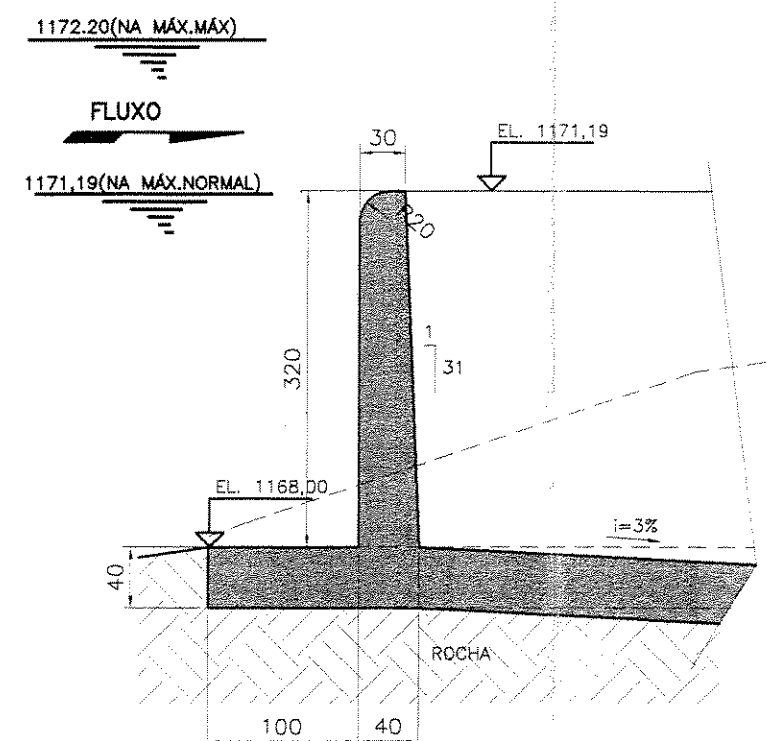
VERTEDOR PRINCIPAL – CORTE TRANSVERSAL

ESCALA GRÁFICA
0 50 100 150 200 250cm



VERTEDOR COMPLEMENTAR – CORTE AA

ESCALA GRÁFICA
0 250 500 750 1000 1250cm



DETALHE DA PAREDE DO VERTEDOR LABIRINTO

ESCALA GRÁFICA
0 50 100 150 200 250cm

Figura 6.2 - Detalhes do Vertedor Complementar em Labirinto
Alternativa B

6.2 Dimensionamento do Vertedor Labirinto - Alternativa C

Vertedor principal com soleira retilínea com perfil Creager (projeto original) e vertedor complementar com soleira em labirinto trapezoidal. Mantendo o mesmo critério de altura de lâmina d'água H_0 de 1 m, a disposição do vertedor principal do projeto original será mantida, alterando apenas a cota da soleira Creager para a elevação 1171,19. Sendo a cota de fundo da barragem igual a 1168,00, tem-se P (altura da parede do vertedor) igual a 3,19 m, fazendo com que a relação H_0/P seja igual a 0,3135.

De posse deste valor, de acordo com a equação 4.11, o coeficiente de descarga (vertedor retilíneo) é igual a 0,7405, que aplicado na equação 4.3, fornece uma vazão de 95,08 m³/s. Subtraindo este valor da descarga total requerida 320 m³/s, tem-se a vazão necessária para o vertedor complementar em labirinto: 224,92 m³/s. Será adotado o valor arredondado de 225 m³/s.

Tendo em vista a definição do nível máximo do reservatório, 1172,20, e a altura da lâmina d'água $H_0=1$ m, serão apresentadas a seguir as planilhas 6.16 a 6.27, com os resultados do dimensionamento do vertedor labirinto - Alternativa C, tendo como variáveis:

1. altura da cota de fundo da barragem - EL f, partindo da altura de 1168,00 (cota do projeto original) até o maior valor de cota possível;
2. Número de ciclos N ;
3. Ângulo das paredes do vertedor com valores de 6°, 8°, 12°, 15° e 18°.

O valor de EL f será acrescido em intervalos de 15 cm até que os limites estabelecidos pela bibliografia e condições do local para os 5 ângulos sejam

superados. Para cada valor de EL f, a quantidade de ciclos será variada de modo que os limites sejam atendidos. Após o valor de EL f atingir este limite, este será diminuído em intervalos de 1 cm até que se atinja o maior valor de cota de fundo sem ultrapassar os valores limites. Este intervalo de 1 cm também foi escolhido por ser a unidade apresentada pelo medidor de nível existente na barragem.

Com esta elevação da cota de fundo da barragem, a profundidade da escavação em rocha poderá ser diminuída, com um custo de R\$ 53,90 / m³ (escavação, carga e transporte de material rochoso), segundo a revista Construção Mercado de outubro de 2003 da Editora Pini.

O vertedor complementar em labirinto ideal será aquele que apresentar o maior valor de EL f, o maior valor de performance ε e o menor volume de concreto.

Tabela 6.16 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,00 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³ /s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00	1168,00
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	2	3	4	4
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3135	0,3135	0,3135	0,3135	0,3135
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3537	0,4925	0,5275	0,557	0,6141
17 Compr. efetivo da crista	L	m	215,42	154,71	144,45	136,80	124,08
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	34,09	35,64	22,74	16,31	14,63
19 Compr. da parede	L1	m	33,87	35,58	22,84	16,47	14,97
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	33,51	35,24	22,52	16,16	14,67
21 Compr. total das paredes	L3	m	208,99	146,13	142,59	138,99	126,84
22 Compr. de um ciclo	l	m	69,66	73,06	47,53	34,75	31,71
23 Largura de um ciclo	w	m	9,00	11,80	11,35	10,34	11,03
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	27,00	23,60	34,04	41,35	44,12
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	102,90	102,90	102,90	102,90	102,90
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,70	4,12	2,98	2,53	2,38
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,13	0,11	0,14	0,17	0,16
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	2,8	3,7	3,6	3,2	3,5
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,7	6,2	4,2	3,4	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0667	0,0508	0,0529	0,0580	0,0544
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	266,7	186,5	181,9	177,4	161,9
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	145,7	152,1	98,6	71,9	64,9
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	401,3	367,3	344,8	308,7	298,9
35 Volume total	Vt	m³	817,8	710,1	629,5	562,0	529,8
36 Área de Fôrmas	Af	m²	2116,4	1746,1	1453,9	1298,0	1186,6
37 Armadura	Ar	ton	65,4	56,8	50,4	45,0	42,4

Os valores em negrito *italico* tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.17 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,15 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,15	1168,15	1168,15	1168,15	1168,15
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	2	3	4	4
9 Altura da parede do vertedor	P	m	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3289	0,3289	0,3289	0,3289	0,3289
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3464	0,4836	0,5207	0,5525	0,6107
17 Compr. efetivo da crista	L	m	219,96	157,56	146,33	137,91	124,77
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	34,80	36,29	23,03	16,44	14,71
19 Compr. da parede	L1	m	34,58	36,24	23,14	16,60	15,05
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	34,22	35,89	22,82	16,30	14,76
21 Compr. total das paredes	L3	m	213,26	148,75	144,38	140,07	127,52
22 Compr. de um ciclo	I	m	71,09	74,37	48,13	35,02	31,88
23 Largura de um ciclo	w	m	9,15	11,98	11,47	10,41	11,08
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	27,45	23,96	34,41	41,63	44,33
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	102,34	102,34	102,34	102,34	102,34
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,61	4,03	2,93	2,50	2,36
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,13	0,11	0,14	0,17	0,16
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,0	3,9	3,8	3,4	3,6
29 Relação I/w (>2 e <8)	I/w	---	7,8	6,2	4,2	3,4	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0656	0,0501	0,0523	0,0576	0,0541
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	259,3	180,9	175,6	170,3	155,1
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	144,3	150,3	96,9	70,3	63,4
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	415,8	379,2	352,6	312,9	301,7
35 Volume total	V _t	m³	823,5	714,5	629,1	557,6	524,1
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	2073,8	1710,0	1414,0	1255,3	1145,1
37 Armadura	Ar	ton	65,9	57,2	50,3	44,6	41,9

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.18 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,30 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,30	1168,30	1168,30	1168,30	1168,30
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	4	4
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3384	0,4735	0,5127	0,5471	0,6064
17 Compr. efetivo da crista	L	m	225,16	160,92	148,61	139,27	125,65
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	35,64	25,50	17,86	16,59	14,81
19 Compr. da parede	L1	m	35,40	25,35	17,85	16,77	15,16
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	35,04	25,00	17,53	16,46	14,87
21 Compr. total das paredes	L3	m	218,17	157,79	150,22	141,38	128,37
22 Compr. de um ciclo	l	m	72,72	52,60	37,56	35,34	32,09
23 Largura de um ciclo	w	m	9,32	8,95	9,27	10,49	11,15
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	27,96	26,85	37,09	41,97	44,59
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	101,82	101,82	101,82	101,82	101,82
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,53	3,72	2,78	2,46	2,33
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,13	0,16	0,18	0,17	0,16
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,2	3,1	3,2	3,6	3,9
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,8	5,9	4,1	3,4	2,9
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0644	0,0670	0,0647	0,0572	0,0538
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	252,2	182,4	173,7	163,4	148,4
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	143,2	103,7	73,8	68,8	61,9
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	432,7	304,2	301,0	318,1	305,3
35 Volume total	Vt	m³	832,0	594,2	552,4	554,3	519,5
36 Área de Fôrmas	Af	m²	2033,5	1477,9	1286,8	1213,7	1104,4
37 Armadura	Ar	ton	66,6	47,5	44,2	44,3	41,6

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.19 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,45 m

	1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor					
Dados do Local do Vertedor Labirinto								
1 Vazão máxima requerida	Q	m³ /s	225	225	225	225	225	
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,45	1168,45	1168,45	1168,45	1168,45	
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Dados Adotados								
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	4	5	
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74	
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18	
Dados Calculados								
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18	
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39	
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,365	0,365	0,365	0,365	0,365	
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3298	0,4621	0,5036	0,5406	0,6011	
17 Compr. efetivo da crista	L	m	231,03	164,89	151,30	140,95	126,76	
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	36,53	26,12	18,18	16,79	12,12	
19 Compr. da parede	L1	m	36,33	25,98	18,18	16,97	12,32	
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	35,97	25,63	17,85	16,66	12,03	
21 Compr. total das paredes	L3	m	223,71	161,54	152,80	142,99	132,09	
22 Compr. de um ciclo	l	m	74,57	53,85	38,20	35,75	26,42	
23 Largura de um ciclo	w	m	9,51	9,13	9,41	10,60	9,39	
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	28,54	27,38	37,62	42,39	46,97	
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	101,34	101,34	101,34	101,34	101,34	
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,44	3,63	2,72	2,43	2,25	
Dados Condicionantes								
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,12	0,15	0,18	0,17	0,20	
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,3	3,4	3,9	3,4	
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,8	5,9	4,1	3,4	2,8	
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0631	0,0658	0,0638	0,0566	0,0639	
Quantitativo de Materiais								
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	245,2	177,0	167,5	156,7	144,8	
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	142,3	102,9	72,7	67,5	49,7	
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	452,2	316,9	310,1	324,6	269,7	
35 Volume total	V _t	m³	843,4	600,6	554,1	552,6	468,0	
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1995,0	1447,8	1251,1	1173,7	1025,2	
37 Armadura	Ar	ton	67,5	48,1	44,3	44,2	37,4	

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.20 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,60 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,60	1168,60	1168,60	1168,60	1168,60
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	3	3	4	5	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,59	2,59	2,59	2,59	2,59
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,3861	0,3861	0,3861	0,3861	0,3861
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3205	0,4493	0,4932	0,5331	0,5947
17 Compr. efetivo da crista	L	m	237,74	169,59	154,49	142,93	128,12
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	37,57	26,86	18,55	13,80	12,24
19 Compr. da parede	L1	m	37,38	26,72	18,56	13,87	12,45
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	37,02	26,37	18,24	13,56	12,16
21 Compr. total das paredes	L3	m	230,03	165,98	155,87	147,75	133,41
22 Compr. de um ciclo	I	m	76,68	55,33	38,97	29,55	26,68
23 Largura de um ciclo	w	m	9,73	9,33	9,57	8,99	9,48
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	29,20	27,99	38,26	44,97	47,38
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,93	100,93	100,93	100,93	100,93
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,34	3,53	2,66	2,32	2,22
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,12	0,15	0,18	0,20	0,20
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,8	3,6	3,7	3,5	3,7
29 Relação I/w (>2 e <8)	I/w	---	7,9	5,9	4,1	3,3	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0616	0,0643	0,0627	0,0667	0,0633
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	238,3	172,0	161,5	153,1	138,2
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	141,6	102,3	71,8	54,3	48,6
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	474,9	332,3	321,2	289,1	274,5
35 Volume total	V _t	m³	858,6	610,3	558,1	500,2	465,0
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1958,6	1420,5	1217,2	1089,3	987,2
37 Armadura	Ar	ton	68,7	48,8	44,7	40,0	37,2

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.21 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,75 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,75	1168,75	1168,75	1168,75	1168,75
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	3	4	5	5
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4098	0,4098	0,4098	0,4098	0,4098
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3104	0,435	0,4814	0,5242	0,5869
17 Compr. efetivo da crista	L	m	245,47	175,16	158,28	145,35	129,83
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	29,60	27,73	19,00	14,02	12,40
19 Compr. da parede	L1	m	29,36	27,60	19,02	14,10	12,62
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	29,00	27,25	18,69	13,80	12,32
21 Compr. total das paredes	L3	m	242,58	171,26	159,51	150,10	135,06
22 Compr. de um ciclo	l	m	60,64	57,08	39,88	30,02	27,01
23 Largura de um ciclo	w	m	8,06	9,58	9,76	9,11	9,58
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	32,23	28,73	39,02	45,57	47,89
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,59	100,59	100,59	100,59	100,59
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,08	3,42	2,60	2,28	2,19
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,15	0,17	0,20	0,19
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,3	3,9	4,0	3,7	3,9
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,5	6,0	4,1	3,3	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0745	0,0627	0,0615	0,0658	0,0627
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	236,8	167,1	155,7	146,5	131,8
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	108,7	102,0	71,0	53,4	47,6
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	417,5	351,1	334,5	297,2	280,4
35 Volume total	Vt	m³	766,5	623,8	564,7	500,6	463,3
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1782,0	1396,3	1185,3	1052,2	950,5
37 Armadura	Ar	ton	61,3	49,9	45,2	40,0	37,1

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.22 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,90 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,90	1168,90	1168,90	1168,90	1168,90
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	6	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4367	0,4367	0,4367	0,4367	0,4367
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2996	0,4192	0,4678	0,5138	0,5774
17 Compr. efetivo da crista	L	m	254,32	181,76	162,88	148,30	131,96
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	30,65	21,96	15,83	12,04	10,61
19 Compr. da parede	L1	m	30,42	21,77	15,78	12,05	10,74
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	30,06	21,43	15,45	11,74	10,45
21 Compr. total das paredes	L3	m	251,05	181,77	167,01	155,48	139,52
22 Compr. de um ciclo	l	m	62,76	45,44	33,40	25,91	23,25
23 Largura de um ciclo	w	m	8,28	7,96	8,41	8,05	8,42
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	33,12	31,82	42,04	48,31	50,50
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,35	100,35	100,35	100,35	100,35
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,99	3,15	2,45	2,18	2,10
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,18	0,21	0,23	0,23
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,6	3,5	3,7	3,5	3,7
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,6	5,7	4,0	3,2	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0725	0,0754	0,0714	0,0745	0,0713
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	230,0	166,5	153,0	142,4	127,8
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	108,6	78,8	57,8	44,7	39,8
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	443,0	312,7	305,6	275,8	258,8
35 Volume total	Vt	m³	785,1	561,4	519,7	466,4	429,8
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1749,1	1274,7	1105,2	989,3	892,2
37 Armadura	Ar	ton	62,8	44,9	41,6	37,3	34,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.23 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1169,05 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1169,05	1169,05	1169,05	1169,05	1169,05
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	6	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4673	0,4673	0,4673	0,4673	0,4673
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2881	0,4018	0,4526	0,5017	0,5661
17 Compr. efetivo da crista	L	m	264,47	189,63	168,35	151,87	134,60
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	31,86	22,90	16,35	12,32	10,82
19 Compr. da parede	L1	m	31,64	22,72	16,31	12,34	10,95
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	31,28	22,37	15,98	12,03	10,66
21 Compr. total das paredes	L3	m	260,76	189,32	172,30	158,96	142,10
22 Compr. de um ciclo	l	m	65,19	47,33	34,46	26,49	23,68
23 Largura de um ciclo	w	m	8,53	8,22	8,63	8,20	8,55
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	34,14	32,87	43,14	49,21	51,29
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,90	3,04	2,38	2,13	2,06
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,14	0,18	0,20	0,23	0,22
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	4,0	3,8	4,0	3,8	4,0
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,6	5,8	4,0	3,2	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0703	0,0730	0,0695	0,0732	0,0702
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	223,2	162,1	147,5	136,1	121,6
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	108,8	79,1	57,5	44,1	39,1
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	473,2	335,3	322,5	286,5	267,0
35 Volume total	V _t	m³	808,6	579,8	530,8	470,0	431,1
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1718,1	1255,6	1077,4	955,2	858,5
37 Armadura	A _r	ton	64,7	46,4	42,5	37,6	34,5

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.24 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1169,20 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1169,20	1169,20	1169,20	1169,20	1169,20
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	6	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,5025	0,5025	0,5025	0,5025	0,5025
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2761	0,3831	0,4357	0,4878	0,5528
17 Compr. efetivo da crista	L	m	275,97	198,89	174,88	156,20	137,83
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	33,23	23,99	16,97	12,66	11,07
19 Compr. da parede	L1	m	33,01	23,83	16,94	12,69	11,22
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	32,65	23,48	16,62	12,39	10,92
21 Compr. total das paredes	L3	m	271,76	198,19	178,63	163,19	145,27
22 Compr. de um ciclo	l	m	67,94	49,55	35,73	27,20	24,21
23 Largura de um ciclo	w	m	8,82	8,53	8,89	8,38	8,71
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	35,28	34,11	44,46	50,30	52,27
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,26	100,26	100,26	100,26	100,26
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,80	2,93	2,30	2,08	2,02
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,13	0,17	0,19	0,22	0,22
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	4,4	4,3	4,5	4,2	4,4
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,7	5,8	4,0	3,2	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0680	0,0704	0,0675	0,0716	0,0689
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	216,3	157,8	142,2	129,9	115,6
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	109,3	79,8	57,4	43,6	38,5
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	508,5	363,0	343,4	299,7	277,4
35 Volume total	Vt	m³	837,3	603,7	546,2	476,4	434,7
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1687,6	1239,1	1051,8	922,8	826,3
37 Armadura	Ar	ton	67,0	48,3	43,7	38,1	34,8

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.25 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1169,10 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1169,10	1169,10	1169,10	1169,10	1169,10
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	6	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4785	0,4785	0,4785	0,4785	0,4785
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2842	0,3957	0,4471	0,4973	0,5619
17 Compr. efetivo da crista	L	m	268,10	192,56	170,42	153,22	135,60
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	32,29	23,24	16,55	12,43	10,89
19 Compr. da parede	L1	m	32,07	23,07	16,51	12,45	11,03
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	31,71	22,72	16,18	12,14	10,74
21 Compr. total das paredes	L3	m	264,23	192,12	174,32	160,27	143,08
22 Compr. de um ciclo	l	m	66,06	48,03	34,86	26,71	23,85
23 Largura de um ciclo	w	m	8,62	8,32	8,71	8,26	8,60
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	34,50	33,26	43,56	49,55	51,60
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,86	3,01	2,35	2,12	2,05
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,14	0,17	0,20	0,23	0,22
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	4,1	4,0	4,2	4,0	4,1
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,7	5,8	4,0	3,2	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0696	0,0722	0,0689	0,0727	0,0698
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	220,9	160,6	145,7	134,0	119,6
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	108,9	79,3	57,4	43,9	38,9
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	484,2	344,0	329,1	290,5	270,2
35 Volume total	V _t	m³	817,3	587,2	535,5	471,7	432,0
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1707,6	1249,8	1068,8	944,1	847,6
37 Armadura	A _r	ton	65,4	47,0	42,8	37,7	34,6

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.26 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1169,11 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1169,11	1169,11	1169,11	1169,11	1169,11
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	6	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4808	0,4808	0,4808	0,4808	0,4808
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2834	0,3945	0,446	0,4964	0,561
17 Compr. efetivo da crista	L	m	268,86	193,14	170,84	153,49	135,82
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	32,38	23,31	16,59	12,45	10,91
19 Compr. da parede	L1	m	32,16	23,14	16,55	12,47	11,05
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	31,80	22,79	16,22	12,17	10,76
21 Compr. total das paredes	L3	m	264,95	192,68	174,72	160,55	143,30
22 Compr. de um ciclo	l	m	66,24	48,17	34,94	26,76	23,88
23 Largura de um ciclo	w	m	8,64	8,34	8,73	8,27	8,61
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	34,57	33,34	43,65	49,62	51,67
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,86	3,00	2,35	2,11	2,05
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,14	0,17	0,20	0,22	0,22
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	4,2	4,0	4,2	4,0	4,1
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,7	5,8	4,0	3,2	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0694	0,0720	0,0687	0,0726	0,0697
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	220,4	160,3	145,4	133,6	119,2
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	109,0	79,4	57,4	43,9	38,9
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	486,5	345,7	330,4	291,4	270,9
35 Volume total	V _t	m³	819,1	588,6	536,5	472,1	432,3
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1705,5	1248,6	1067,0	941,9	845,5
37 Armadura	A _r	ton	65,5	47,1	42,9	37,8	34,6

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.27 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1169,12 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1169,12	1169,12	1169,12	1169,12	1169,12
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	6	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,47	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4831	0,4831	0,4831	0,4831	0,4831
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,2826	0,3932	0,4449	0,4954	0,5602
17 Compr. efetivo da crista	L	m	269,62	193,78	171,26	153,80	136,01
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	32,47	23,39	16,63	12,47	10,93
19 Compr. da parede	L1	m	32,25	23,21	16,59	12,50	11,07
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	31,89	22,87	16,26	12,19	10,78
21 Compr. total das paredes	L3	m	265,69	193,29	175,12	160,86	143,49
22 Compr. de um ciclo	l	m	66,42	48,32	35,02	26,81	23,91
23 Largura de um ciclo	w	m	8,66	8,36	8,75	8,28	8,62
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	34,65	33,43	43,73	49,70	51,73
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,23	100,23	100,23	100,23	100,23
26 Performance do Vertedor	ε	---	2,85	2,99	2,34	2,11	2,04
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,14	0,17	0,20	0,22	0,22
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	4,2	4,0	4,2	4,0	4,2
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,7	5,8	4,0	3,2	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0693	0,0718	0,0686	0,0724	0,0696
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	220,0	160,0	145,0	133,2	118,8
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	109,0	79,4	57,4	43,9	38,8
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	488,8	347,6	331,8	292,3	271,6
35 Volume total	V _t	m³	821,1	590,3	537,4	472,6	432,5
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1703,6	1247,7	1065,2	940,0	843,3
37 Armadura	Ar	ton	65,7	47,2	43,0	37,8	34,6

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

De acordo com os resultados das tabelas, pode ser observado que o menor valor de EL f, que atende todos os limites estabelecidos pela bibliografia e pelas condições do local, é o apresentado pela planilha 6.25, com valor a 1169,10 m. E para esta cota, o ângulo α entre as paredes que apresenta melhor resultado é o de 8° (coluna 5), com performance ε igual a 3,01 e volume de concreto igual a 587,2 m³. Com esta elevação da cota de fundo da barragem, o volume de escavação economizado é de aproximadamente 858 m³.

Porém, durante a análise, a planilha 6.22, com valor de EL f igual a 1168,90 m, apresenta um valor do volume de concreto inferior ao da cota anterior. Com isso, será feita nova análise, através das planilhas 6.28 a 6.34, partindo da cota 1168,89 m, subtraindo em intervalos de 1 cm até que os parâmetros limites ou o volume de concreto de 561,4 m³ sejam superados.

Tabela 6.28 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,89 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,89	1168,89	1168,89	1168,89	1168,89
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	5	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,46	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4347	0,4347	0,4347	0,4347	0,4347
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3004	0,4203	0,4688	0,5146	0,5781
17 Compr. efetivo da crista	L	m	253,68	181,31	162,56	148,09	131,82
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	30,58	21,91	15,80	14,28	10,60
19 Compr. da parede	L1	m	30,34	21,72	15,75	14,37	10,73
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	29,98	21,37	15,42	14,06	10,43
21 Compr. total das paredes	L3	m	250,43	181,34	166,70	152,75	139,39
22 Compr. de um ciclo	l	m	62,61	45,33	33,34	30,55	23,23
23 Largura de um ciclo	w	m	8,26	7,94	8,40	9,25	8,41
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	33,06	31,76	41,98	46,26	50,45
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,38	100,38	100,38	100,38	100,38
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,00	3,16	2,45	2,24	2,10
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,18	0,21	0,20	0,23
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,6	3,5	3,7	4,0	3,7
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,6	5,7	4,0	3,3	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0726	0,0756	0,0715	0,0649	0,0714
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	230,4	166,8	153,4	140,5	128,2
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	108,6	78,8	57,8	52,6	39,9
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	441,2	311,4	304,6	306,4	258,3
35 Volume total	V _t	m³	783,6	560,5	519,2	502,9	429,9
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1751,2	1276,3	1107,2	1019,0	894,7
37 Armadura	Ar	ton	62,7	44,8	41,5	40,2	34,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.29 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,88 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,88	1168,88	1168,88	1168,88	1168,88
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	5	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,46	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4329	0,4329	0,4329	0,4329	0,4329
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3011	0,4214	0,4697	0,5153	0,5788
17 Compr. efetivo da crista	L	m	253,09	180,84	162,24	147,89	131,66
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	30,51	21,85	15,77	14,26	10,59
19 Compr. da parede	L1	m	30,27	21,66	15,72	14,35	10,71
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	29,91	21,32	15,39	14,04	10,42
21 Compr. total das paredes	L3	m	249,87	180,89	166,39	152,55	139,23
22 Compr. de um ciclo	l	m	62,47	45,22	33,28	30,51	23,20
23 Largura de um ciclo	w	m	8,25	7,93	8,38	9,24	8,40
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	33,00	31,70	41,92	46,21	50,41
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,39	100,39	100,39	100,39	100,39
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,00	3,17	2,46	2,24	2,11
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,18	0,21	0,20	0,23
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,6	3,4	3,6	4,0	3,6
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,6	5,7	4,0	3,3	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0727	0,0757	0,0716	0,0649	0,0714
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	230,9	167,1	153,7	141,0	128,6
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	108,6	78,8	57,8	52,6	40,0
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	439,5	310,1	303,6	305,7	257,8
35 Volume total	Vt	m³	782,4	559,5	518,7	502,7	429,9
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1753,5	1277,7	1109,2	1021,3	896,9
37 Armadura	Ar	ton	62,6	44,8	41,5	40,2	34,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.30 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,87 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,87	1168,87	1168,87	1168,87	1168,87
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	5	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,46	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3018	0,4225	0,4707	0,5161	0,5794
17 Compr. efetivo da crista	L	m	252,51	180,37	161,90	147,66	131,53
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	30,44	21,80	15,74	14,24	10,58
19 Compr. da parede	L1	m	30,20	21,61	15,68	14,33	10,70
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	29,84	21,26	15,36	14,02	10,41
21 Compr. total das paredes	L3	m	249,30	180,44	166,06	152,33	139,11
22 Compr. de um ciclo	l	m	62,33	45,11	33,21	30,47	23,18
23 Largura de um ciclo	w	m	8,23	7,91	8,37	9,23	8,40
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	32,94	31,64	41,85	46,15	50,37
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,40	100,40	100,40	100,40	100,40
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,01	3,17	2,46	2,24	2,11
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,18	0,21	0,20	0,23
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,4	3,6	4,0	3,6
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,6	5,7	4,0	3,3	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0729	0,0759	0,0717	0,0650	0,0715
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	231,4	167,4	154,1	141,4	129,1
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	108,6	78,8	57,8	52,7	40,0
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	437,7	308,7	302,6	304,9	257,4
35 Volume total	Vt	m³	781,2	558,4	518,0	502,4	430,0
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1755,9	1279,0	1111,0	1023,6	899,4
37 Armadura	Ar	ton	62,5	44,7	41,4	40,2	34,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.31 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,86 m

	1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor					
Dados do Local do Vertedor Labirinto								
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,86	1168,86	1168,86	1168,86	1168,86	1168,86
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados								
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	5	6	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18	18
Dados Calculados								
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,46	4,02	3,27	2,80	2,39	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4291	0,4291	0,4291	0,4291	0,4291	0,4291
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3026	0,4236	0,4716	0,5168	0,5801	0,5801
17 Compr. efetivo da crista	L	m	251,84	179,90	161,59	147,46	131,37	131,37
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	30,36	21,74	15,71	14,22	10,57	10,57
19 Compr. da parede	L1	m	30,12	21,55	15,65	14,31	10,69	10,69
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	29,76	21,20	15,33	14,00	10,40	10,40
21 Compr. total das paredes	L3	m	248,67	179,99	165,76	152,13	138,94	138,94
22 Compr. de um ciclo	I	m	62,17	45,00	33,15	30,43	23,16	23,16
23 Largura de um ciclo	w	m	8,22	7,89	8,36	9,22	8,39	8,39
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	32,87	31,58	41,78	46,10	50,32	50,32
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,42	100,42	100,42	100,42	100,42	100,42
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,02	3,18	2,47	2,25	2,11	2,11
Dados Condicionantes								
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,19	0,21	0,20	0,23	0,23
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,4	3,6	4,0	3,6	3,6
29 Relação I/w (>2 e <8)	I/w	---	7,6	5,7	4,0	3,3	2,8	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0730	0,0760	0,0718	0,0651	0,0715	0,0715
Quantitativo de Materiais								
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	231,8	167,7	154,5	141,8	129,5	129,5
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	108,6	78,8	57,9	52,7	40,1	40,1
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	435,8	307,5	301,6	304,2	256,9	256,9
35 Volume total	Vt	m³	779,7	557,4	517,5	502,2	430,0	430,0
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1757,7	1280,4	1113,0	1025,9	901,6	901,6
37 Armadura	Ar	ton	62,4	44,6	41,4	40,2	34,4	34,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.32 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,85 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,85	1168,85	1168,85	1168,85	1168,85
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	5	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,46	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4273	0,4273	0,4273	0,4273	0,4273
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3033	0,4247	0,4725	0,5175	0,5808
17 Compr. efetivo da crista	L	m	251,26	179,44	161,28	147,26	131,21
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	30,29	21,69	15,68	14,20	10,55
19 Compr. da parede	L1	m	30,05	21,50	15,62	14,29	10,68
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	29,69	21,15	15,30	13,98	10,38
21 Compr. total das paredes	L3	m	248,11	179,54	165,46	151,94	138,79
22 Compr. de um ciclo	l	m	62,03	44,88	33,09	30,39	23,13
23 Largura de um ciclo	w	m	8,20	7,88	8,34	9,21	8,38
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	32,81	31,51	41,72	46,05	50,27
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,43	100,43	100,43	100,43	100,43
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,02	3,19	2,47	2,25	2,11
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,19	0,21	0,20	0,23
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,4	3,6	3,9	3,6
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,6	5,7	4,0	3,3	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0731	0,0762	0,0719	0,0652	0,0716
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	232,2	168,0	154,9	142,2	129,9
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	108,6	78,8	57,9	52,8	40,1
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	434,1	306,1	300,7	303,6	256,4
35 Volume total	V _t	m³	778,5	556,4	517,0	502,0	429,9
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1760,0	1281,8	1115,0	1028,3	903,9
37 Armadura	Ar	ton	62,3	44,5	41,4	40,2	34,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.33 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,84 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,84	1168,84	1168,84	1168,84	1168,84
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	5	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de interferência	L _{de}	m	4,46	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4255	0,4255	0,4255	0,4255	0,4255
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,304	0,4257	0,4735	0,5182	0,5814
17 Compr. efetivo da crista	L	m	250,68	179,01	160,94	147,06	131,07
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	30,22	21,64	15,65	14,18	10,54
19 Compr. da parede	L1	m	29,99	21,45	15,59	14,27	10,67
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	29,63	21,10	15,27	13,96	10,37
21 Compr. total das paredes	L3	m	247,56	179,14	165,14	151,75	138,67
22 Compr. de um ciclo	l	m	61,89	44,78	33,03	30,35	23,11
23 Largura de um ciclo	w	m	8,19	7,86	8,33	9,20	8,37
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	32,76	31,46	41,66	46,00	50,23
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,45	100,45	100,45	100,45	100,45
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,03	3,20	2,47	2,25	2,12
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,19	0,21	0,20	0,23
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,3	3,5	3,9	3,6
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,6	5,7	4,0	3,3	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0733	0,0763	0,0720	0,0652	0,0717
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	232,7	168,4	155,2	142,6	130,3
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	108,6	78,8	57,9	52,8	40,2
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	432,5	305,0	299,7	302,9	256,0
35 Volume total	V _t	m³	777,3	555,6	516,4	501,9	430,0
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1762,3	1283,5	1116,9	1030,7	906,4
37 Armadura	A _r	ton	62,2	44,4	41,3	40,2	34,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.34 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,83 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,83	1168,83	1168,83	1168,83	1168,83
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	5	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de Interferência	L _{de}	m	4,46	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4237	0,4237	0,4237	0,4237	0,4237
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3047	0,4268	0,4744	0,5189	0,582
17 Compr. efetivo da crista	L	m	250,10	178,55	160,64	146,86	130,94
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	30,15	21,58	15,62	14,16	10,53
19 Compr. da parede	L1	m	29,92	21,39	15,56	14,25	10,65
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	29,56	21,04	15,24	13,94	10,36
21 Compr. total das paredes	L3	m	247,01	178,69	164,84	151,56	138,52
22 Compr. de um ciclo	l	m	61,75	44,67	32,97	30,31	23,09
23 Largura de um ciclo	w	m	8,17	7,85	8,32	9,19	8,37
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	32,70	31,40	41,59	45,95	50,19
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,46	100,46	100,46	100,46	100,46
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,03	3,20	2,48	2,26	2,12
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,19	0,21	0,20	0,23
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,5	3,3	3,5	3,9	3,5
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,6	5,7	4,0	3,3	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0734	0,0764	0,0721	0,0653	0,0717
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	V _{cp}	m³	233,2	168,7	155,6	143,1	130,8
32 Volume de concreto dos muros laterais	V _{cl}	m³	108,7	78,8	58,0	52,9	40,2
33 Volume de concreto das paredes de vedação	V _{cv}	m³	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
34 Volume de concreto da base	V _{cb}	m³	430,8	303,7	298,8	302,2	255,6
35 Volume total	V _t	m³	776,1	554,6	515,8	501,7	430,1
36 Área de Fôrmas	A _f	m²	1764,6	1284,8	1118,8	1033,1	908,7
37 Armadura	A _r	ton	62,1	44,4	41,3	40,1	34,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

Tabela 6.35 - Planilha com resultados - Alternativa C - EL f = 1168,82 m

1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetro	Símbolo	Unid.	Valor				
Dados do Local do Vertedor Labirinto							
1 Vazão máxima requerida	Q	m³/s	225	225	225	225	225
2 Nível máximo no reservatório	NA máx	m	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20	1172,20
3 Cota do fundo da barragem	EL f	m	1168,82	1168,82	1168,82	1168,82	1168,82
4 Cota da crista do vertedor	EL cr	m	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19	1171,19
5 Borda Livre	Fb	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6 Altura da lâmina d'água	H ₀	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dados Adotados							
7 Perda estimada na entrada	Perda	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8 Número de ciclos	N	---	4	4	5	5	6
9 Altura da parede do vertedor	P	m	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
10 Ângulo da parede lateral	α	graus	6	8	12	15	18
Dados Calculados							
11 Espessura da parede do vertedor	t	m	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
12 Largura interna do vértice (t<A<2t)	A	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
13 Largura externa do vértice	D	m	1,32	1,30	1,25	1,21	1,18
14 Compr. de interferência	L _{de}	m	4,46	4,02	3,27	2,80	2,39
15 Relação H ₀ /P (>0,1 e <0,9)	H ₀ /P	---	0,4219	0,4219	0,4219	0,4219	0,4219
16 Coeficiente de descarga	C _d	---	0,3055	0,4278	0,4753	0,5196	0,5827
17 Compr. efetivo da crista	L	m	249,45	178,14	160,33	146,66	130,78
18 Compr. do Vertedor - Paralelo ao fluxo (<35 m)	B	m	30,07	21,53	15,59	14,15	10,52
19 Compr. da parede	L1	m	29,84	21,34	15,53	14,23	10,64
20 Compr. efetivo da parede	L2	m	29,48	20,99	15,21	13,92	10,35
21 Compr. total das paredes	L3	m	246,38	178,30	164,54	151,37	138,38
22 Compr. de um ciclo	l	m	61,59	44,57	32,91	30,27	23,06
23 Largura de um ciclo	w	m	8,16	7,84	8,31	9,18	8,36
24 Largura total do vertedor (<35 m)	W	m	32,63	31,34	41,53	45,90	50,14
25 Compr. p/ um vertedor linear	WL	m	100,48	100,48	100,48	100,48	100,48
26 Performance do Vertedor	ε	---	3,04	3,21	2,48	2,26	2,12
Dados Condicionantes							
27 Relação L _{de} /B (<0,3)	L _{de} /B	---	0,15	0,19	0,21	0,20	0,23
28 Relação w/P (>3 e <4)	w/P	---	3,4	3,3	3,5	3,9	3,5
29 Relação l/w (>2 e <8)	l/w	---	7,6	5,7	4,0	3,3	2,8
30 Relação A/w (<0,0765)	A/w	---	0,0735	0,0766	0,0722	0,0654	0,0718
Quantitativo de Materiais							
31 Volume de concreto das paredes	Vcp	m³	233,6	169,0	156,0	143,5	131,2
32 Volume de concreto dos muros laterais	Vcl	m³	108,6	78,8	58,0	52,9	40,3
33 Volume de concreto das paredes de vedação	Vcv	m³	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
34 Volume de concreto da base	Vcb	m³	428,9	302,5	297,8	301,6	255,1
35 Volume total	Vt	m³	774,6	553,8	515,3	501,5	430,1
36 Área de Fôrmas	Af	m²	1766,3	1286,5	1120,8	1035,4	911,0
37 Armadura	Ar	ton	62,0	44,3	41,2	40,1	34,4

Os valores em negrito itálico tachados ultrapassam limites estabelecidos.

De acordo com os resultados das tabelas, pode-se observar que o menor valor do volume de concreto total V_t sem exceder os parâmetros limites, é o apresentado pela tabela 6.34, com ângulo α de 8° (coluna 5), com valor de $554,6 \text{ m}^3$ e uma redução no volume de escavação de aproximadamente 562 m^3 .

Apesar da redução no volume de concreto e armadura e um aumento no valor da performance ε para 3,20, o volume de escavação nesta elevação (1168,83 m) em relação a apresentada pela tabela 6.25 - EL f 1169,10 m, é cerca de 34,5% maior. A tabela 6.36 mostra esta comparação.

Aplicando os valores monetários apresentados no capítulo 5, em suas etapas de obra, pode-se observar que optando pelos resultados da tabela 6.25, coluna 5, com o valor de EL f igual a 1169,10 m, o vertedor complementar em labirinto é somente 0,61% mais barato que o de elevação 1168,83 m.

Tabela 6.36 - Comparação entre os custos de execução para o vertedor complementar em labirinto.

Descrição	Custo Unit. (R\$)	Unid.	EL f = 1169,10		EL f = 1168,83	
			Quant.	Custo (R\$)	Quant.	Custo (R\$)
Concreto	205,53	m^3	587,2	120.687,22	554,6	113.986,94
Fôrma	24,48	m^2	1249,8	30.595,10	1284,8	31.451,90
Armadura	3.280,00	ton	47	154.160,00	44,4	145.632,00
				305.442,32		291.070,84
Redução da escavação em rocha	53,90	m^3	858	46.246,20	562	30.291,80
Custo final				259.196,12		260.779,04

Em vista dessa pequena diferença de economia apresentada pelo vertedor na cota 1169,10 e pelo seu menor valor da performance ε , 3,01, será adotada como alternativa C, os valores apresentados pela tabela 6.34, com cota de fundo da barragem EL f igual a 1168,83, ângulo α de 8° (coluna 5). Desta forma, segue abaixo os dados finais que serão utilizados na comparação com as outras alternativas:

Performance - ε :	3,20
Volume de Concreto - V_t :	554,6 m ³
Área de Fôrma - A_f :	1284,8 m ²
Armadura - A_r :	44,4 ton
Redução na escavação:	~562 m ³

Os pilares de aeração serão dispostos a 2,10 m acima do vértice de jusante equivalente a 10% do comprimento da parede do vertedor, conforme recomendações de Hinchliff e Houston (1984). Sua largura pode ser determinada pelo estudo de Howe (1955), por meio das equações 4.18 e 4.19 e do ábaco da figura 4.33.

As ondulações da lâmina d'água ocorrem para relações de H_0/P entre 0,01 e 0,06. Sendo $P=2,36$ m, tem-se H_0 variando de 0,02 m a 0,14 m. Será adotado o valor de 0,14 m.

Transformando os valores em metros para pés, tem-se: $L=69,029$ pés; $P=7,743$ pés; $H_0=0,459$ pés e $g=32,185$ pés/s². Lembrando que cada pé equivale a 0,3048 m.

Aplicando estes valores na equação 4.18 tem-se:

$$q = 135,528 \text{ pés}^3/\text{s}$$

Pelo gráfico da figura 4.33, para uma relação de $H_0/P=0,06$, tem-se $q_a/q=0,015$. Para $q=135,528$ pés³/s tem-se $q_a=2,033$ pés³/s.

Aplicando este valor na equação 4.19 tem-se:

$S = 0,462 \text{ pés}^2$, que para unidades métricas equivale a $0,043 \text{ m}^2$.

Adotando a seção do pilar na forma circular com diâmetro de 0,25 m, para uma área de admissão de ar de $0,043 \text{ m}^2$, seria necessária uma abertura, no sentido do fluxo, maior ou igual a 0,18 m. Este valor é garantido visto que o pilar, ao ser introduzido sobre a crista vertente, divide o fluxo, provocando essa abertura ao longo de toda a altura da parede do vertedor. Estes pilares seriam utilizados também para o apoio de uma passarela sobre o vertedor, ligando as duas margens da estrutura.

A disposição do vertedor complementar em labirinto alternativa C é apresentada pelas figuras 6.3 e 6.4.

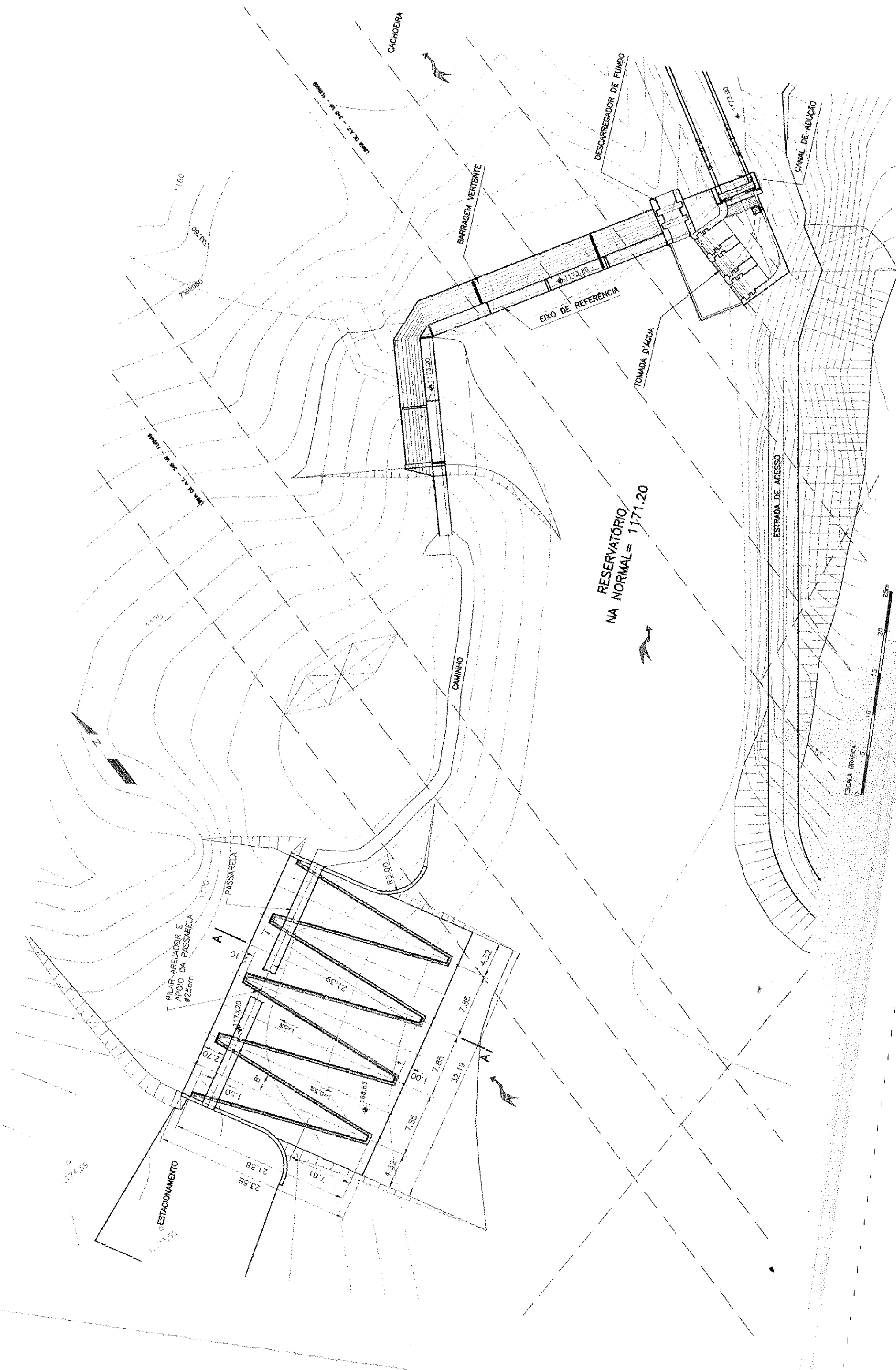


Figura 6.3 - Disposição dos Vertedores de ...

6.3 Comparação das Alternativas

Baseado nos resultados apresentados pelas 3 alternativas, pode ser elaborada a tabela 6.37, com a comparação das suas etapas de obra e seus respectivos custos:

Tabela 6.37 - Comparação das quantidades, custos de execução, energia gerada, receita anual e período de amortização para as 3 alternativas de vertedor da Barragem da UHE Antas I

Estrutura	Descrição	Preço Unitário (R\$)	ALTERNATIVA A			ALTERNATIVA B			ALTERNATIVA C		
			Quant.	Unid.	Preço Total (R\$)	Quant.	Unid.	Preço Total (R\$)	Quant.	Unid.	Preço Total (R\$)
Vertedor Principal	Concreto	205,53	451	m³	92.694,03	945,6	m³	194.349,17	542	m³	111.397,26
	Fôrma	24,48	679	m²	16.621,92	2166,2	m²	53.028,58	694,0	m²	16.989,12
	Armadura	3.280,00	1,852	ton	6.074,56	75,6	ton	247.968,00	1,9	ton	6.232,00
Vertedor Complementar	Concreto	205,53	317	m³	65.153,01	0	m³	-	554,6	m³	113.986,94
	Fôrma	24,48	477	m²	11.676,96	0	m²	-	1284,8	m²	31.451,90
	Armadura	3.280,00	0,728	ton	2.387,84	0	ton	-	44,4	ton	145.632,00
Dique em concreto	Concreto	205,53	0	m³	-	415	m³	85.294,95	0	m³	-
	Fôrma	24,48	0	m²	-	370	m²	9.057,60	0	m²	-
	Armadura	3.280,00	0	ton	-	0,9	ton	2.952,00	0	ton	-
Subtotal			194.608,32			592.650,29			425.689,22		
Redução na Escavação		53,90	0	m³	0	0	m³	-	562	m³	30.291,80
Custo Total			194.608,32			592.650,29			395.397,42		
Diferença em Relação ao Projeto Original			-			398.041,97			200.789,10		
Performance ε			1			4,11			3,2		
NA Normal no Reservatório (m)			1.170,44			1.171,20			1.171,20		
Altura da Lâmina D'água sobre a Soleira (m)			1,76			1,00			1,00		
Queda Líquida Nominal (m)			82			82,76			82,76		
Vazão Nominal (m³/s)			7,376			7,376			7,376		
Potência Disponível (kW)			5.221,4			5.269,8			5.269,8		
Energia Gerada Anualmente (MWh/ano)			33.074,2			33.380,8			33.380,8		
Receita Anual (R\$)			3.303.782,48			3.334.407,04			3.334.407,04		
Diferença em Relação ao Projeto Original (R\$)			-			30.624,56			30.624,56		
Período de Amortização (anos)			-			13,0			6,6		

De acordo com a tabela 6.37, pode-se observar que apesar da alternativa B apresentar um valor de performance maior, a alternativa C é a mais vantajosa, pois além de ter seu custo de execução menor, proporciona redução significativa no volume de escavação e projeta um período relativamente pequeno para a amortização de seu investimento, 6,6 anos, coincidentemente quase metade do tempo da alternativa B, 13 anos.

7 CONCLUSÕES

Com este estudo, fica comprovado que o uso de vertedores tipo labirinto em pequenos aproveitamentos hidrelétricos é vantajoso, tanto do ponto de vista construtivo, quanto econômico.

Para o caso da UHE Antas I, uma pequena central hidrelétrica de média queda, em função do aumento do nível d'água normal no reservatório, o uso de um vertedor labirinto proporcionou um ganho em sua queda, possibilitando uma receita anual 1% maior que pela alternativa original. Usando este tipo de vertedor em PCHs de baixa queda, certamente o ganho proporcional seria ainda maior.

Tendo em vista as suas vantagens, a abertura do mercado de energia através da geração própria e o constante anúncio da necessidade de novos investimentos na geração de energia elétrica, este tipo de vertedor deve ter seu uso mais incentivado pelos projetistas e pelos órgãos reguladores do setor elétrico, tanto para a construção de novas hidrelétricas ou barragens de regularização, quanto para repotenciação de empreendimentos mais antigos.

O vertedor tipo labirinto ainda pode ser vantajoso para obras hidráulicas em áreas urbanas (bacias para contenção de enchentes (piscinões), atualizações do sistema de extravasão de lagos e represas), quase sempre limitadas pela falta de espaço e disponibilidade de níveis d'água mais altos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFSHAR, A., **The Development of Labyrinth Spillway Designs**, Water Power and Dam Construction, 40, 36-39, Maio, 1988.

AZEVEDO NETTO, José M., e ALVAREZ, Guillermo Acosta, **Manual de Hidráulica**, Editora Edgard Blücher Ltda, 7ª Edição, 1991

DARVAS, Louis A., **Discussion - Performance and Design of Labyrinth Weirs**, Journal of Hydraulic Engineering, 97(80), 1246-1251, agosto, 1971.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ELETRICIDADE DE POÇOS DE CALDAS, **Relatório Anual de Geração**, 2002.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ELETRICIDADE DE POÇOS DE CALDAS, **Contrato de Fornecimento de Energia Elétrica**, Março 2003.

ELETROBRÁS, **Diretrizes para Projeto de PCH**, Brasil, 2002.

FALVEY, Henry T., **Hydraulic Design of Labyrinth Weirs**, American Society of Civil Engineers, USA, 2003.

GENOVEZ, Ana Inés B., **Hidráulica Aplicada**, FEC - Unicamp, Campinas, 1999.

HAY, Nassim, e TAYLOR, Geof **Performance and Design of Labyrinth Weirs**, Journal of the Hydraulics Division, novembro, 1970.

HOUSTON, Kathleen L., Hydraulic Model Study of Hyrum Dam Auxiliary Labyrinth Spillway, Report nº GR-82-13, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, Maio, 1983.

HYDROS Engenharia Ltda, Projeto Básico e Executivo da Ampliação da UHE Engº Pedro Affonso Junqueira - UHE Antas I, Vol. 1 e 2, Outubro 2003.

JANSEN, Robert B., Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation, Van Nostrand Reinhold, New York, 1988.

LUX III, Frederick, Design and Application of Labyrinth Weirs, Design of Hydraulics Structures, Albert e Kia Edition, 1989.

MAGALHÃES, A. Pinto de, Descarregadores em Labirinto, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Memória nº 605, Lisboa - Portugal - 1983.

MELO, José Falcão de, RAMOS, Carlos Matias, e MAGALHÃES, A. Pinto de, Descarregadores com Soleira em Labirinto de um Ciclo em Canais Convergentes, 6º Congresso da Água, Portugal - 2002.

MAUAD, Frederico Fábio, SHS-115 - Aproveitamento Hidrelétrico, EESC - USP São Carlos - SP, janeiro de 2001.

PORTO, Rodrigo M., Hidráulica Básica, EESC - USP, São Carlos - SP, Brasil, 2ª Edição, 2001.

REVISTA CONSTRUÇÃO MERCADO - São Paulo: Pini Editora, mensal, Outubro de 2003, ISSN 1519-8898.

SCHREIBER, Gerhard Paul, Usinas Hidrelétricas, Editora Edgard Blucher, ENGEVIX, 1977.

SITOMPUL, Adolf Tommy, e SHARP, J. J., **The Use of Labyrinth Weirs for Water Level Control**, Water International, 20 (1995) 46-52.

TACAIL, François G., EVANS, Barry and BABB, Alan, **Case Study of a Labyrinth Spillway**, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 17, 1-7, 1990.

TCPO 10 - Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos. 1ª Edição - São Paulo: Pini Editora, 1996.

TULLIS, J. P., AMANIAN, N. and WALDRON, David, **Design of Labyrinth Spillways**, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 121 nº 3, Março 1995.

UNITED STATE BUREAU OF RECLAMATION, **Design of Small Dams**, Water Resources Technical Publication, 1987.