

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

FRI

Código

C1

N.º

005

gia

**LICTROBRAS**  
Centrais Elétricas Brasileiras SA

**DINAEE**

# MANUAL DE MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS

M M E

ELETROBRÁS

D.N.A.E.E.

**MANUAL DE  
MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

Edição especial autorizada pela ELETROBRÁS  
para distribuição aos associados da  
ABRH—Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos

MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS

SUMÁRIO ANALÍTICO

		<u>Página</u>
1.	<u>INTRODUÇÃO</u> -----	1
2.	<u>TIPOS DE MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS</u> -----	4
2.1	TIPOS DE CENTRAIS QUANTO À CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO -----	4
2.1.1	<u>Central Hidrelétrica a Fio d'Água</u> -----	4
2.1.2	<u>Central Hidrelétrica de Acumulação com Regularização Diária do Reservatório</u> ---	5
2.2	TIPOS DE CENTRAIS QUANTO AO SISTEMA DE ADUÇÃO	6
2.3	EXEMPLOS DE MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS EXISTENTES -----	7
3.	<u>FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES PARA OS ESTUDOS E PROJETOS</u> -----	15
4.	<u>METODOLOGIA</u> -----	18
4.1	ESTUDOS -----	20
4.1.1	<u>Pesquisa de Locais para Implantação de Minicentraís Hidrelétricas</u> -----	20
4.1.1.1	Trabalhos Iniciais -----	20
4.1.1.2	Coleta de Dados -----	20
4.1.1.3	Análise dos Dados Coletados -----	20
4.1.1.4	Identificação dos Locais Aproveitáveis	21
4.1.1.5	Reconhecimento -----	21
4.1.2	<u>Estudos Topográficos</u> -----	23
4.1.2.1	Levantamentos Topográficos Expeditos--	23
4.1.2.1.1	Determinação da Queda Natural no Lo- cal do Aproveitamento -----	23

	<u>Página</u>
4.1.2.1.2	Determinação dos Perfis de Seções Transversais e Longitudinais ----- 25
4.1.2.1.3	Determinação de Áreas de Interesse 25
4.1.2.2	Levantamentos Topográficos com Ins - trumentos ----- 25
4.1.3	<u>Estudos Geológicos e Geotécnicos</u> ----- 29
4.1.3.1	Prospecções Geológicas Expeditas ---- 29
4.1.3.2	Investigações Geológicas com Instru - mentos ----- 30
4.1.3.3	Materiais Naturais de Construção ---- 30
4.1.3.4	Caracterização Expedita de Materiais Construtivos e de Fundações ----- 32
4.1.3.4.1	Identificação, Classificação e Des- crição dos Materiais Construtivos-- 32
4.1.3.4.2	Propriedades dos Materiais Constru- tivos-Definições e Identificação Tãc til-visual ----- 33
4.1.3.4.3	Fundações ----- 36
4.1.3.5	Investigações a Trado ----- 38
4.1.3.5.1	Utilização ----- 38
4.1.3.5.2	Equipamentos e Materiais ----- 38
4.1.3.5.3	Identificação dos Furos ----- 39
4.1.3.5.4	Execução e Amostragem ----- 39
4.1.3.6	Poços de Inspeção ----- 41
4.1.3.6.1	Utilização ----- 41
4.1.3.6.2	Equipamentos e Materiais ----- 41
4.1.3.6.3	Identificação dos Poços ----- 41
4.1.3.6.4	Execução e Amostragem ----- 41
4.1.3.7	Trincheiras ----- 42
4.1.3.7.1	Utilização ----- 42
4.1.3.7.2	Equipamentos e Materiais ----- 42

	<u>Página</u>
4.1.3.7.3	Identificação das Trincheiras ----- 42
4.1.3.7.4	Execução e Amostragem ----- 42
4.1.3.8	Investigações e Estudos Complementares- 42
4.1.4	<u>Estudos Hidrológicos</u> ----- 45
4.1.4.1	Generalidades ----- 45
4.1.4.2	Coleta e Análise de Dados ----- 45
4.1.4.3	Fisiografia da Bacia e Regime Fluviométrico ----- 46
4.1.4.4	Estimativa de Série de Vazões a Partir de Dados de Outros Postos ----- 46
4.1.4.5	Avaliação Expedita de Curva-Chave ----- 47
4.1.4.6	Vazão de Projeto da (s) Turbina (s) --- 50
4.1.4.7	Vazões de Projeto da Estrutura Extravassora e de Desvio ----- 51
4.1.4.8	Hidrometria ----- 60
4.1.4.8.1	Implantação de um Posto Fluviométrico 60
4.1.4.8.2	Medições de Descarga Líquida ----- 62
4.1.4.9	Recomendações ----- 64
4.1.5	<u>Tipo e Disposição das Estruturas</u> ----- 67
4.1.6	<u>Estudos Sócio-Econômicos e Ecológicos</u> --- 68
4.1.6.1	Estudos Sócio-Econômicos ----- 68
4.1.6.1.1	Introdução ----- 68
4.1.6.1.2	Levantamento Sócio-Econômico das Populações Afetadas ----- 68
4.1.6.2	Avaliação do Impacto Ambiental ----- 71

	<u>Página</u>
4.1.6.2.1	Introdução ----- 71
4.1.6.2.2	Estudo do Impacto Ambiental ----- 71
4.1.6.2.3	Possibilidade de Uso Múltiplo do Reservatório ----- 72
4.1.7	<u>Estudos de Mercado</u> ----- 73
4.1.7.1	Objetivo e Variáveis Básicas ----- 73
4.1.7.2	Importância, Riscos e Horizontes --- 75
4.1.7.3	Composição do Mercado ----- 76
4.1.7.4	Metodologia de Projeção ----- 77
4.1.7.4.1	Caracterização do Mercado ----- 78
4.1.8	<u>Estudos Hidrenergéticos</u> ----- 89
4.1.8.1	Determinação Expedita da Queda de Projeto ----- 89
4.1.8.2	Determinação da Descarga de Projeto - 90
4.1.8.2.1	Suprimento de Energia a um Sistema Isolado ----- 90
4.1.8.3	Determinação Expedita da Potência do Aproveitamento ----- 93
4.1.9	<u>Estimativa Preliminar de Custos</u> ----- 94
4.2	PROJETO E ASPECTOS CONSTRUTIVOS ----- 100
4.2.1	<u>Obras Cíveis</u> ----- 100
4.2.1.1	Barragem ----- 100
4.2.1.1.1	Barragem de Terra ----- 100
4.2.1.1.2	Barragem de Enrocamento ----- 109
4.2.1.1.3	Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada ----- 119
4.2.1.1.4	Barragem de Concreto ----- 127
4.2.1.1.5	Barragem Ambursen ----- 139

		Página
4.2.1.2	Vertedouro -----	153
4.2.1.2.1	Escolha do Tipo de Vertedouro -----	153
4.2.1.2.2	Descarga de Projeto -----	154
4.2.1.2.3	Dimensionamento do Vertedouro -----	154
4.2.1.2.4	Considerações Sobre os Métodos Construtivos -----	164
4.2.1.3	Tomada d'Água -----	169
4.2.1.3.1	Geral -----	169
4.2.1.3.2	Geometria -----	169
4.2.1.3.3	Dispositivos de Proteção -----	170
4.2.1.3.4	Localização da Tomada d'Água -----	172
4.2.1.3.5	Aspectos Construtivos -----	172
4.2.1.4	Canal de Adução -----	182
4.2.1.4.1	Canal sem Revestimento (natural) -----	183
4.2.1.4.2	Canal com Revestimento -----	184
4.2.1.4.3	Extravasador de Excessos no Canal -----	185
4.2.1.4.4	Aspectos Construtivos -----	185
4.2.1.5	Tubulação de Adução em Baixa Pressão ----	196
4.2.1.5.1	Cálculo do Diâmetro -----	196
4.2.1.5.2	Determinação da Espessura de Parede de uma Tubulação sob Pressão -----	198
4.2.1.5.3	Blocos de Apoio ou Selas -----	201
4.2.1.6	Câmara de Carga -----	206
4.2.1.7	Chaminé de Equilíbrio -----	210
4.2.1.7.1	Verificação da Necessidade da Instalação da Chaminé de Equilíbrio -----	210
4.2.1.7.2	Dimensionamento de uma Chaminé de Equilíbrio Tipo Simples e de Seção Constante -----	211

	<u>Página</u>
4.2.1.7.3	Exemplo ----- 220
4.2.1.7.4	Projeto Típico ----- 223
4.2.1.8	Tubulação Forçada ----- 227
4.2.1.8.1	Determinação do Diâmetro Econômico ---- 227
4.2.1.8.2	Variação de Pressão no Interior de uma Tubulação Forçada - Golpe de Ariete --- 232
4.2.1.8.3	Determinação da Espessura de Parede da Tubulação Forçada ----- 238
4.2.1.8.4	Blocos de Apoio e de Ancoragem ----- 241
4.2.1.9	Casa de Máquinas e Canal de Fuga ----- 273
4.2.1.9.1	Casa de Máquinas ----- 273
4.2.1.9.2	Canal de Fuga ----- 283
4.2.1.10	Desvio do Rio ----- 285
4.2.1.10.1	Objetivo ----- 285
4.2.1.10.2	Descarga de Desvio ----- 285
4.2.1.10.3	Projetos Típicos de Desvio ----- 285
4.2.1.10.4	Tubulação de Desvio - Dimensionamento - 292
4.2.1.10.5	Seção Típica das Ensecadeiras ----- 293
4.2.2	<u>Determinação Final da Queda Líquida e da Potência Instalada</u> ----- 295
4.2.2.1	Determinação da Queda Líquida de Proje- to ----- 295
4.2.2.1.1	Cálculo da Perda de Carga Inicial --- 295
4.2.2.1.2	Cálculo da Perda de Carga nas Grades da Tomada d'Água ----- 295
4.2.2.1.3	Cálculo da Perda de Carga em Canais - 299
4.2.2.1.4	Cálculo da Perda de Carga em Tubula- ção sob Pressão ----- 309
4.2.2.2	Determinação da Potência Instalada ---- 323
4.2.2.3	Exemplo - Determinação da Potência Ins- talada ----- 324



	<u>Página</u>
4.2.3	<u>Equipamentos Mecânicos</u> ----- 331
	----- 331
4.2.3.1	Comportas ----- 325
4.2.3.2	Grades ----- 339
4.2.3.3	Válvulas Borboleta ----- 340
4.2.3.4	Turbinas Hidráulicas ----- 343
4.2.3.4.1	Turbinas Pelton ----- 347
4.2.3.4.2	Turbinas Francis ----- 358
4.2.3.4.3	Turbinas Hélice ----- 360
4.2.3.4.4	Turbinas Banki ----- 331
4.2.3.4.5	Sistema de Regulação ----- 362
4.2.3.4.6	Volantes de Inércia ----- 365
4.2.3.4.7	Garantias de Fornecimento ----- 368
4.2.3.5	Talha ----- 369
4.2.4	<u>Equipamentos e Instalações Elétricas</u> ---- 369
4.2.4.1	Geradores Síncronos e Sistemas de Exci- tação ----- 369
4.2.4.1.1	Determinação da Potência do Gerador - 369
4.2.4.1.2	Determinação do Número de Pólos para a Frequência de 60 Hz ----- 369
4.2.4.1.3	Determinação da Tensão de Geração --- 369
4.2.4.1.4	Sistema de Excitação ----- 370
4.2.4.1.5	Aterramento do Neutro do Gerador ---- 370
4.2.4.1.6	Fator de Potência ----- 370
4.2.4.1.7	Sobrevelocidade ----- 370
4.2.4.1.8	Serviços Auxiliares ----- 370
4.2.4.2	Quadros de Comando ----- 371
4.2.4.3	Dispositivos de Proteção ----- 374
4.2.4.4	Subestação -----

	<u>Página</u>
4.2.4.5	Ligação do Gerador à Subestação ----- 375
4.2.4.6	Alimentação de Energia Elétrica ----- 382
4.2.5	<u>Desenhos do Arranjo Geral e de Detalhes</u> 402
4.3	MANUTENÇÃO ----- 403
4.4	CUSTOS - METODOLOGIA, COMPOSIÇÃO E CÁLCULO 408
	A) Metodologia ----- 408
	B) Composição de Preços Unitários e Cálculos 409
4.4.1	<u>Composição de Preços de Obras Civas</u> 414
4.4.1.1	Barragem de Terra ----- 414
4.4.1.2	Barragem de Enrocamento ----- 416
4.4.1.3	Barragem de Alvenaria de Pedra Argamas sada ----- 417
4.4.1.4	Barragem de Concreto ----- 423
4.4.1.5	Barragem de Madeira ----- 426
4.4.1.6	Barragem Ambursen ----- 431
4.4.1.7	Vertedouro ----- 432
4.4.1.8	Tomada d'Água ----- 433
4.4.1.9	Canal de Adução ----- 434
4.4.1.10	Tubulação de Adução de Baixa Pressão - 436
4.4.1.11	Câmara de Carga ----- 439
4.4.1.12	Chaminé de Equilíbrio ----- 439
4.4.1.13	Tubulação Forçada ----- 440
4.4.1.14	Casa de Máquina ----- 440
4.4.1.15	Canal de Fuga ----- 447
4.4.1.16	Desvio do Rio ----- 448
4.4.1.17	Canteiro e Acampamento ----- 449
4.4.1.18	Estrada de Acesso ----- 450

4.4.2	<u>Procedimentos para Cálculo de Custos de Equipamentos Mecânicos</u>	
4.4.2.1	Comporta -----	452
4.4.2.2	Grade -----	454
4.4.2.3	Válvula Borboleta -----	454
4.4.2.4	Ponte Rolante e Talha -----	455
4.4.2.5	Turbina -----	457
	- Modelo A - carta para solicitação de custos de Equipamentos Eletromecânicos	459
	- Modelo B - carta para solicitação de custos de Ponte Rolante -----	460
4.4.3	<u>Procedimentos para Cálculo de Custos de Equipamentos e Instalações Elétricas</u>	
4.4.3.1	Geradores Síncronos e Sistemas de Excitação -----	462
4.4.3.2	Quadro de Comando -----	463
4.4.3.3	Dispositivo de Proteção -----	463
4.4.3.4	Subestação -----	464
4.4.3.5	Ligação do Gerador à Subestação -----	464
4.4.3.6	Linha de Alimentação -----	464
4.4.3.7	Sistema de Comunicação -----	466
4.4.4	<u>Administração do Proprietário</u> -----	470
4.4.5	<u>Engenharia de Projeto</u> -----	470
4.4.6	<u>Eventuais</u> -----	470
4.4.7	<u>Juros Durante a Construção</u> -----	471
4.4.8	<u>Estimativa de Custo</u> -----	472
	A) Orçamento Final da Minicentral Hidrelétrica	472
	B) Estimativa de Custos em Estudos Preliminares	472
4.4.8-A	<u>Planilha Padrão para Estimativa de Custos</u>	475
4.4.8-B	<u>Tabela de Preços Unitários (Rio de Janeiro)</u>	484

	<u>Página</u>
4.5	<u>AVALIAÇÃO SÓCIO-ECONÔMICA DO EMPREENDIMENTO</u> ----- 502
4.5.1	<u>Introdução</u> ----- 502
4.5.2	<u>Reavaliação da Potência Instalada Final</u> ----- 504
4.5.3	<u>Avaliação Econômica</u> ----- 505
4.5.3.1	Ordenação dos Custos de Implantação, Operação e Manutenção do Sistema ----- 505
4.5.3.2	Cálculo dos Investimentos ----- 505
4.5.3.2.1	Investimento para Implantação ----- 505
4.5.3.2.2	Custos de Operação e Manutenção ----- 506
4.5.3.2.3	Cronograma dos Investimentos ----- 506
4.5.3.3	Cálculo de Custos Índices Básicos ----- 506
4.5.3.3.1	Custo da Potência Instalada ----- 506
4.5.3.3.2	Custo da Energia Gerada ----- 508
4.5.4	<u>Avaliação Financeira</u> ----- 509
4.5.5	<u>Avaliação Social</u> ----- 509
4.5.5.1	Metodologia ----- 510
4.5.5.1.1	Quanto ao Investimento ----- 510
4.5.5.1.2	Quanto à Operação e Manutenção ----- 511
4.5.5.1.3	Quanto ao Combustível ----- 511
4.5.5.1.4	Quanto à Receita ----- 511
5.	<u>FINANCIAMENTO</u> ----- 518
6.	<u>LEGISLAÇÃO</u> ----- 521
7.	<u>PARTICIPANTES DOS ESTUDOS</u> ----- 524

INTRODUÇÃO

A elaboração de um manual de estudos, projeto e construção, específico para as minicentrals, abrangendo a faixa de potência acima de 100 kW até 1.000 kW, integra as metas e ações a curto prazo do Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas, disponível na ELETROBRÁS, e tem como objetivos a ampla divulgação de tecnologia de baixo custo para este tipo de central, colocando-a à disposição de todos os interessados e, oportunamente, a exemplo do que aconteceu com o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, servir de base para a análise e aprovação por parte do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, dos projetos a ele apresentados de acordo com a legislação vigente.

Com base nessas diretrizes, a ELETROBRÁS em convênio com o DNAEE e em conjunto com diversas entidades públicas e privadas, de vários setores da economia, desenvolveu este Manual, cujo usuário prevê-se que seja engenheiro ou técnico que terá facilidade de entendimento e aplicação, tornando desnecessária a mobilização de grandes empresas de consultoria, grandes empreiteiras e grandes fabricantes.

Chama-se a atenção para os seguintes aspectos considerados importantes ao bom entendimento e uso deste Manual:

- . não se deve querer adaptar a ele a tecnologia usual das grandes centrais hidrelétricas. Minicentrals não são centrais grandes em escala reduzida.
- . para simplificar, evitaram-se as justificativas dos critérios, fórmulas, etc, adotados.
- . todas as fórmulas necessárias são fornecidas e suas grandezas e coeficientes devidamente explicados. Algumas fórmulas foram tabeladas e/ou postas em gráficos, o mesmo acontecendo com alguns coeficientes.
- . sempre que existentes, foram adotadas as normas da ABNT, inclusive no que respeita à terminologia.
- . o sistema de unidades adotadas neste Manual não é integralmente o sistema legal adotado no país, tendo em vista que este sistema ainda não foi totalmente absorvido pela comunidade.

Alerta-se também para o fato de que este Manual, dentre outras ressaltadas no texto, tem as seguintes limitações:

- . prevê barragens e vertedouros com alturas máximas de até a proximadamente 5,0 m (notar que não se refere a QUEDA DE PROJETO);
- . admite sistemas adutores somente com canais e/ou tubulações, não se aplicando a túneis;

- . não se aplica a barramentos em vales em que o desvio do rio necessitaria ser feito por túneis;
- . prevê obras civis projetadas sem sofisticações, com dimensões mínimas compatíveis e materiais econômicos;
- . considera instalação de equipamentos eletromecânicos simples, mas funcionais;
- . admite que a distância do local do aproveitamento ao centro consumidor não é grande, para não aumentar o custo do sistema de transmissão;
- . as estruturas preconizadas para o circuito de geração permitem descargas até  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- . o dimensionamento apresentado, em tabelas, para os blocos de ancoragem, apresenta as limitações constantes no item relativo a essas estruturas;
- . as dimensões da casa de máquinas e os diagramas elétricos foram previstos para a instalação de apenas uma unidade geradora, o que pode ser considerado como um módulo a ser repetido caso se deseje mais de uma unidade geradora na mesma central;
- . não foi prevista a interligação com outros sistemas, caso em que o interessado deverá procurar a concessionária local.

Pretende-se que o presente Manual, dentro das limitações já conhecidas, seja auto-suficiente para os estudos, projetos e construções das minicentrals hidrelétricas, não sendo necessário ao usuário recorrer a outras fontes de informação.

Com a finalidade de facilitar os cálculos para o dimensionamento das estruturas cujas dimensões não foram tabeladas, como no caso dos cálculos hidráulicos, algumas fórmulas clássicas foram simplificadas, sem com isto incorrer em erros significativos nos resultados encontrados para a potência, mesmo porque as faixas de potência das unidades geradoras fabricadas atualmente no Brasil pelos pequenos fabricantes não exigem uma precisão rigorosa no dimensionamento encontrado nos cálculos teóricos.

Quanto aos equipamentos eletromecânicos, como turbinas, geradores, transformadores e outros de fabricação mais especializada, o usuário terá forçosamente contatos mais estreitos com os pequenos fabricantes, a fim de concretizar as previsões dos tipos e dimensionamentos dados por este Manual para esses equipamentos e para as estruturas de obras civis que envolvam esses equipamentos.

É importante também ressaltar que este Manual, a exemplo do que ocorre com o Manual de PCH, é dinâmico, devendo ser submetido a atualizações periódicas, tendo sido adotado o sistema de encadernação tipo classificador e a numeração das páginas por item, no sentido de facilitar essas atualizações.

Considera-se valiosa toda e qualquer colaboração para o enriquecimento deste Manual, solicitando-se que seja enviada à CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. - ELETROBRÁS, à Av. Presidente Vargas, 642 - 10º andar - CEP 20.079 - Rio de Janeiro - R.J, onde também os interessados poderão obter maiores informações.

## 2. TIPOS DE MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS

O objetivo deste Manual é estudar e projetar minicentraís hidrelétricas, cujas características hidrenergéticas sejam as mais adequadas para o país e constituídas de obras civis e equipamentos eletromecânicos considerados como os mais simples e econômicos dentre os demais, visando custos mínimos. Não fazem parte do escopo deste Manual as centrais hidrelétricas de acumulação com regularização semanal ou períodos maiores.

### 2.1 TIPOS DE CENTRAIS QUANTO À CAPACIDADE DE REGULARI- ZAÇÃO DO RESERVATÓRIO

Dentro da filosofia apresentada acima, dois tipos apenas são considerados:

- Central Hidrelétrica a Fio D'Água
- Central Hidrelétrica de Acumulação, com Regularização Diária de Reservatório

#### 2.1.1 Central Hidrelétrica a Fio D'Água

Esse tipo de central é empregado quando a vazão mínima do rio é igual ou maior que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima do mercado consumidor.

Neste caso, a captação da água poderá ser feita através de uma pequena barragem, desprezando-se o volume do reservatório criado e projetando-se todo o sistema de adução para conduzir a descarga necessária à potência que atenda à demanda máxima. O aproveitamento energético do local será parcial e haverá descargas pelo vertedouro na quase totalidade do tempo.

Esse tipo de aproveitamento apresenta, dentre outras, as seguintes simplificações:

Nos estudos:

- dispensa estudos de regularização de descargas;
- dispensa estudos sazonais de carga elétrica do consumidor; e
- facilita os estudos e a concepção da tomada d'água.

Nos serviços topográficos:

- dispensa o levantamento detalhado da área do reservatório, limitando-o à determinação do contorno da área inundada, pois não há necessidade de determinação da curva áreas x volume do reservatório.



No Projeto:

- não havendo significativas flutuações no nível d'água do reservatório, não é necessário que a tomada d'água seja projetada para atender a depleções desse nível d'água;
- do mesmo modo, quando a adução primária é projetada através de um canal aberto, a profundidade desse canal é a menor possível, pois não há necessidade de atender às depleções citadas;
- pelo mesmo motivo, no caso de haver necessidade da instalação de uma chaminé de equilíbrio, a sua altura é mínima, pois o valor da depleção do N.A. do reservatório que entra no somatório para o cálculo dessa altura é desprezível;
- as barragens são baixas, pois apenas têm a função de desviar as águas para adução às turbinas;
- as áreas inundadas são pequenas, há poucas perdas em terras afogadas próprias e as indenizações das terras inundadas de terceiros são pequenas.

Nos equipamentos eletromecânicos;

- não havendo depleção do N. A. do reservatório, a queda é constante e não há necessidade da instalação de turbinas com rotores de pás móveis, tipo Kaplan, o que torna a unidade turbogeradora mais econômica.

2.1.2 Central Hidrelétrica de Acumulação, com Regularização Diária do Reservatório

Esse tipo de central é empregado quando a vazão mínima do rio não é suficiente para atender à descarga necessária à potência para suprir a demanda máxima do mercado consumidor e recorre-se à contribuição de reservatório que, através do seu volume d'água utilizável diariamente, acresce à descarga mínima do rio uma descarga regularizada correspondente.

Como as alturas de barragem para as minicentrals hidrelétricas não foram consideradas grandes no presente Manual, os volumes dos reservatórios criados são reduzidos, salvo nas regiões muito planas, como a Região Amazônica; daí a regularização ser admitida como "diária".

Quando, mesmo com a regularização diária do reservatório, não for obtido um valor suficiente para a descarga desejada, pode-se ainda assim projetar a adução para uma descarga maior que a mínima e suficiente para, juntamente com a descarga de contribuição de regularização diária do reservatório, atender, na maior parte do tempo, à descarga necessária ao mercado. Nesse ca-

so, haverá períodos de águas baixas nos quais a descarga de adu-  
ção será insuficiente para alimentar a unidade geradora em sua  
potência máxima.

A solução será a complementação de energia através de outras  
fontes produtoras, como unidade diesel de reserva, concessioná-  
rias de energia, etc. e, na falta dessas fontes, aceitar que  
nesses períodos de águas baixas o suprimento de energia elétri-  
ca seja deficiente.

O estudo da regularização diária do reservatório e a metodolo-  
gia para escolha da descarga de projeto estão apresentados no  
item 4.1.8 - Estudos Hidrenergéticos.

## 2.2 TIPOS DE CENTRAIS QUANTO AO SISTEMA DE ADUÇÃO

Para os casos em que se pretenda aproveitar quedas naturais, sal-  
vo para as quedas muito baixas, a casa de máquinas fica quase  
sempre afastada da tomada d'água, que geralmente está junto à  
barragem, localizada a montante. Para esses casos há necessida-  
de da implantação de um sistema longo de adução para a turbina.

Neste Manual não foi levada em conta a adução através de túneis,  
por ser geralmente muito onerosa para a instalação de minicen-  
trais, preconizando-se apenas os três tipos de adução apresenta-  
dos a seguir:

- adução em escoamento livre por canal e adução em alta pres-  
são através de tubulação forçada;
- adução em baixa pressão por meio de tubulação e adução em al-  
ta pressão através de tubulação forçada;
- adução em baixa pressão por canal ou por tubulação, sem tubu-  
lação forçada, no caso de instalações de turbinas do tipo  
"caixa aberta".

A escolha final de um dos tipos descritos acima dependerá de um  
estudo econômico comparativo entre os mesmos bem como das condi-  
ções topográficas e geológicas que apresente o local do aprovei-  
tamento.

Para sistema de adução longo, quando a inclinação de encosta e o  
material do terreno forem favoráveis à construção de um canal, o  
primeiro tipo deverá ser o mais econômico, por diminuir o compri-  
mento em tubulação entre a tomada d'água e a casa de máquinas e,  
em consequência, aumentar a possibilidade de não ser necessária  
a instalação de uma chaminé de equilíbrio.

para sistema de adução curto, a opção por uma tubulação única  
para os trechos de baixa e alta pressão deve ser estudada. Pro-  
vavelmente não haverá necessidade da instalação da chaminé de  
equilíbrio e, no caso de haver flutuações do N.A. do reservató

rio, a tomada d'água será mais simples e econômica do que na a dução por canal.

2.3                   EXEMPLOS DE MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS EXISTENTES

Dentre a grande quantidade de minicentraís hidrelétricas existentes no país, apresentam-se a seguir, a título de ilustração, duas para as quais foram obtidas informações completas durante a elaboração deste Manual.

- Usina Hidrelétrica Antas I
- Usina Hidrelétrica Nossa Senhora de Lourdes

USINA HIDRELÉTRICA ANTAS I

FICHA TÉCNICA

LOCAL: Cascata das Antas - Poços de Caldas - MG

PRÓPRIETÁRIO: Departamento Municipal de Eletricidade

RIO: Ribeirão das Antas

INÍCIO DE OPERAÇÃO: 1911

ÁREA DE DRENAGEM: 380 km<sup>2</sup>

DADOS ENERGÉTICOS:

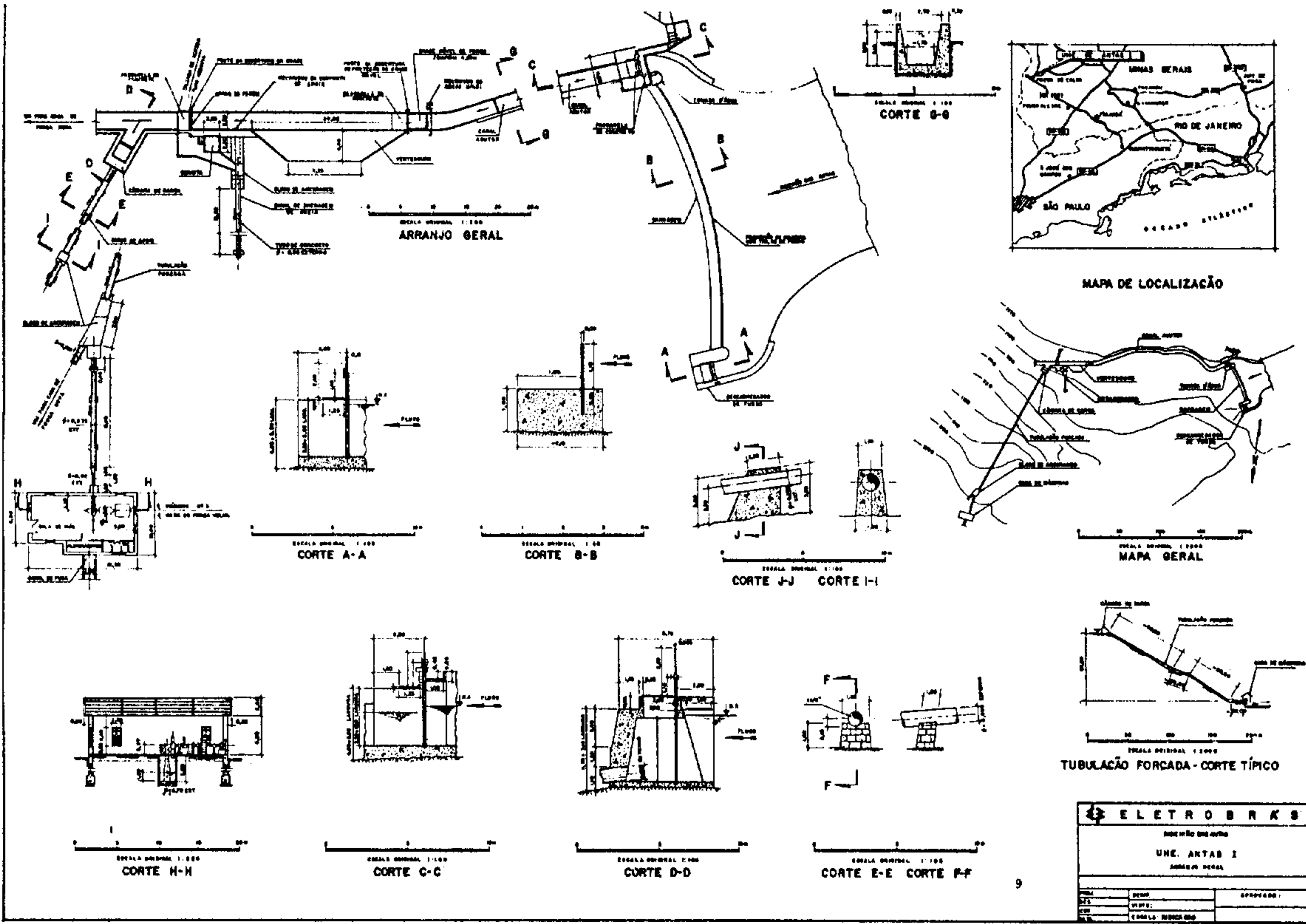
- Queda Bruta 82,8 m
- Vazão de Projeto 1,0 m<sup>3</sup>/s
- Potência Instalada 384 kW

TURBINA:

- Tipo Francis - Eixo Horizontal
- Fabricante J.M. Voith
- Potência Unitária 650 cv
- Número de Unidades 1
- Rotação 600 rpm

GERADOR:

- Fabricante General Electric
- Potência 400 kVA
- Número de Unidades 1
- Tensão/Corrente de Geração 2200V/100,5A
- Fator de Potência 1,0
- Rotação Síncrona 600 rpm
- Frequência 60 Hz
- Número de Fases 3

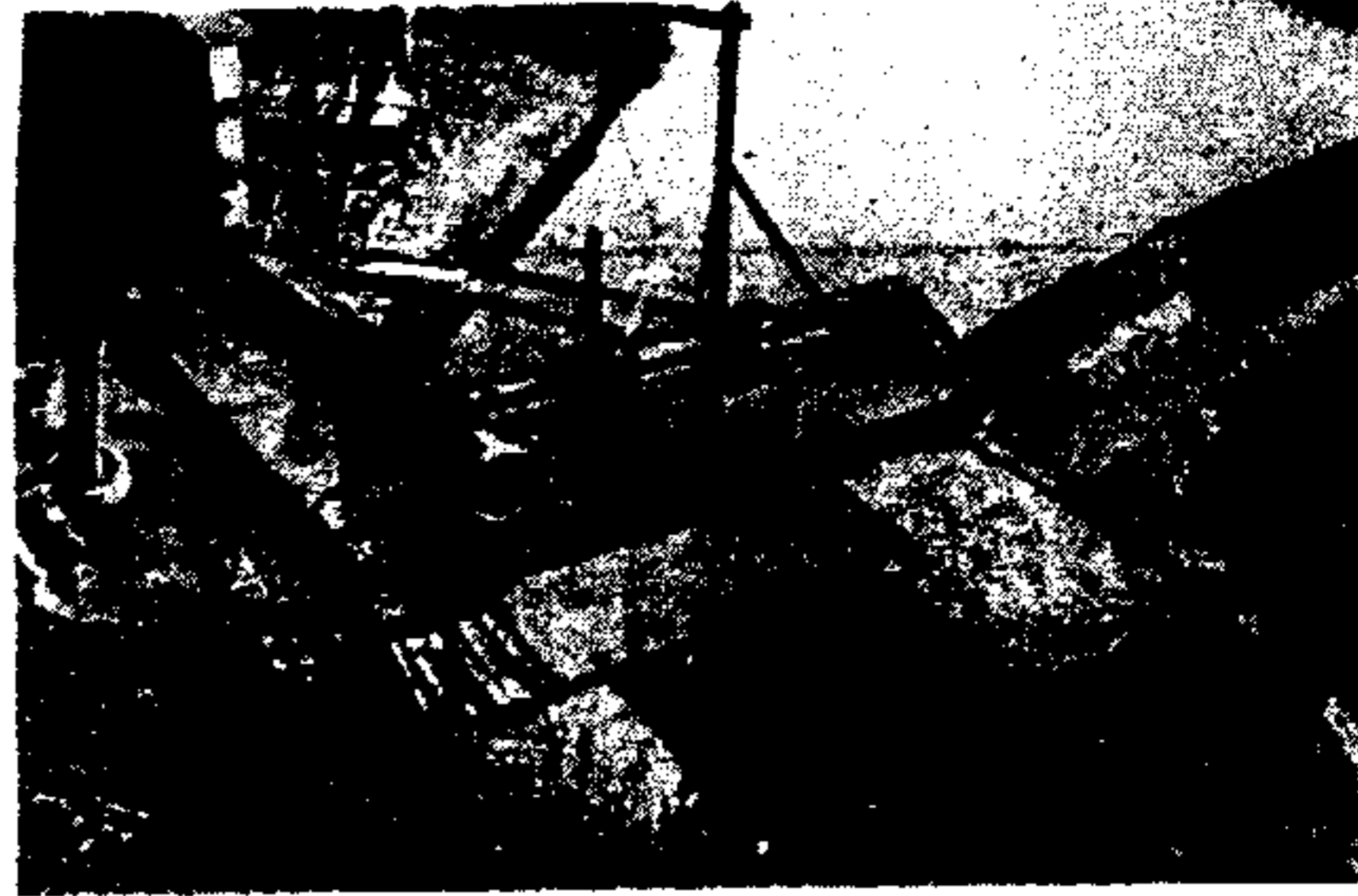


<b>ELETRONBRAS</b>		
SUA EMPRESA DE ENGENHARIA		
<b>UNE. ANTAS I</b>		
ARRANJO GERAL		
PROJ.	DESENH.	APROVADO:
DATA:	PLANO:	
ESCALA:	ESCALA:	
TUBULAÇÃO FORCADA		

USINA HIDRELÉTRICA ANTAS I



a) LOCAL DO BARRAMENTO



b) TOMADA D'ÁGUA - Vista da Margem Direita



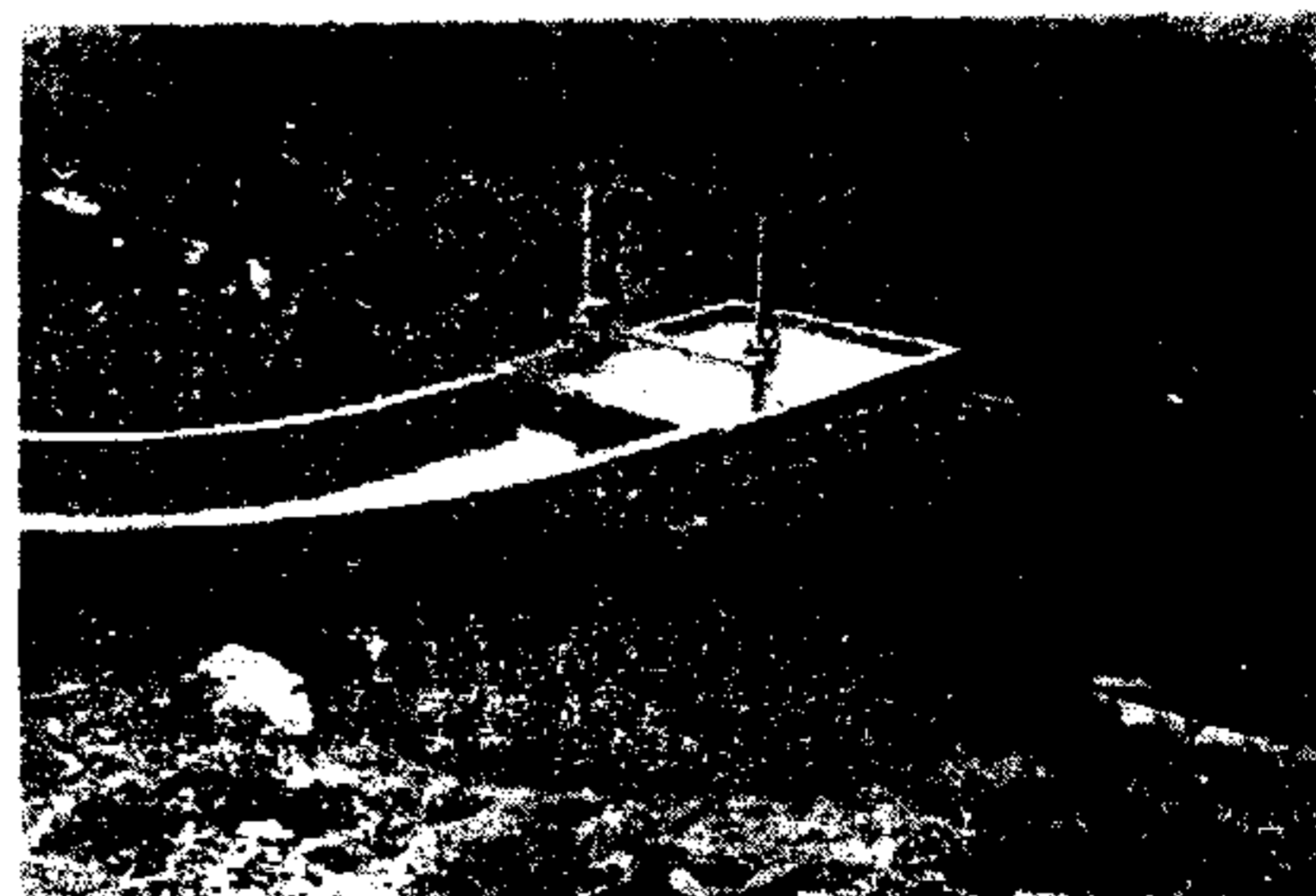
c) VERTEDOIRO do Canal Adutor



d) VERTEDOIRO - Visto da Margem Direita



e) CANAL ADUTOR-Visto de Montante



f) CÂMARA DE CARGA

USINA HIDRELÉTRICA ANTAS I



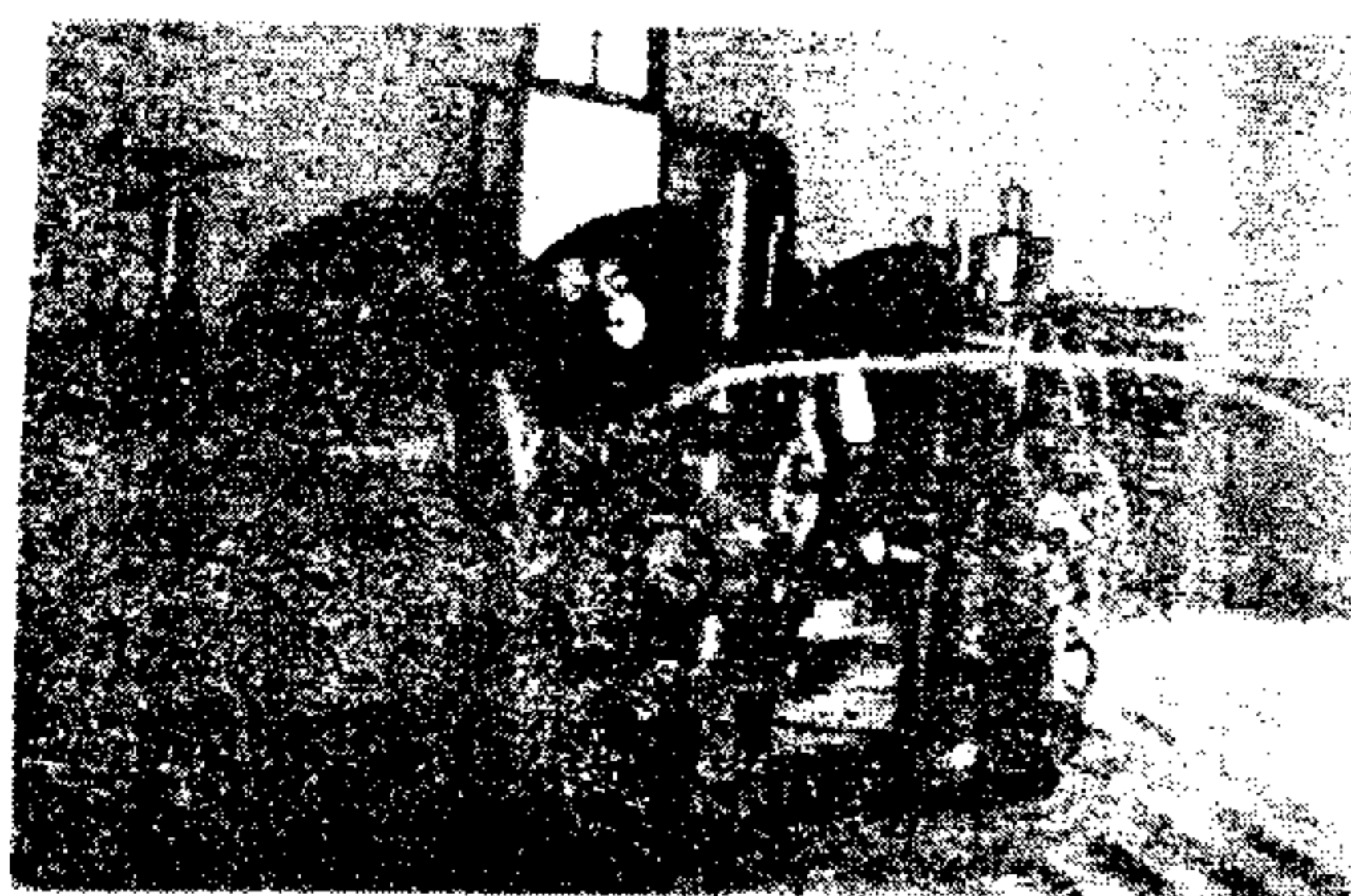
g) CÂMARA DE CARGA



h) TUBULAÇÃO FORÇADA-Vista de Montante



i) TUBULAÇÕES FORÇADAS - ANTAS I  
e ANTAS II



k) UNIDADE GERADORA



j) CASA DE FORÇA

USINA HIDRELÉTRICA N.S. DE LOURDES

FICHA TÉCNICA

LOCAL: Cachoeira do Funil - Município de Carvalhos - MG

PROPRIETÁRIO: Manoel da Rocha Soares Filho

RIO: Ribeirão dos Franceses

INÍCIO DE OPERAÇÃO: 1962

ÁREA DE DRENAGEM: 150 km<sup>2</sup>

DADOS ENERGÉTICOS:

- Queda Bruta 28,10 m
- Vazão de Projeto 1,5 m<sup>3</sup>/s
- Potência Instalada 208 kW

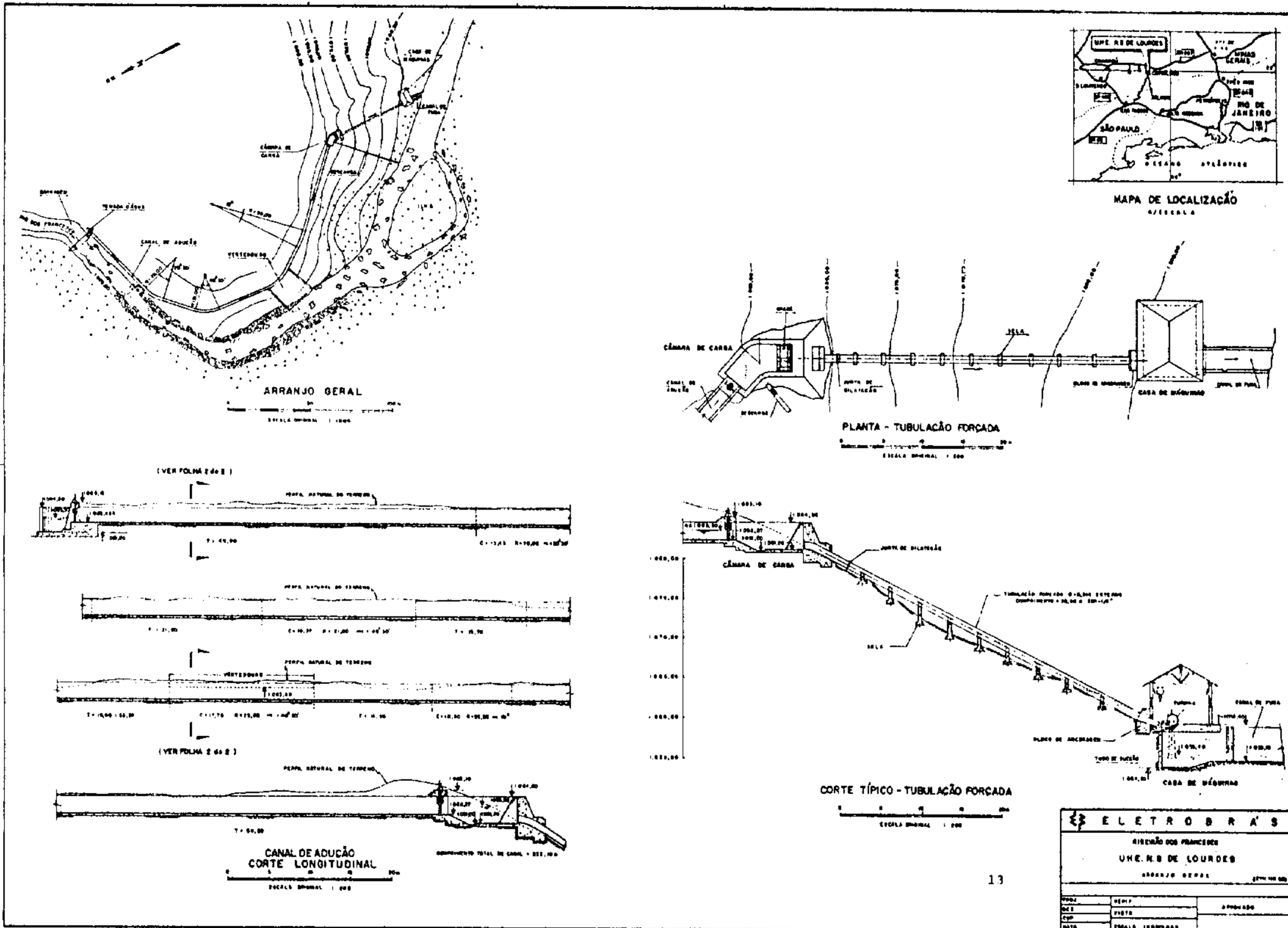
TURBINA:

- Tipo - Francis - Eixo Horizontal
- Fabricante - DREES & CO.
- Potência Unitária 300 cv
- Número de Unidades 1
- Rotação 1000 rpm

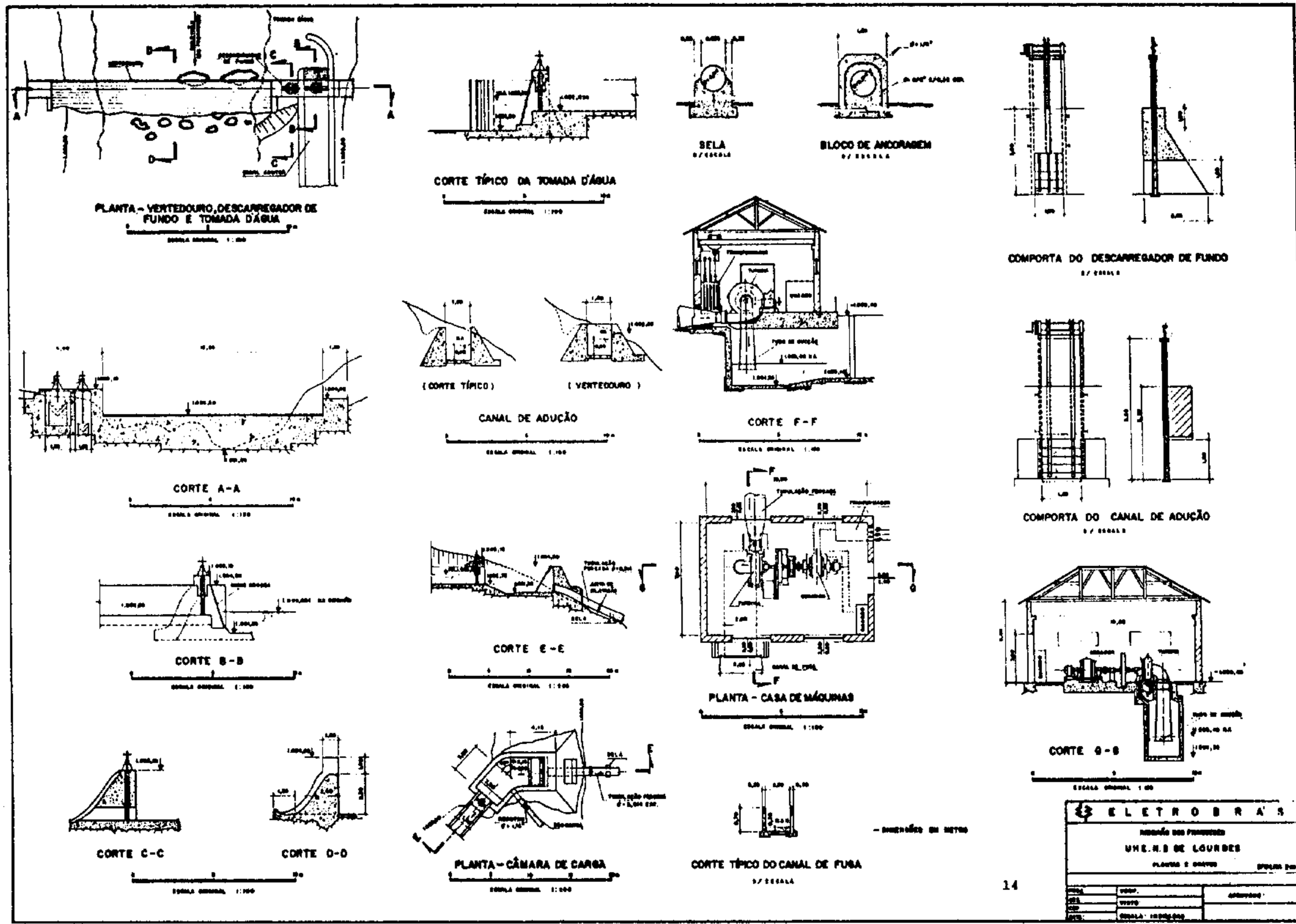
GERADOR:

- Fabricante - ELEKTOMOTORENWERKE DORNHOFF & CO.
- Potência 260 kVA
- Nº de Unidades 1
- Tensão/Corrente de Geração 2200V/68A
- Fator de Potência 0,8
- Rotação Síncrona 1000 rpm
- Frequência 50 Hz
- Número de Fases 3





<b>ELETOBRAS</b>		
SISTEMA DOS FRANCIESES		
UHE.NS DE LOURDES		
ARRANJO GERAL		
PROJ.	HEMÍ	APROVADO
DEL.	ESTR.	
EXP.		
DATA	ESCALA	LEGENDA



ELETROBRAS			
INDUSTRIAS ELÉTRICAS DO BRASIL			
UHE N.3 DE LOURDES			
PLANTAS E OBRAS			
PROJ.	VERIF.	APROVADO	
DES.	PROJ.		
REV.	ESCALA	1:100 (1/7)	

3.

### FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES PARA OS ESTUDOS E PROJETOS

O fluxograma de atividades para os estudos e projetos das mini-centrais hidrelétricas está apresentado no ANEXO 3/A.

Em primeiro lugar, deve-se familiarizar com os tipos simples e econômicos de minicentrais, recomendados no item 2 e, em seguida, pesquisar locais apropriados para a implantação dessas centrais, conforme instruções contidas no item 4.1.1, próximos ao centro de consumo da energia elétrica.

Em seguida, encontrado (s) o (s) local (ais) prôpício (s) ao (s) aproveitamento (s), os seguintes estudos devem ser executados:

- Estudos Topográficos
- Estudos Geológicos e Geotécnicos
- Estudos Hidrológicos
- Estudos Sócio-econômicos e Ecológicos

Os três primeiros, respectivamente apresentados nos itens 4.1.2, 4.1.3 e 4.1.4, fornecerão os dados básicos para a escolha do "Tipo e Disposição das Estruturas" (item 4.1.5), como a queda natural do aproveitamento, perfis de terreno, condições e profundidade das fundações, vazões mínima, de projeto e de cheia para o dimensionamento do vertedouro e de desvio do rio durante a construção, permitindo a elaboração preliminar do arranjo geral do aproveitamento. Os últimos, apresentados no item 4.1.6, fornecerão as informações para os "Estudos de Mercado" item 4.1.7.

Na elaboração dos "Estudos Hidrenergéticos" - item 4.1.8, o projetista tem que conhecer parâmetros básicos, como as vazões naturais do curso d'água, queda bruta do aproveitamento, e a potência necessária para suprir o centro consumidor. Resta nesse item determinar a queda líquida aproximada, através do cálculo expedido das perdas de carga na adução e a descarga do projeto, através dos estudos de regularização e, com esses dois parâmetros, a potência aproximada do aproveitamento, que será comparada com a potência necessária para suprir o centro consumidor.

Em seguida, antes de prosseguir com novos estudos, deve-se fazer uma "Estimativa Preliminar de Custo", conforme instruções do item 4.1.9, a fim de verificar se é ou não interessante fazer o investimento que as obras exigirão.

Com os conhecimentos adquiridos nos citados estudos, todas as obras civis poderão ser dimensionadas em caráter definitivo, com exceção da casa de máquinas, que dependerá do conhecimento exato da potência a ser instalada e, conseqüentemente, das dimensões da unidade geradora, somente conhecidas após as atividades do item 4.2.3. Chama-se a atenção que durante as atividades do item 4.1.8, já se pode obter o conhecimento, junto ao fabricante, do tempo de fechamento da turbina, o que permite a determina

ção do golpe de aríete para o dimensionamento da tubulação forçada e da chaminé de equilíbrio (quando houver) e das dimensões aproximadas da unidade geradora, para o dimensionamento preliminar da casa de máquinas.

Com o conhecimento das dimensões das obras civis de adução, isto é:

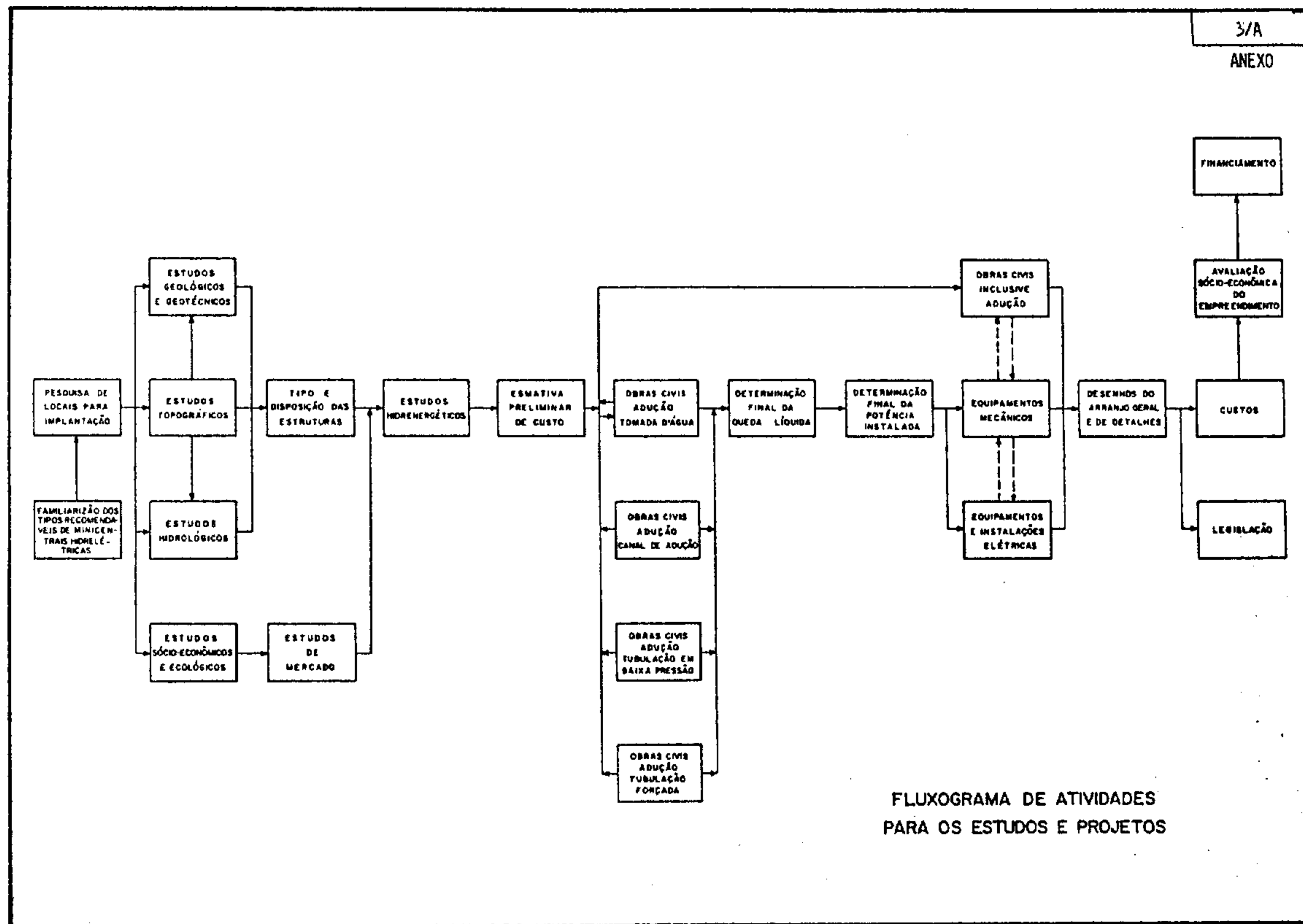
- Tomada d'Água (da Barragem ou da Câmara de Carga)
- Canal de Adução
- Tubulação de Adução em Baixa Pressão
- Tubulação Forçada

obtidas através das instruções dadas, respectivamente, nos itens 4.2.1.3, 4.2.1.4, 4.2.1.5 e 4.2.1.8, pode-se determinar, com maior precisão, as perdas de carga através dos métodos clássicos, bem como a queda líquida e a potência final, conforme apresentado no item 4.2.2.

As atividades para os projetos das Obras Civis (item 4.2.1.), Equipamentos Mecânicos (item 4.2.3) e Equipamentos e Instalações Elétricas (item 4.2.4) desenvolvem-se paralelamente e com interdependências entre elas e dão os parâmetros básicos para a elaboração dos desenhos do "Arranjo Geral e Detalhes" relacionados no item 4.2.5.

Finalmente, com os conhecimentos já adquiridos nas atividades anteriores, restam a elaboração de "Custos" - item 4.4 e a "Avaliação Sócio-Econômica do Empreendimento" - item 4.5, indispensáveis ao "Financiamento" - item 5.

Conforme a legislação vigente, um pedido de "autorização" ou de "concessão" deverá ser feito ao DNAEE, nos moldes das instruções contidas no item 6 - "Legislação" do Manual.



#### 4. METODOLOGIA

O objetivo deste Manual é divulgar a tecnologia de elaboração fácil e econômica dos estudos e projetos das minicentrals hidrelétricas, colocando-a à disposição de engenheiros e técnicos que, mesmo não sendo especializados em hidreletricidade, apenas recorram eventualmente a outros profissionais para a complementação de seus trabalhos nos assuntos mais especializados. Em geral, considera-se suficiente que o projetista consulte os peques nos fabricantes de turbinas para minicentrals, os quais estão acostumados a fornecer esse apoio, o que sempre será necessário para definir com precisão as características dos equipamentos e portanto das obras civis que os envolvem, dirimindo também outras dúvidas que porventura venham a ocorrer.

Uma parte deste Manual pode ser aplicada pelos proprietários de locais aproveitáveis que, mesmo não sendo técnicos poderão avaliar os seus potenciais através dos métodos simples e expeditos apresentados e, com isso, despertar o entusiasmo inicial para as providências necessárias aos estudos, projeto e construção de sua minicentral.

As especificações adotadas foram selecionadas para a cobrirem o maior número possível de minicentrals hidrelétricas que, pelas suas características hidrenergéticas e construtivas, sejam passíveis de instalação em locais propícios, mais comumente encontrados no país e ainda sem aproveitamento.

Para atender ao primeiro passo dos requisitos hidrenergéticos, isto é, avaliar o potencial existente no local selecionado, são apresentados métodos expeditos de topografia e hidrometria, para a determinação da queda bruta e das vazões do curso d'água, perfis e áreas de terreno.

Na parte de hidrologia foram estabelecidos critérios de estudos para identificação fisiográfica e regime fluviométrico da Bacia.

Através da coleta e análise dos dados disponíveis, deverão ser estimadas vazões (firme, de desvio do rio durante a construção e da cheia de projeto das estruturas extravasoras) para condições sem/com dados do local ou sem dados da região. Finalmente, são dadas recomendações para medição de descarga líquida em pequenos rios.

Apesar de se tratar de centrais hidrelétricas de pequeno porte, o dimensionamento de certas estruturas, como o da tubulação forçada, deve ser feito com todo o cuidado, quer por razões de segurança, quer visando o máximo de economia no emprego do material ou equipamento. O roteiro de cálculo, por ter sido apresentado numa forma muito simples, não onera o custo do projeto.

Assim, além de métodos expeditos, também são apresentados métodos clássicos para esses dimensionamentos, principalmente para os cálculos hidráulicos, os quais teve-se o cuidado de apresentar com o máximo possível de resultados tabelados e com exem-

plos de aplicação.

Para as estruturas civis, como barragens, vertedouros, tomadas d'água, casas de máquinas e outras, preparou-se tipos padrões econômicos e pré-dimensionados com base em parâmetros, como descarga de adução, altura de barragem e outros, ilustrados em desenhos e com as dimensões apresentadas em tabelas. Para essas estruturas foram feitas simplificações de cálculo, somente admissíveis dentro das limitações adotadas para os valores dos parâmetros básicos, conforme está especificado em cada um dos itens apresentados. Para valores dos parâmetros básicos superiores aos limites apresentados, as estruturas já se tornam de tal porte que exigem, para os seus dimensionamentos, métodos mais sofisticados, recaindo na metodologia clássica do dimensionamento das grandes estruturas e o projetista terá que recorrer a outras fontes de informação, caso em que, provavelmente, não estará diante de uma mini central hidrelétrica definida neste Manual.

Para os equipamentos eletromecânicos, adotou-se tipos de fabricação padronizada e fáceis de aquisição no mercado nacional. Os seus dimensionamentos foram apresentados numa metodologia simples e, quase sempre, suas dimensões estão apresentadas em forma de tabelas, recomendando-se sempre que o projetista entre em contato com os fabricantes para a devida confirmação.

A metodologia para elaboração de estimativa de custos recomenda o máximo aproveitamento de recursos locais de mão-de-obra, materiais e disponibilidade de equipamentos de construção, para tornar a obra a mais econômica possível. Para facilitar o trabalho são apresentadas a Planilha Padrão com itemização de todos os tipos de serviços e obras e, a título de subsídio e com uma alternativa para estimativa de caráter preliminar, a tabela de preços unitários.

Alerta-se para o fato de que não se aplicam às minicentrals hidrelétricas as metodologias constantes dos Manuais existentes no Setor Elétrico brasileiro, aos quais somente são válidas para grandes centrais; em especial, não podem ser utilizadas curvas de custos baseados em estatísticas dessas grandes centrais.

#### 4.1 ESTUDOS

##### 4.1.1 Pesquisa de Locais para Implantação de Minicentra- is Hidrelétricas.

Os estudos para a pesquisa de locais propícios ao aproveitamento hidrelétrico visam a localização e a coleta de dados básicos, feitos no campo, e são constituídos das seguintes principais atividades.

###### 4.1.1.1 Trabalhos Iniciais

Deverá ser feito o trabalho de planejamento e organização de rotina para a realização dos estudos.

###### 4.1.1.2 Coleta de Dados

No caso em que o local do aproveitamento não tenha sido ainda de terminado, um estudo de pesquisa na área de interesse deve ser elaborado e, para isso, recomenda-se um levantamento em órgãos ou empresas, como DNAEE, DNPM, Portobrás, DNER, Ministério da Agricultura, órgãos dos governos estaduais, prefeituras, Serviço Geográfico do Exército e outros, do máximo de dados existentes sobre a bacia a ser estudada, tais como:

- mapas diversos: cartográficos, divisão territorial, rodoviários, ferroviários e outros;
- perfis dos rios, já disponíveis;
- sistema energético existente na região;
- dados hidrométricos observados e estudos hidrológicos já realizados, além do histórico e fichas descritivas de estações fluviométricas e climatológicas;
- dados topográficos;
- dados geológico - geotécnicos.

###### 4.1.1.3 Análise dos Dados Coletados

Os dados coletados, conforme o item 4.1.1.2, devem ser analisados, avaliados e consolidados, visando principalmente:

- traçado do perfil dos rios a serem estudados;
- localização de possíveis quedas naturais, indicadas pelos perfis dos rios levantados;
- identificação das principais limitações existentes para a formação de reservatórios, mesmo de pequenas dimensões, tais como:
  - . terras e benfeitorias urbanas e rurais;



- . estradas e pontes;
  - . linhas de transmissão, subtransmissão, telegráficas e telefônicas;
  - . áreas sob reserva federal.
- confecção de mapas dos rios com indicação de curvas de nível preliminares;
  - análise de consistência dos dados hidrometeorológicos;
  - análise de consistência dos dados geológicos.

#### 4.1.1.4 Identificação dos Locais Aproveitáveis

Com base nos elementos obtidos (item 4.1.1.3) serão identificados os prováveis locais barráveis e locais com queda natural dos rios, com as suas marcações nos mapas.

#### 4.1.1.5 Reconhecimento

O reconhecimento pode ser feito por via aérea, terrestre e, em certas regiões, por via fluvial.

Quando houver recursos financeiros e facilidades do emprego do avião ou helicóptero, o reconhecimento aéreo é recomendável para determinação preliminar dos pontos que deverão ser visitados "in loco".

Na impossibilidade de um reconhecimento por via aérea, o trabalho poderá ser realizado por vias terrestres ou fluviais, admissíveis nas regiões mais acessíveis à penetração humana.

Esse trabalho visa:

- identificar as condições geomorfológicas da bacia ao longo do rio principal e dos afluentes;
- permitir a confirmação ou não dos locais barráveis e das quedas naturais escolhidos;
- estimar os perfis dos rios, alturas máximas de barragem e de queda dos locais;
- relacionar novas limitações;
- avaliar os aspectos topográficos com métodos expeditos (ver item 4.1.2.1);
- avaliar as vazões empregando métodos expeditos (ver item 4.1.4);
- avaliar as condições geológicas e geotécnicas, com métodos expeditos (ver item 4.1.3.1 e 4.1.3.4);

- inspecionar os postos fluviométricos e os pluviométricos.

Nesta fase de estudos para a pesquisa de locais próprios ao aproveitamento hidrelétrico, é extremamente importante observar o aspecto do melhor aproveitamento possível do potencial energético do curso d'água. Assim sendo, não devem ser escolhidos para a implantação de uma minicentral hidrelétrica locais:

- já inventariados anteriormente e para os quais existam planos de aproveitamento através de centrais de maior porte, ou
- onde a criação de um reservatório venha a interferir na implantação de outros prováveis aproveitamentos a montante.

Sob esse aspecto, consultas prévias ao DNAEE e/ou ELETROBRÁS, devem ser efetivadas, de modo a ajustar-se os estudos aqui previstos com o planejamento energético nacional.

#### 4.1.2.

#### Estudos Topográficos

Para o projeto de uma minicentral hidrelétrica vários serviços de topografia serão necessários:

- . Determinação da queda natural no local do aproveitamento
- . Perfis de seções transversais diversas
- . Perfis de seções longitudinais diversas
- . Áreas para implantação de obras civis diversas
- . Áreas de empréstimo para obtenção de materiais de construção.

Esses serviços poderão ser executados através de "Levantamentos Topográficos Expeditos" ou através de "Levantamentos Topográficos com Instrumentos", conforme descritos a seguir:

##### 4.1.2.1. Levantamentos Topográficos Expeditos

##### 4.1.2.1.1. Determinação da Queda Natural no Local do Aproveitamento

Dois modos muito simples para efetuar a medição da queda natural são os apresentados no ANEXO 4.1.2./A.

Para o primeiro modo, são suficientes para esse serviço um nível de carpinteiro e duas réguas bem aplainadas, sendo uma de 2 a 4 m e a outra de cerca de 2 m de comprimento. Para facilitar a medição, a régua menor deverá ser dotada de escala métrica. Coloca-se a ponta inferior da régua menor no nível da água (Ponto A) de modo que ela fique em posição vertical. Coloca-se depois a régua maior no terreno e controla-se, pelo nível de carpinteiro sobre a mesma, sua posição horizontal. Mede-se a seguir, a altura  $h_1$ , e marca-se o ponto onde descansa a ponta da régua maior no terreno (Ponto B).

Repete-se essa operação entre os pontos B e C, etc. e assim sucessivamente, determinando-se as diferenças de níveis  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ , etc, conforme mostram as FIGURAS (a) e (b) do ANEXO 4.1.2./A.

Para o segundo modo serão necessárias duas réguas de cerca de 2m de comprimento e um tubo plástico flexível e transparente, com 1 cm de diâmetro interno e 6m de comprimento.

Para facilitar a medição, as réguas deverão ser dotadas de escalas métricas.

Colocam-se as duas réguas, em posição vertical, sobre dois pontos quais quer E e F, entre os quais deseja-se medir o desnivelamento ( $h_5$ ). Com o auxílio do tubo plástico flexível e transparente, cheio de água corada, determina-se em cada régua pontos de igual nível, criando um plano horizontal de referência. A diferença entre as alturas desse plano sobre os dois pontos E e F, em medição, dará a diferença de nível  $h_5$  entre esses pontos, conforme mostra a FIGURA(c) do ANEXO 4.1.2./A.

Um terceiro método, não tão simples quanto os dois descritos acima, por que exige alguns cálculos trigonométricos, mas que permite uma execução rápida nos trabalhos de medição de campo, pode ser empregado para a determinação da distância e diferença de nível entre dois pontos do terreno, como por exemplo, entre E e F das FIGURAS (b) e (c) do ANEXO 4.1.2./A.

Para esse método emprega-se um clinômetro, dispositivo fácil de ser fabricado. Basicamente consta de duas pequenas régua de madeira bem aparelhadas, com bordos e faces paralelas, presas numa das extremidades, nas linhas de centro das régua, por um parafuso com porca do tipo "borboleta", conforme mostra FIGURA (a) do ANEXO 4.1.2.B. No bordo superior de uma delas prende-se um nível de carpinteiro. As duas régua devem poder girar em torno do parafuso, do mesmo modo que as lâminas de uma tesoura.

Para a medição de campo, crava-se estacas robustas nos pontos E e F do terreno de modo que as duas alturas  $h_E$  e  $h_F$ , em relação ao terreno, permitam colocar uma corda de "nylon" fortemente esticada entre os topos das estacas e livre de obstruções (capim, pedras, etc) entre as mesmas.

A medição da inclinação, que a corda de "nylon" faz com o plano horizontal, é feita afrouxando-se a porca "borboleta" e colocando-se o bordo inferior da régua, que não tem o nível de pedreiro sobre a corda de "nylon" e deslocando-se a outra até ficar em posição horizontal, o que pode ser verificado com o nível de pedreiro sobre ela instalado. Nesta posição, aperta-se a porca "borboleta" prendendo as duas régua entre si, colocando-as sobre um papel, riscando o ângulo com um lápis e medindo-o com um transferidor de desenhista.

Por mais que esteja esticada, a corda de "nylon", ou mesmo de outro material que permita um forte esticamento, sempre sofre um pequeno deslocamento para baixo quando se coloca o clinômetro sobre ela. Por isso, para maior precisão do resultado, aconselha-se fazer uma medição sobre cada um dos trechos extremos da mesma, aproveitando-se os topos das estacas como apoio de uma das extremidades da régua que apoia sobre a corda, o que facilita o posicionamento correto do clinômetro. Nesse caso, o valor do ângulo de inclinação será a média dos valores  $\theta_1$  e  $\theta_2$  medidos nas extremidades da corda. A FIGURA (b) do ANEXO 4.1.2.B ilustra as posições corretas do clinômetro sobre a corda nos pontos de medição. Devido à flexão da corda (catenaria) causada pelo seu peso próprio, o valor do ângulo  $\theta_1$  medido próximo à estaca de topo mais alto será ligeiramente maior que o ângulo  $\theta_2$  medido junto à estaca de topo mais baixo. O ANEXO 4.1.2 /B apresenta as fórmulas que, em função dos elementos medidos, permitem obter a diferença de nível  $h_5$  e a distância  $L_5$  entre os dois pontos do terreno (E e F).

Quando se consegue cravar estacas de modo que as suas alturas sejam aproximadamente iguais, isto é, quando  $h_E \approx h_F$ , pode-se adotar o ângulo medido  $\theta$  como a inclinação média do terreno entre os pontos E e F. Como consequência,  $h_5 \approx h_x$  e  $L_5 \approx L_x$ , o que reduz os cálculos apresentados no ANEXO 4.1.2.B.

Como aperfeiçoamento do clinômetro, pode-se instalar um mostrador com ângulos marcados entre as duas régua. Neste caso, as linhas de referência para a medição devem ser as linhas de centro (C) das régua, convergentes no ponto de ligação onde está o parafuso. Os valores dos ângulos serão obtidos através de leituras diretas.

#### 4.1.2.1.2 Determinação dos Perfis de Seções Transversais e Longitudinais

Para a determinação de perfis topográficos deve-se marcar o alinhamento desejado e escolher convenientemente os pontos do terreno que caracterizem as mudanças de inclinação do mesmo, A, B, C, D, etc., conforme ilustra a FIGURA (a) do ANEXO 4.1.2/A.

O nivelamento entre esses pontos poderá ser feito com os métodos descritos acima, mas para a locação dos mesmos deverão ser acrescentadas as medições das distâncias horizontais  $l_1, l_2, l_3$ , etc, entre eles. Nesse caso aconselha-se que também a régua horizontal seja dotada de escala métrica para facilitar as medições das distâncias.

#### 4.1.2.1.3 Determinação de Áreas de Interesse

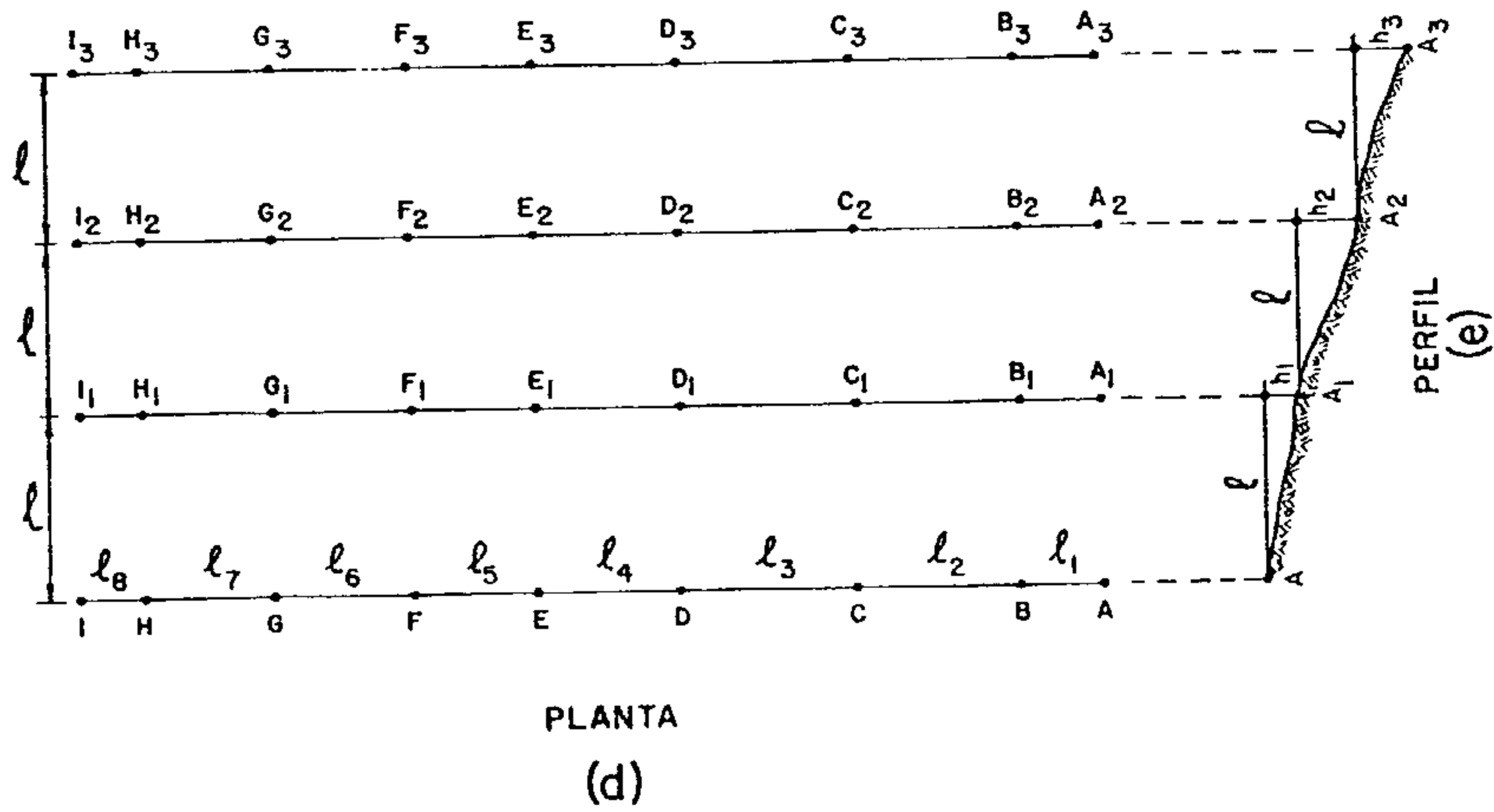
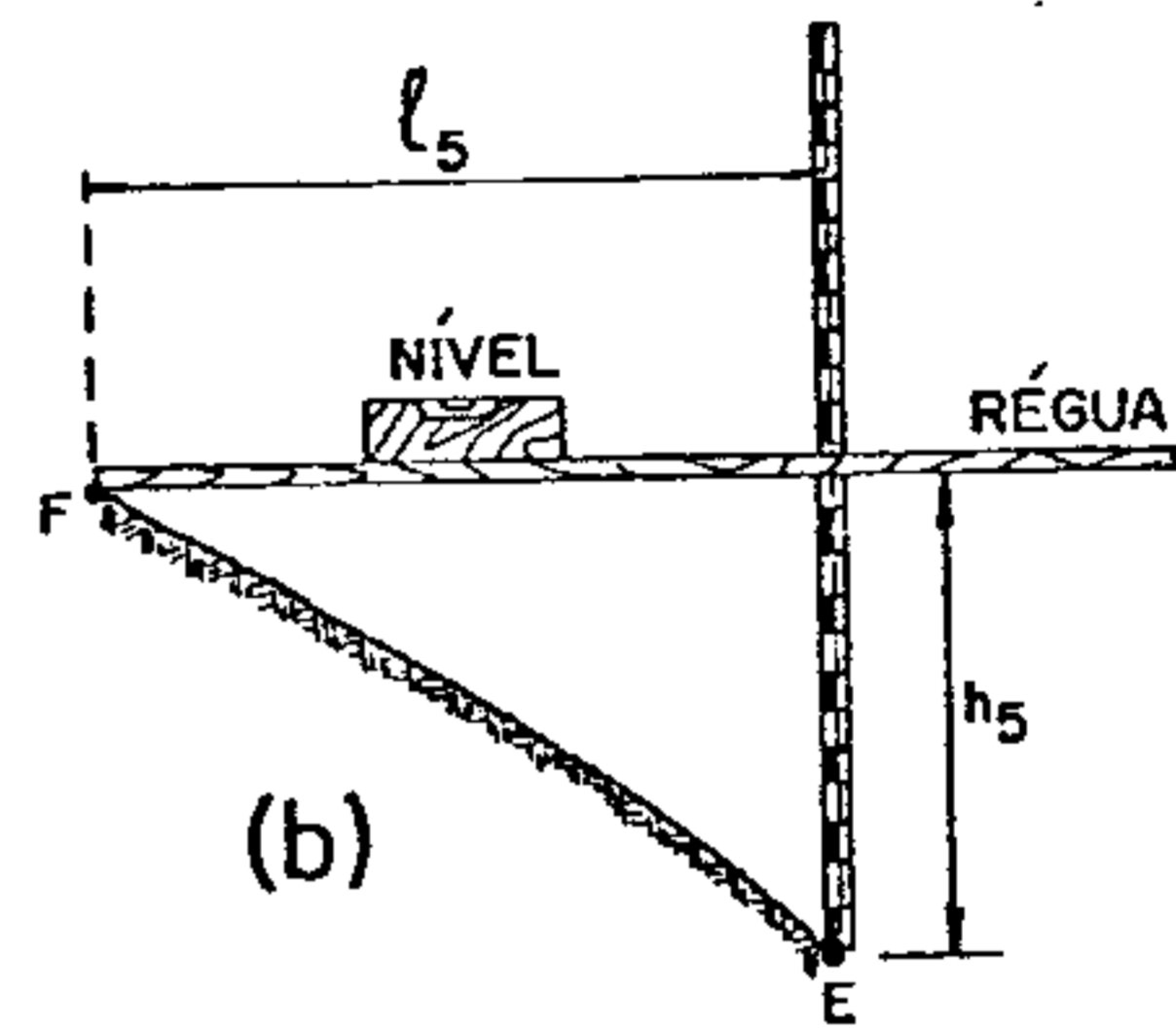
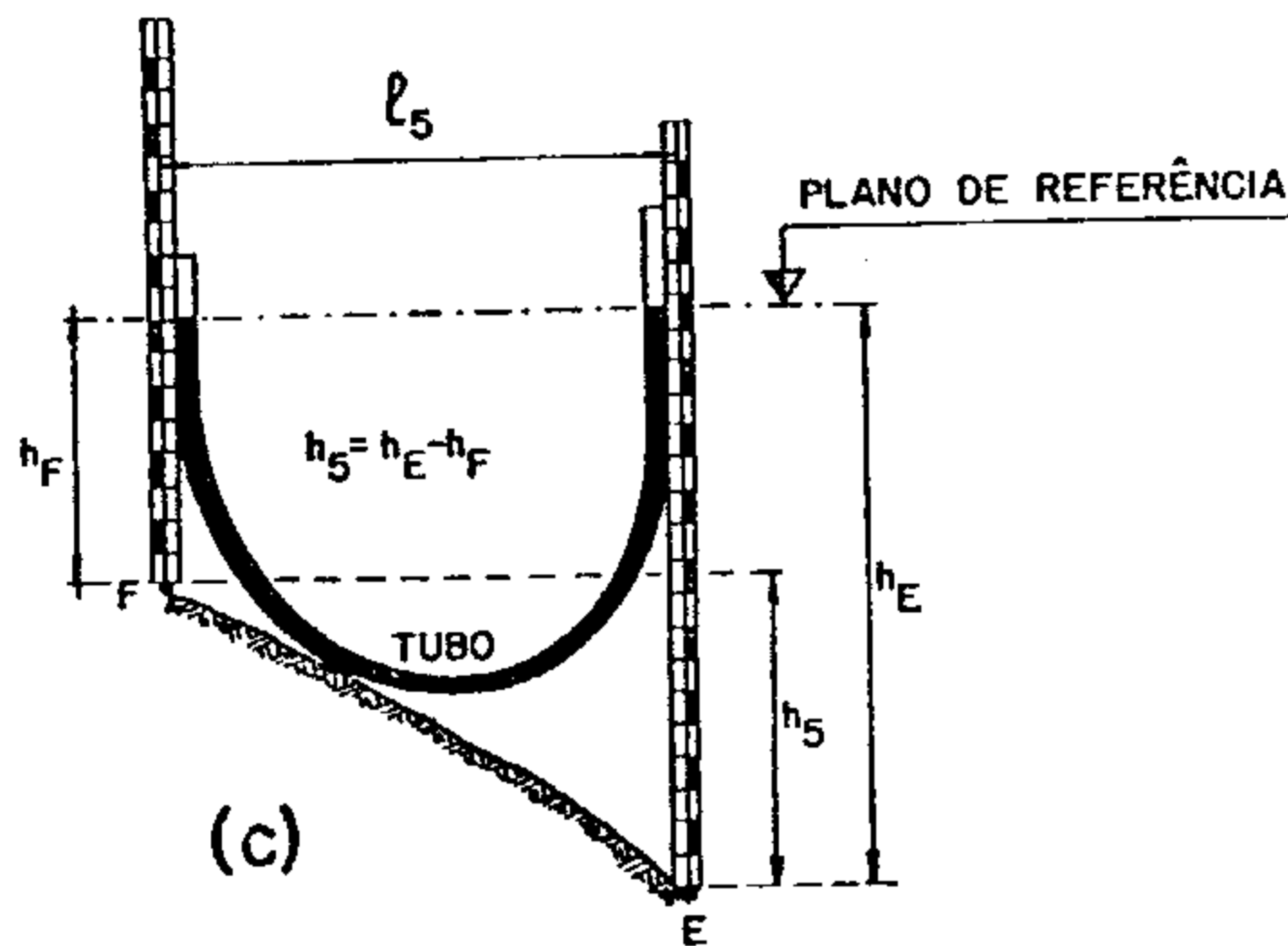
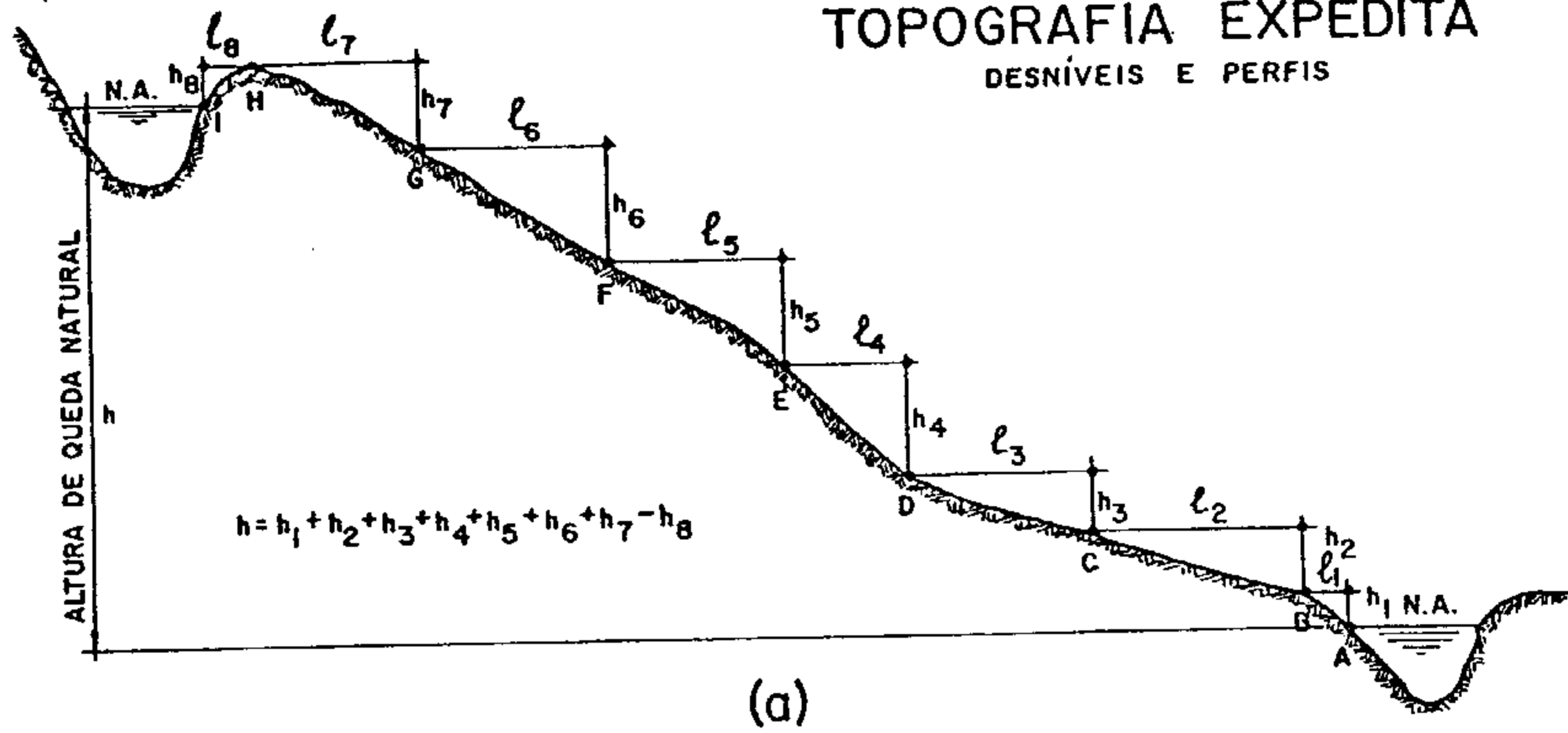
A determinação de áreas de terreno pode ser feita através de perfis de seções transversais paralelas e distantes entre si de um comprimento conveniente, formando um conjunto de pontos sobre a área a ser levantada, conforme mostra a FIGURA (d) do ANEXO 4.1.2/A.

Convém lembrar que os perfis das seções transversais deverão ter os seus pontos com os seus níveis referidos a um mesmo "datum". Isso pode-se obter determinando-se as diferenças de níveis  $h_1, h_2, h_3$ , etc., entre um ponto qualquer de cada uma das seções transversais, como, por exemplo, entre A e  $A_1, A_1, A_2$  e  $A_3$ , etc. como ilustra a FIGURA (e) do ANEXO 4.1.2/A.

#### 4.1.2.2 Levantamentos Topográficos com Instrumentos

Para os casos em que haja recursos financeiros e profissionais, poder-se-á lançar mão dos serviços topográficos executados por um topógrafo, com instrumento do tipo teodolito, taqueômetro, nível de precisão, distanciômetro, etc, e aplicando a metodologia convencional que, neste Manual, não cabe a sua explanação.

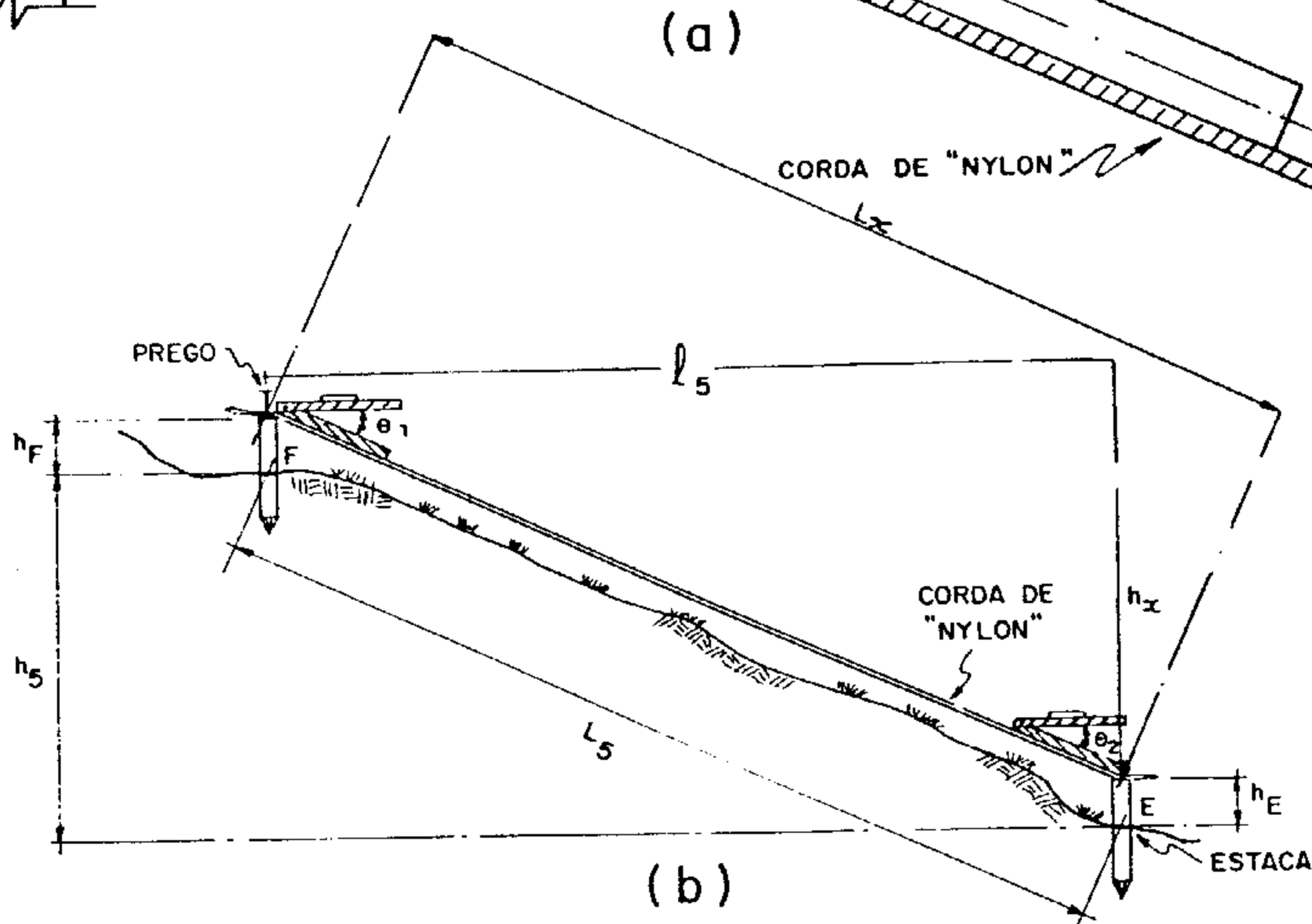
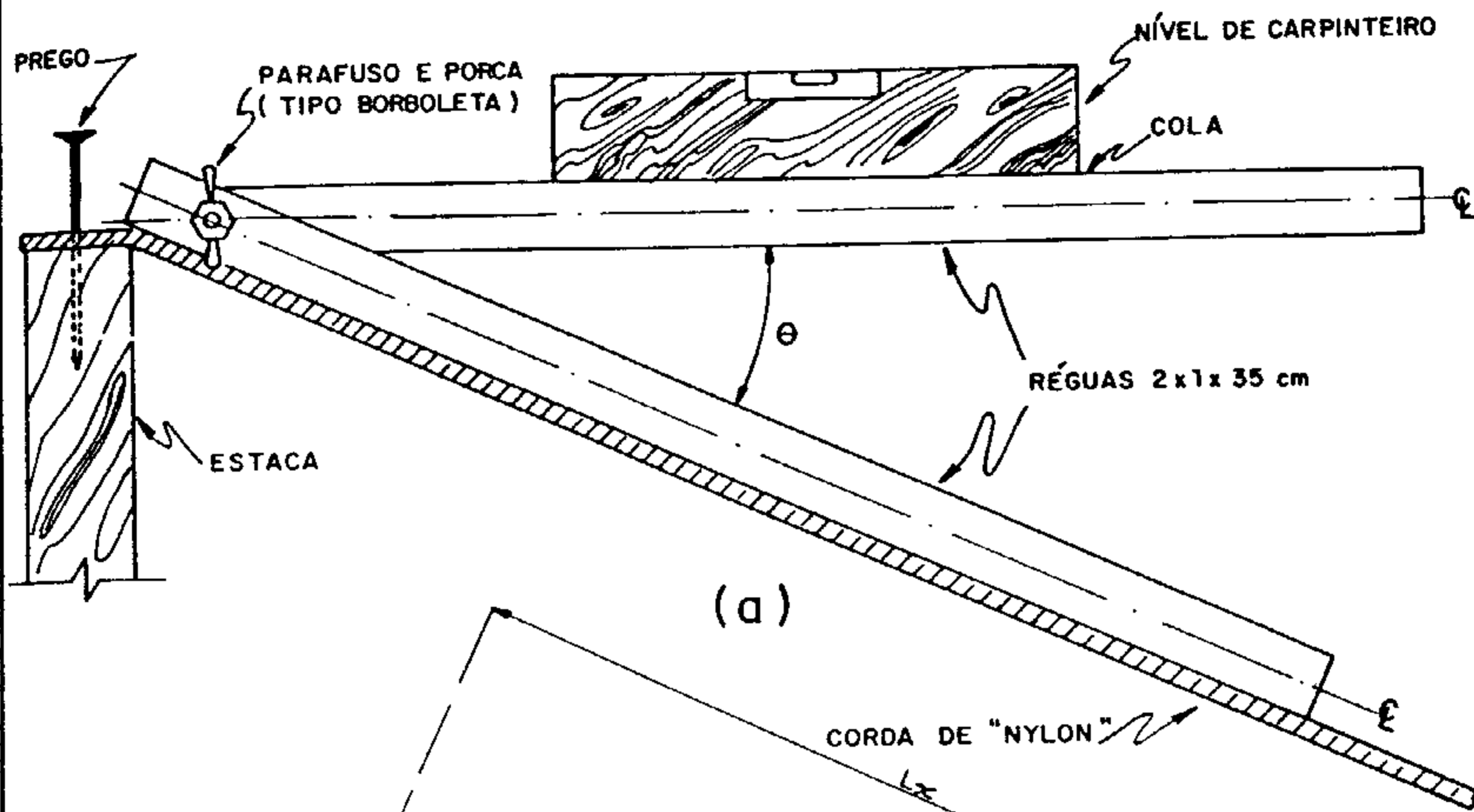
TOPOGRAFIA EXPEDITA  
DESNÍVEIS E PERFIS



TOPOGRAFIA EXPEDITA  
MÉTODO DO CLINÔMETRO

4.1.2/B

ANEXO



$h_E$  e  $h_F$  - MEDIÇÃO COM ESCALA MÉTRICA

$L_x$  - MEDIÇÃO COM TRENA

$\theta_1$  e  $\theta_2$  - MEDIÇÃO COM CLINÔMETRO

$$\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

$$h_x = L_x \text{ sen } \theta$$

$$L_5 = L_x \text{ cos } \theta$$

$$h_5 = h_x + h_E - h_F$$

$$L_5 = \sqrt{L_x^2 + h_5^2}$$

QUANDO:  $h_E = h_F$

ADOTA-SE:  $h_5 = h_x$

$$L_5 = L_x$$

NOTA: Os valores de  $\text{sen } \theta$  e  $\text{cos } \theta$  são dados nas TABELAS 4.2.1.8/X e XI  
REFERENCIA: Perfis similares em (b) e (c) do ANEXO 4.1.2/A

DETERMINAÇÃO DO PERFIL DO TERRENO E QUEDA BRUTA COM O CLINÔMETRO

EXEMPLO

ESTACAS Nº	INCLINAÇÃO $\theta_1$ e $\theta_2$	INCLINAÇÃO MÉDIA $\theta$	Sen $\theta$	Cos $\theta$	$L_x$ (m)	$h_E$ (m)	$h_F$ (m)	$h_x$ (m)	$r_s$ (m)	$h_s$ (m)	$L_s$ (m)	COTAS TERRENO (m)
0	27°30'	27°35'	0,46304	0,88633	2,79	0,37		1,29	2,47	1,33	2,81	550,00
1	27°40'						0,33					551,33
1	25°30'	25°33'	0,43130	0,90221	10,36	0,33		4,46	9,35	4,42	10,34	555,75
2	25°35'						0,37					555,75
2	19°20'	15°35'	0,33518	0,94215	14,38	0,37		4,82	13,55	4,75	14,36	560,50
3	19°50'						0,44					560,50
3	10°40'	11°10'	0,19366	0,98107	14,11	0,44		2,73	13,84	2,78	14,12	563,28
4	11°40'						0,39					563,28
4	10°10'	10°20'	0,17937	0,98378	13,99	0,39		2,51	13,76	2,53	13,99	565,81
5	10°30'						0,37					565,81
5	9°20'	9°30'	0,16505	0,98629	13,91	0,37		2,30	13,72	2,32	13,91	568,13
6	9°40'						0,35					568,13
6	10°40'	10°45'	0,18652	0,98245	13,79	0,35		2,57	13,55	2,61	13,80	570,74
7	10°50'						0,31					570,74
7	10°10'	10°20'	0,17937	0,98378	13,75	0,31		2,47	13,53	2,45	13,75	573,19
8	10°30'						0,33					573,19
8	8°40'	8°55'	0,15500	0,98791	13,80	0,33		2,14	13,63	2,21	13,81	575,40
9	9°10'						0,26					575,40
9	11°10'	11°20'	0,19652	0,98050	14,00	0,26		2,75	13,73	2,58	13,97	577,98
10	11°30'						0,43					577,98
10	-1°10'	-0°55'	-0,01600	0,99987	14,13	0,43		-0,23	14,13	-0,14	14,13	577,84
11	-0°40'						0,34					577,84
11	-1°10'	-0°55'	-0,01600	0,99987	14,02	0,34		-0,22	14,02	-0,17	14,02	577,67
12	-0°40'						0,29					577,67
12	-1°40'	-1°25'	-0,02472	0,99969	11,54	0,29		-0,29	11,54	-0,23	11,54	577,44
13	-1°10'						0,23					577,44
13	-	-90°	-1,00000	0,00000	0,00	0,23		0,00	0,00	-0,32	0,00	577,12
N.A.							0,55					577,12

QUEDA BRUTA:  $H = \sum h_x + h_E(0) - h_F(N.A.) = 27,30 + 0,37 - 0,55 = 27,12m$  ou  $H = 577,12 - 550,00 = 27,12m$

\* MEDIÇÃO DE CAMPO



#### 4.1.3

#### Estudos Geológicos e Geotécnicos

A Geologia e Geotecnia tratam, basicamente, de dois aspectos:

- a - do local da barragem e obras anexas, de modo a garantir uma escolha adequada e segura, sobretudo quanto às fundações, ombreiras e encostas naturais nas vizinhanças das obras;
- b - dos materiais naturais de construção necessários à construção das obras que constituem o aproveitamento.

Uma vez que aqui se está tratando de pequenos aproveitamentos, as investigações geológicas devem ser feitas de modo expedito, com pouca ajuda de instrumentos, baseando-se essencialmente em observações de campo, informações eventualmente existentes nas áreas e no bom senso.

Assim, na escolha do local da barragem, deve-se obedecer a princípios simples de fácil entendimento que se coadunem com os aspectos contidos no item 4.2 - "Projeto e Aspectos Construtivos".

##### 4.1.3.1

##### Prospecções Geológicas Expeditas

Locais sujeitos a potenciais desmoronamentos ou que tenham tido quedas de barreiras recentes não oferecem boas condições de suporte de obras. O material envolvido nesses escorregamentos é pouco consolidado, conferindo normalmente ao terreno baixa resistência e alta permeabilidade.

Locais que vêm sofrendo desmatamento intenso ou onde a vegetação seja muito rala ou inexistente, associados a encostas íngremes, podem sofrer, na época de chuvas intensas e/ou prolongadas, processo erosivo do terreno natural. O reservatório formado pela barragem pode ficar, assim, sujeito a grande deposição de material em pouco tempo, o que não é conveniente. Na escolha de um local para implantação das obras deve-se sempre procurar um apoio firme para suas fundações. Sempre que possível, deve-se analisar muito bem zonas onde existam bancos de areia ou cascalho, pois eles são muito permeáveis, podendo ocasionar fugas excessivas de água pela fundação. No local da barragem, rochas que mostrem fraturas abertas no sentido do rio podem também trazer problemas de fuga de água.

Todo local de ocorrência de rochas muito fraturadas deve ser bem analisado, pois, havendo a hipótese de implantação de estruturas de concreto, merecerá cuidados especiais. Todas as ocorrências de turfa ou argila preta orgânica, por serem pouco resistentes e muito compressíveis, devem ser perfeitamente identificadas e delimitadas para serem analisadas em projeto. Os solos destes terrenos não servem nem para fundação e nem como material de construção.

#### 4.1.3.2 Investigações Geológicas com Equipamentos

O bom senso e a experiência alertarão os técnicos envolvidos com o projeto e construção da obra para a existência de algum problema de fundação, ou construtivo, que não possa ser devidamente enfrentado com as técnicas de simples reconhecimento acima expostas. Neste caso, as técnicas de investigação poderão necessitar o auxílio de equipamentos, sendo recomendável a presença de profissionais especializados.

#### 4.1.3.3 Materiais Naturais de Construção

Em princípio, toda obra deve ser construída com os materiais naturais existentes em suas vizinhanças. Isto quer dizer que o projeto deverá ser adaptado aos materiais disponíveis, optando-se por um ou outro tipo de barragem, justamente em função desta disponibilidade.

As investigações dos materiais naturais abrangem a pesquisa de solo para construção das obras de terra, areias para filtros e agregados, e rocha para enrocamentos, transições e agregados de concreto.

A pesquisa de solo para barragem deve procurar definir os materiais em qualidade e quantidade. Com relação à qualidade, os solos deverão ser identificados e classificados de acordo com suas características próprias, através de análises expeditas recomendadas no item 4.1.3.4 - Caracterização Expedita de Materiais Construtivos e de Fundações.

A avaliação da quantidade é obtida através do processo de cubagem (cálculo de volumes), que consiste na demarcação da área e na estimativa média das profundidades exploráveis de solo. Para tanto, é efetuada, no interior da área delimitada, uma "malha" de furos a trado e poços, com espaçamento de preferência constante, geralmente arbitrado em função das dimensões e topografia de área, e variando de 20m até 50 m.

Estes furos deverão atravessar individualmente o manto de solo existente, sendo definidas para cada horizonte e espessura as características dos materiais encontrados; estas perfurações serão executadas de acordo com o descrito nos itens:

- 4.1.3.5 - Investigações com furos a trado;
- 4.1.3.6 - Poços de Inspeção;
- 4.1.3.7 - Trincheiras;
- 4.1.3.8 - Investigações e Estudos Complementares.

Determinadas as áreas de exploração e a espessura média das camadas, calcula-se os volumes disponíveis para utilização, prevendo-se sempre que os volumes de exploração devem ser superiores aos volumes calculados para serem aplicados nas obras, em um percentual da ordem de 50%.

Obtendo-se a certeza da disponibilidade de solo em qualidade e quantidade adequadas para utilização, procede-se à definição da forma mais conveniente de exploração, por métodos manuais ou através do emprego de equipamentos mecânicos, como tratores com lâmina, pás-carregadeiras, retroescavadeiras e outros.

A pesquisa de areia deverá ser realizada nos depósitos situados nas margens e no leito dos cursos d'água existentes e nas proximidades dos locais de construção.

As investigações a trado e os poços para avaliação dos volumes disponíveis de materiais são, em geral, dificultadas pela presença do nível d'água, já que tais depósitos geralmente ocorrem nas regiões alagáveis. Nesses casos, após delimitada a área de ocorrência, recomenda-se avaliar a espessura do depósito com auxílio de uma "malha" regularmente espaçada de sondagens a varejão, que consiste na cravação, sem impacto, de uma haste metálica lisa, por exemplo, ferro de construção de 1/2 a 1 polegada, utilizando-se apenas o esforço de uma pessoa, e anotando-se a profundidade atingida em cada ponto.

A média das profundidades atingidas em cada sondagem, multiplicada pela superfície determinada da ocorrência, fornecerá o volume disponível de material. Convém observar que durante a pesquisa de materiais arenosos estes depósitos podem apresentar misturas com outras frações, como argilas e materiais orgânicos, acarretando uma exploração difícil e antieconômica. Nestes casos o custo do metro cúbico de uma jazida em exploração comercial nos arredores pode tornar-se vantajoso, comparado com as dificuldades de exploração numa jazida na área da obra.

Cabe ainda lembrar que, na ausência de fontes de materiais arenosos, pode ser usado como material alternativo a areia artificial obtida como refugo de britagem. Entretanto, isto deve ser avaliado economicamente, pois poderá dificultar a trabalhabilidade do concreto.

A pesquisa de material pético ficará condicionada pela qualidade e quantidade dos produtos provenientes das escavações obrigatórias. Caso estas escavações não atendam às necessidades da obra, deverão ser investigados locais com potencialidade de ocorrência de materiais pétreos, observando-se que deverão ser considerados os seguintes aspectos: sanidade da rocha, que não deverá ser quebradiça nem apresentar fácil desagregação; cobertura da camada de estéril, isto é, solo ou rocha muito alterada, dificultando e encarecendo os custos de exploração, sendo que em tais casos convém investigar o material de cobertura para possível utilização como área de empréstimo; a frente de ataque para exploração deverá ser ampla, o suficiente para entrada de máquinas e equipamentos para remoção do material escavado; estar localizada fora da região de possível inundação do rio.

4.1.3.4 Caracterização Expedita de Materiais Construtivos e de Fundações

4.1.3.4.1 Identificação, Classificação e Descrição dos Materiais Construtivos

Os materiais para construção podem ser identificados e classificados de acordo com as características gerais descritas na TABELA 4.1.3/I.

TABELA 4.1.3/I - IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS

CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL	FAIXA GRANULOMÉTRICA (mm) (ABNT)	FINALIDADE CONSTRUTIVA
ARGILAS	contêm partículas muito finas não distinguíveis a olho nu, inclusive colóides.	menor que 0,005.	diques, barragens de terra e núcleos de barragem
SILTES	constituídos por partículas finas não visíveis a olho nu.	0,005-0,05	de terra / enrocamento, vedações.
AREIAS	grãos arredondados identificáveis a olho nu.	0,05 - 4,8	filtros, agregados finos.
CASCALHOS OU BRITAS	materiais grosseiros de terraços ou leito de rios ou originários de pedreiras e, de acordo com os tamanhos dos grãos, dividem-se em: cascalho ou brita 1 cascalho ou brita 2 cascalho ou brita 3	4,8 - 19 19 - 38 38 - 76	transições entre filtros de areia e enrocamentos, agregados grossos.
ENROCAMENTOS	materiais de pedreiras com dimensões avantajadas constituindo blocos e pedras de mão.	maiores que 100	abas de proteção do material terroso e concreto.



a seco esmagando-a entre os dedos:

- Baixa resistência - indica silte inorgânico, pó de pedra ou areia misturada com silte, ou seja, materiais de muito baixa ou nenhuma plasticidade. A presença de areia é evidenciada quando a amostra é pulverizada, notando-se pelo tato a sensação de "arranhar" os dedos.
- Média resistência - indica a presença de argila, sem matéria vegetal, de plasticidade entre média e baixa. É necessário considerável pressão dos dedos para pulverizá-la.
- Alta resistência - indica argila altamente plástica. A amostra seca pode ser rompida, mas não se consegue pulverizá-la com a pressão dos dedos.

c) Identificação pela Cor - Os solos de cor cinza escura ou preta indicam provavelmente a presença de material orgânico.

d) Identificação pelo Cheiro - Os solos que contêm material orgânico apresentam cheiro característico.

e) Identificação pelo Tato - Os solos de granulometria fina (siltes e argilas) apresentam-se sedosos no contato com os dedos.

f) Teste de Agitação - Agita-se horizontalmente sobre a palma da mão uma pequena porção de solo úmido. Observa-se a água que surge à superfície, dando-lhe uma aparência acetinada. Em seguida espreme-se a amostra entre os dedos fazendo-se desaparecer a umidade da superfície, que perde a aparência brilhante, ao mesmo tempo que enrijece e finalmente desagrega-se sob a pressão dos dedos. Torna-se a agitar os pedaços da amostra até juntarem-se de novo: uma reação rápida indica falta de plasticidade, como no silte inorgânico de pó de pedra na areia muito fina; uma reação lenta indica silte ou argila siltosa ligeiramente plásticos; caso não haja reação, isto indica argila ou material turfoso.

B) Materiais de Granulometria Grossa (Areias/Cascalhos/Britas/Enrocamentos):

a) Areias

Utilização:

Materiais destinados a agregados finos de concreto e camadas de filtros que facilitem a passagem da água e evitem a saída do material fino que se quer proteger.

Propriedades:

Estes materiais deverão ser utilizados totalmente limpos, sem presença de matérias vegetais, raízes, restos de folhas, ga -

lhos, ou outros, sem presença de materiais finos como "pelotas" de argila, devendo permitir facilmente a passagem de água. Caso seja constatada a presença destas impurezas as areias deverão ser lavadas e peneiradas antes da utilização.

#### Avaliação Expedita das Características:

Tamanho e Distribuição dos Grãos - no caso das areias, a inspeção visual e o tato são suficientes para fornecer uma idéia de sua distribuição. A sensação de aspereza ao tato fornece a indicação da quantidade de areia contida na amostra. A inspeção visual permite avaliar a distribuição dos grãos; caso estes se apresentem aproximadamente do mesmo tamanho, as areias são chamadas uniformes; caso haja variação contínua no tamanho dos grãos, estas serão chamadas desuniformes ou ainda bem graduadas.

Drenagem Franca - deverá ser observada a facilidade de escoamento de água através da areia, uma vez atendidas as propriedades anteriormente definidas. Esta drenagem será facilitada nas areias uniformes e de maior tamanho dos grãos.

#### b) Cascalhos ou Britas

##### Utilização:

Materiais destinados a camadas de transição entre os filtros e enrocamentos e para agregados grossos de concretos.

##### Propriedades:

O material deve ter coerência suficiente para não se desagregar pela ação da água, quando exposto ao tempo, e ter dureza para resistir a ações de impacto.

#### Avaliação Expedita das Características:

Inspeção Visual - para verificar a distribuição das dimensões, forma dos grãos e friabilidade.

Teste de Desagregação - deixar amostras do cascalho ou brita submetidas a ciclos diários de molhagem e secagem ao tempo, de modo a avaliar visualmente quaisquer características de desagregação daquelas amostras ao longo de um período mínimo de 60 dias. São válidas as observações do estado de blocos de rocha existentes na região e que tenham estado expostos às intempéries por longo período.

Resistência ao Impacto - desferindo-se golpes com um martelo sobre o material avalia-se sua resistência ao impacto.

### c) Enrocamentos

#### Utilização:

Para maciços de barragens e ensecadeiras, proteção de taludes terrosos e para uso em concreto ciclópico.

#### Propriedades:

Deverão ter as mesmas propriedades dos cascalhos e britas e, quando compactados em maciços, apresentam franca permeabilidade.

#### Avaliação Expedita das Características:

Devem ser efetuadas as mesmas avaliações descritas para os cascalhos e britas.

#### 4.1.3.4.3 Fundações

Para estimativa de pressões admissíveis dos tipos mais comuns de terrenos para fundações das diferentes estruturas, recomenda-se aquela contida na NB-51-1978 (ABNT) para fundação direta de edifícios, transcrita na TABELA 4.1.3/II.

#### A) Fundações em Solo

Durante a escolha do eixo, quando se fazem as investigações sobre as fundações, sendo impossível atingir a camada de rocha, deve-se observar com cuidado as características do solo para certificar-se que possua condições adequadas para receber a barragem. Devem ser escolhidos locais com solos de densidade elevada e não excessivamente úmidos.

Testes de Consistência - segundo o item 4.1.3.4.2.A-b, caso o solo apresente plasticidade elevada, ou seja, grande quantidade de argila, significa que sob a ação do peso da barragem poderá sofrer deformações elevadas, devendo-se evitar este material como fundação.

Em caso de materiais puramente granulares, as deformações sob a ação do peso são significativamente menores; entretanto, o material pode apresentar passagem de água com muita facilidade, o que requer soluções especiais na construção.

Teste de Resistência - deve-se tentar cravar no solo de fundação uma haste metálica de 2 a 3 metros de comprimento, por exemplo ferro de construção de 1/2 ou 1 polegada. A dificuldade à penetração fornece uma avaliação da resistência do solo ao longo da profundidade alcançada pela haste. Baixa resistência à penetração indica solos de alta plasticidade, com elevada capacidade de se deformarem, devendo portanto ser evitados. Elevada resistência à penetração indica solos consistentes e pro-



vavelmente de baixa plasticidade (pouco deformáveis), sendo necessário ficar atento sobre a facilidade de permitirem a passagem de água.

TABELA 4.1.3/II  
PRESSÕES ADMISSÍVEIS PARA DIFERENTES TIPOS DE TERRENO

Classe	Tipo de Material	Valores básicos (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	Rocha sã, maciça, sem laminações ou sinal de decomposição .....	50
2	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas.....	35
3	Solos concrecionados.....	15
4	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, compactos.....	8
5	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, fofos.....	5
6	Areias grossas e areias pedregulhosas, bem graduadas, compactas.....	8
7	Areias grossas e areias pedregulhosas, mal graduadas, fofas.....	4
8	Areias finas e médias:	
	muito compactas.....	6
	compactas.....	4
	medianamente compactas.....	2
9	Argilas e solos argilosos:	
	consistência dura.....	4
	consistência rija.....	2
	consistência média.....	1
10	Siltes e solos siltosos:	
	muito compactos.....	4
	compactos.....	2
	medianamente compactos.....	1

Notas:

- para os materiais intermediários entre as classes 4 e 5, interpolar entre 8 e 5 kgf/cm<sup>2</sup>;
- para os materiais intermediários entre as classes 6 e 7, interpolar entre 8 e 4 kgf/cm<sup>2</sup>;
- no caso de calcário ou qualquer outra rocha cárstica (terrenos com sumidouros naturais), devem ser feitos estudos especiais;
- os valores constantes desta tabela têm como origem a NB-51 de 1978, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

## B) Fundações em Rocha

As fundações em rocha oferecem a vantagem de ser praticamente indeformáveis; entretanto, alguns aspectos devem ser observados.

Resistência da rocha - com auxílio de uma picareta deve-se testar a qualidade da rocha; a resistência ao impacto da ferramenta fornece uma idéia aproximada da sua dureza.

Desgaste pela ação das águas - esta observação deverá ser efetuada nas proximidades do leito do rio, verificando-se onde se apresenta na rocha o desgaste sofrido pela ação das correntes.

Presença de fraturas - mesmo apresentando elevada resistência, a presença de grande quantidade de fraturas na camada de rocha pode indicar não ser conveniente a fundação da barragem neste local. A presença de grande quantidade de fraturas pode permitir elevada passagem de água pela fundação, caso as fraturas não estejam preenchidas com algum material e, no caso particular das barragens de terra, existe o perigo de fuga de material do maciço da barragem por estas aberturas. No caso de fraturas de maior abertura, pode-se tentar o fechamento, através de um selo de pasta ou calda de cimento e água. No caso de fraturas em grande quantidade com pequena abertura, o problema merece muita atenção, devendo ser adotadas soluções de tamponamento das fraturas no local da obra e até a montante da mesma.

### 4.1.3.5 Investigações com Furos a Trado

#### 4.1.3.5.1 Utilização

É o processo mais simples, rápido e econômico para investigações preliminares das condições geológicas subsuperficiais, obtenção de amostras deformadas em pesquisas de áreas de empréstimo, determinação do nível d'água e indicação de mudanças nos tipos de materiais atravessados.

#### 4.1.3.5.2 Equipamentos e Materiais

Hastes de ferro ou liga de aço (1 1/2" ou 3/4") com roscas e luvas nas extremidades; extensões de 1 m, 2 m e 3 m; barras para rotação e conexão "T"; brocas de perfuração do tipo cavadeira, helicoidal ou torcida, com diâmetro de 2 1/2", 4" ou 6" (repa- no (ver FIGURA 4.1.3/1) ; chaves de grifo, sacos para acondicionamento de amostras, amarrilhos e etiquetas de identificação.

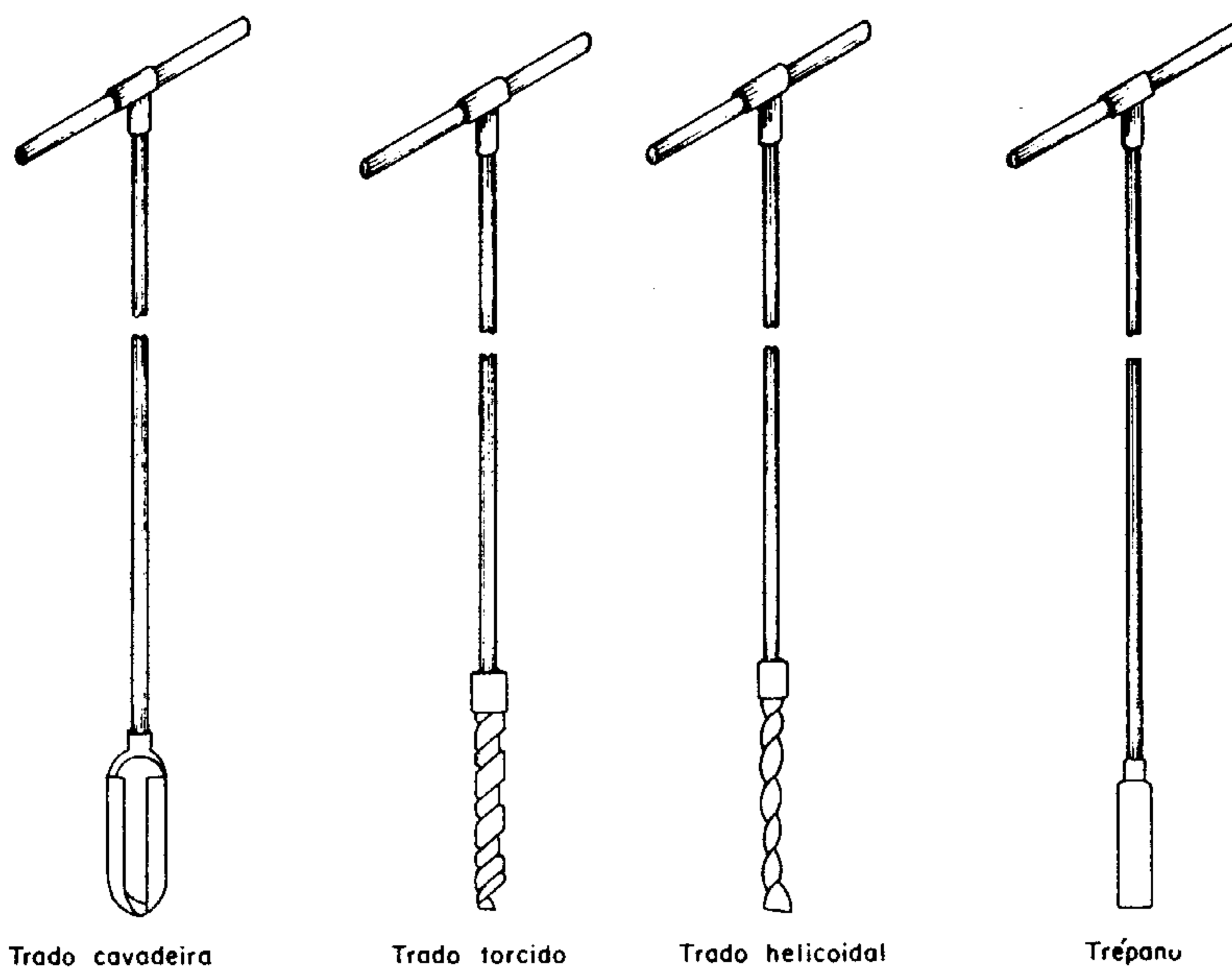


FIGURA 4.1.3/1

#### 4.1.3.5.3 Identificação dos Furos

As sondagens a trado serão identificadas pela sigla ST, seguida do número indicativo (Ex: ST-1....ST-10, etc)

#### 4.1.3.5.4 Execução e Amostragem

A perfuração é feita com operadores girando a barra horizontal acoplada às hastes verticais, em cuja extremidade inferior encontra-se a broca. A cada 5 ou 6 rotações forçando-se o trado para baixo, é necessário retirá-lo para remover o material acumulado na broca, depositando-o sobre uma lona (ou plástico) estendida ao lado do furo.

Os furos serão identificados individualmente no campo, sendo anotados em boletim específico todos os dados relativos à perfuração, bem como as características da amostra a partir da identificação táctil-visual pelo exame do material por ocasião da coleta, conforme o item 4.1.3.4.

O material obtido na perfuração será colocado sobre uma lona ou plástico, em pequenos montes correspondentes à escavação de cada 1,00 m perfurado.

Ocorrendo mudanças no tipo de material ao longo de 1,00 m de perfuração, os materiais distintos serão separados por montes, sendo anotada a espessura anterior à mudança de camada (ver FIGURA 4.1.3/2).

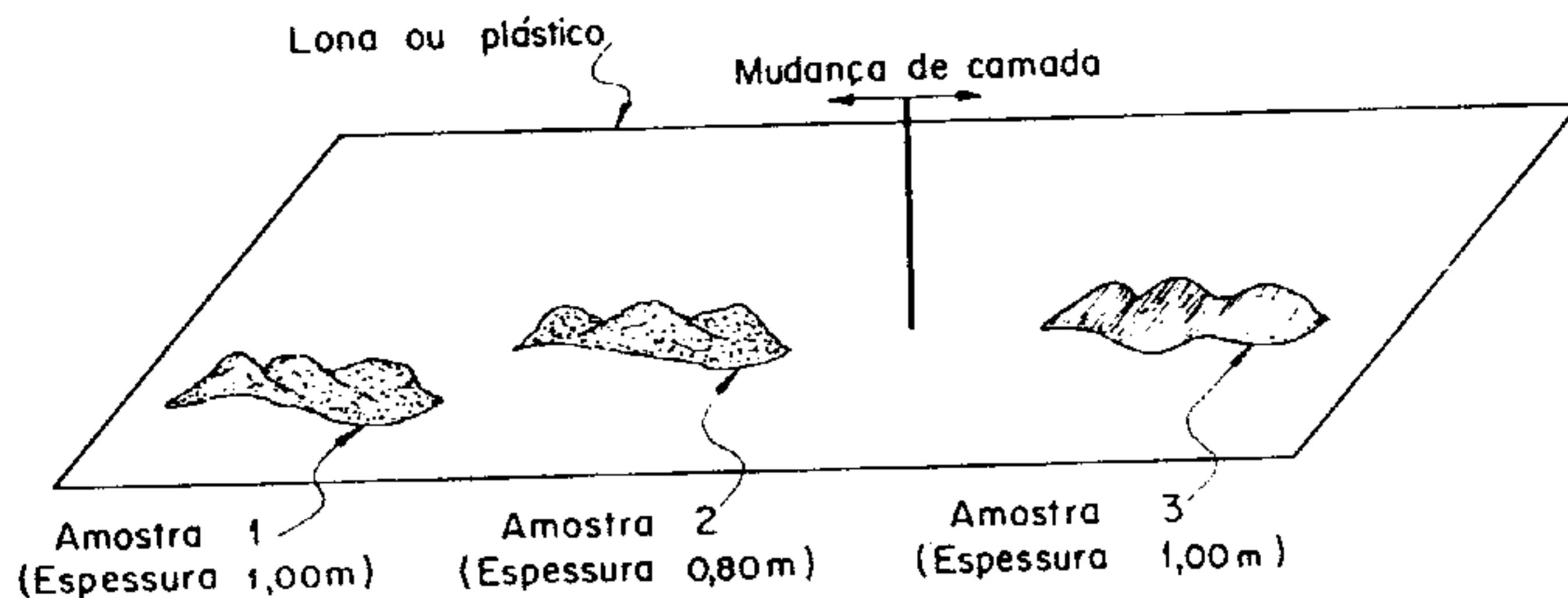


FIGURA 4.1.3/2

As amostras serão acondicionadas em sacos apropriados de 5,00kg, convenientemente identificados por uma ou mais etiquetas onde constem: nome da obra, nome do local, número do furo, profundidade da amostra, cota da boca do furo, profundidade do nível d'água em relação à boca do furo (quando ocorrer) e profundidade de de camada impenetrável.

Os furos serão interrompidos nas seguintes circunstâncias:

- Atingindo-se o N.A. - dificilmente consegue-se prosseguir o furo.
- Desmoronamento das paredes do furo.
- Atingindo-se o impenetrável - materiais de maior resistência a uma profundidade inferior (cerca de 50%) à média das profundidades atingidas pelos furos vizinhos. Neste caso, retirar-se o trado e, com auxílio do trépano, tenta-se ultrapassar a camada resistente para o prosseguimento do furo. Persistindo a impossibilidade, o furo deverá ser abandonado, e executada nova perfuração a uma distância aproximada de 2,00 m do furo anterior.

As amostras retiradas e devidamente acondicionadas deverão ser abrigadas em local apropriado, sendo que, somente nos casos em que as análises expeditas recomendadas nos parágrafos anteriores não sejam suficientes para dirimir eventuais dúvidas, deverão ser enviadas para laboratório. Neste caso específico, é recomendável recorrer-se a profissionais especializados para indicação dos tipos de ensaios a serem realizados e para interpretação de resultados dos mesmos.

#### 4.1.3.6 Poços de Inspeção

##### 4.1.3.6.1 Utilização

Os poços de inspeção a céu aberto complementam as investigações a trado e têm por finalidade principal estabelecer informações seguras sobre o nível considerado impenetrável por aquele tipo de sondagem, além de possibilitar a visualização e análise contínua das camadas de materiais atravessadas verticalmente.

Os poços deverão ser abertos em uma proporção de 1 para cada 5 furos a trado executados, preferencialmente no centro de cada área pesquisada.

##### 4.1.3.6.2 Equipamentos e Materiais

O equipamento será constituído pelas seguintes ferramentas: enxada, pá, picareta, corda, balde, lona, sarilho e escada, sacos para acondicionamento das amostras, amarrilhos e etiquetas de identificação.

##### 4.1.3.6.3 Identificação dos Poços

Os poços de inspeção serão identificados pela sigla PI, seguida de número indicativo (Ex. PI-1 ... PI-10, etc).

##### 4.1.3.6.4 Execução e Amostragem

O poço será iniciado após limpeza superficial de uma área de 2,0 m x 2,0 m. A dimensão mínima para cada lado do poço será de 0,80 a 1,00 m.

O poço deverá ser cercado durante a fase de abertura, de modo a evitar a queda de animais em seu interior. Após a conclusão dos trabalhos deverá promover o aterramento do mesmo.

Os poços serão identificados individualmente no campo, sendo anotados em boletim específico todos os dados relativos à perfuração, bem como as características de amostras coletadas a partir da identificação táctil-visual, conforme o item 4.1.3.4.

As amostras serão coletadas para cada 1,0 metro perfurado e acondicionadas em sacos apropriados de 5,00 kg, convenientemente identificados por uma ou mais etiquetas onde constem: nome

da obra; nome do local; número do poço; profundidade da amostra; cota da boca do poço; profundidade do nível d'água em relação à borda do poço (quando ocorrer); e profundidade de camada impenetrável à picareta em relação à borda do poço.

Para cada metro, escavado será separada uma amostra representativa da camada atravessada. Ocorrendo mudança de camada ao longo de 1,00 m de perfuração, serão coletadas amostras conforme exposto na FIGURA 4.1.3/2.

Os poços serão interrompidos quando atingirem o topo da camada rochosa, ou quando as condições de escavação tornarem-se impraticáveis tais como: ao atingir o N.A., quando as paredes evidenciarem sinais de desabamento, ou não permitirem escavação a pá e picareta.

As amostras deformadas coletadas nos poços de inspeção devem ter o mesmo tratamento das obtidas nos furos a trado.

#### 4.1.3.7 Trincheiras

##### 4.1.3.7.1 Utilização

As trincheiras têm por objetivo permitir uma exposição contínua do subsolo, vertical e longitudinalmente, ao longo da seção de uma encosta natural, áreas de empréstimo, capeamento de pedreiras, fundação e outros locais de interesse.

##### 4.1.3.7.2 Equipamentos e Materiais

As trincheiras podem ser escavadas com os mesmos equipamentos utilizados para os poços (pá, picareta, etc) ou, se disponíveis, através de equipamentos mecânicos (escavadeiras).

##### 4.1.3.7.3 Identificação das Trincheiras

As trincheiras serão identificadas pela sigla TR, seguida de número indicativo (Ex. TR-1... TR-5, etc).

##### 4.1.3.7.4 Execução e Amostragem

A execução, amostragem, limitações e tratamento das amostras devem seguir as mesmas recomendações para os poços de inspeção.

##### 4.1.3.8 Investigações e Estudos Complementares

Caso as investigações com auxílio de furos a trado, poços e trincheiras não sejam suficientes para atender ao nível de informações desejado, pode-se recorrer, em casos excepcionais, a métodos cujos dados resultantes forneçam indicações adequadas sobre a natureza e características dos materiais construtivos e da fundação, de interesse para a obra.

Entretanto, convém ressaltar que os custos elevados destas investigações em relação ao custo do projeto e a análise dos resultados obtidos, requerem a presença de um especialista em Geotecnia de modo a orientar a programação e interpretação dos resultados que, em um sentido amplo, poderá constar das seguintes atividades:

- . Abertura de poços e trincheiras em locais previamente selecionados nas fundações e áreas de empréstimo, objetivando a identificação de feições geológicas específicas e a retirada de amostras para ensaios de laboratório; tais amostras poderão ser deformadas quando escavadas com auxílio de uma pá e acondicionadas em sacos, no caso de estudos para empréstimo; ou indeformadas em caso de blocos de solo moldados no interior da escavação guardando as condições naturais do terreno, objetivando os estudos para fundações.
- . Um dado de grande importância para execução do projeto e com influência direta na execução da obra é a medição do nível d'água no terreno. A presença do lençol elevado pode acarretar a impossibilidade de exploração de uma área de empréstimo ou criar condições desfavoráveis para as escavações das fundações das estruturas.

Quando constatada sua presença a profundidades que interfiram com as cotas de interesse de projeto, poderão ser programadas sondagens específicas com a finalidade de instalar medidores de nível d'água, que consistem em tubo de P.V.C. de cerca de 1 1/2" com perfurações da ordem de milímetros, envolvidos com tela de nylon ou geotextil para evitar o carregamento de solo para seu interior.

Estes tubos, instalados em locais previamente selecionados, serão objeto de medições periódicas de profundidade do nível d'água em relação à boca do furo. Tais medidas deverão ser tomadas no mínimo uma vez por semana, sendo anotadas, como observação, a ocorrência ou não de chuvas entre cada período.

- . Sondagens mecânicas igualmente em locais previamente determinados, após campanha preliminar de trados e poços, poderão ser solicitadas para investigações a maiores profundidades. Estas sondagens poderão ser pelo método a percussão, rotativa ou mistas.

As sondagens à percussão são utilizadas, de um modo geral, para prospecção em solo, possibilitando a recuperação de amostras e avaliação da resistência da fundação através dos ensaios S.P.T. (Standard Penetration Test).

As sondagens rotativas permitem a amostragem através da recuperação de testemunhos das camadas rochosas, fornecendo, ao mesmo tempo, correlações sobre a resistência dos extratos, através dos R.Q.D. (Rock Quality Designation) e permeabilidade do maciço através de ensaios de perda d'água sob pressão.

As sondagens mistas consistem na execução do furo através do método a percussão para o trecho em solo e em rotativa

no substrato rochoso.

- As amostras obtidas nas sondagens anteriormente descritas serão objeto de uma programação específica para ensaios de laboratório, dirigida de modo a atender à coleta de dados considerados indispensáveis pelo técnico especializado.

De um modo geral os ensaios solicitados estarão contidos na programação indicada sumariamente na TABELA 4.1.3/III

TABELA 4.1.3/III- ENSAIOS DE LABORATÓRIO DE SOLOS

ENSAIOS	FINALIDADE	NORMAS E BIBLIOGRAFIA P/EXECUÇÃO DE ENSAIOS
Granulometria	Caracterização	NBR-7181
Límite de Líquidez	Caracterização	NBR-6459
Límite de Plasticidade	Caracterização	NBR-7180
Massa Específica Real dos Grãos de Solo	Caracterização	NBR-6508
Compactação	Estabelecer as melhores condições de compactação.	NBR-7182
Compressão simples	Resistência ao cisalhamento.	DNER-IE 04-71 do DNER
Cisalhamento Direto	Resistência ao cisalhamento.	Engineering Properties of Soils and Their Measurements - Joseph E. Bowels.
Compressão Triaxial	Resistência ao cisalhamento.	idem.
Permeabilidade	Capacidade de Drenagem.	idem.
Adensamento	Estudo de recalques.	idem.



#### 4.1.4

### Estudos Hidrológicos

#### 4.1.4.1

#### Generalidades

Os estudos hidrológicos a serem realizados nos projetos de mini centrais hidrelétricas compreendem basicamente a definição, em cada projeto, de:

- regime fluviométrico do rio, com determinação de vazões para utilização no cálculo da potência a ser instalada;
- vazão de desvio do rio durante a construção;
- vazão de projeto das estruturas extravasoras, ou cheia de projeto;
- relação cota-descarga a jusante da central.

Durante a definição destes elementos básicos, o projetista deverá defrontar-se com diferentes situações, principalmente no que se refere à disponibilidade ou não da série de dados fluviométricos do local da central. No caso de haver disponibilidade desta, há ainda o problema de ser a mesma suficiente ou não quanto à qualidade e à extensão.

Para a solução destes problemas, poder-se-á adotar diferentes enfoques, como se verá a seguir:

#### 4.1.4.2

#### Coleta e Análise de Dados

A coleta de dados fluviométricos deverá ser feita simultaneamente com a coleta das outras informações citadas. Nesta fase dos trabalhos, recomenda-se que sejam consultados órgãos como: DNAEE, INEMET, órgãos dos governos estaduais e das prefeituras, Serviço Geográfico do Exército, e outros. Os dados deverão ser do tipo:

- mapas diversos: cartográficos, de divisão territorial, rodoviários, ferroviários, e outros;
- perfis transversais e longitudinais dos rios, já disponíveis;
- dados topográficos e geológico-geotécnicos;
- dados hidrométricos (pluviométricos, fluviométricos e climatológicos) observados, históricos e fichas descritivas de estações e estudos hidrológicos já realizados;
- sistema energético existente na região.

Os dados coletados deverão ser analisados, triados e catalogados, de forma a facilitar a consulta e o manuseio nos estudos posteriores com os mesmos.

#### 4.1.4.3 Fisiografia da Bacia e Regime Fluviométrico

As características físicas de uma determinada bacia são fatores importantes para a definição do regime hidrológico. Dentre elas recomenda-se que sejam determinadas:

- área de drenagem - através de mapas, restituições aerofotogramétricas, fotografias aéreas da região ou levantamentos topográficos expeditos da bacia onde se instalará a central, deverá ser traçada a linha de divisores das bacias hidrográficas e, em seguida, calculada por planimetria a área de drenagem no local do aproveitamento em estudo;
- declividade média do rio - com auxílio de um curvímetro determina-se o comprimento do talvegue e, conhecida a diferença de cota entre o ponto mais alto do rio e o ponto em estudo, calcula-se a declividade média daquele estirão.

Na caracterização do regime fluviométrico ter-se-á que levantar informações locais, tais como: marcas de níveis de cheias, valores extremos de descargas, frequência e época de inundações, entre outros. Estas informações, conjuntamente com a coleta de dados pertinentes ao posto, permitirão desenvolver estudos analíticos de Hidrologia.

#### 4.1.4.4 Estimativa de Série de Vazões a partir de Dados de Outros Postos

Quando não se dispõe de dados do local da central, dever-se-á pesquisar a existência desses registros em postos fluviométricos do mesmo rio e, se também não houver estes últimos, a solução será a estimativa do regime fluviométrico a partir de dados de postos de outras bacias da região, desde que a mesma seja considerada como homogênea.

No primeiro caso, poder-se-á proceder a uma translação dos dados pela aplicação da fórmula:

$$Q_u = Q_p \times \frac{A_u}{A_p}$$

em que:

$Q_u$  = vazão no local da central;

$Q_p$  = vazão no posto do mesmo rio, do qual se dispõe de dados;

$A_u$  = área de drenagem, desde as cabeceiras até o local da central; e

$A_p$  = área de drenagem da bacia, até o local do posto fluviométrico.

Desta forma, podem ser obtidas as máximas, médias e mínimas relativas ao local da central, mas cumpre ressaltar que uma translação deste tipo só pode ser considerada como válida se as áreas de drenagem nos locais do posto e da central não forem excessivamente diferentes. Recomenda-se admitir este tipo de solução quando a maior área de drenagem for até 3 vezes superior à outra.

No caso em que o local da central esteja situado entre dois postos fluviométricos, poderá ser usada a seguinte equação de transferência:

$$Q_u = Q_m + \left( \frac{A_u - A_m}{A_j - A_m} \right) \times (Q_j - Q_m)$$

onde:

$Q_u$  = vazão no local da central;

$Q_m$  = vazão do posto de montante;

$Q_j$  = vazão do posto de jusante;

$A_u$  = área de drenagem do local da central;

$A_m$  = área de drenagem do posto de montante;

$A_j$  = área de drenagem do posto de jusante.

O caso em que não se dispõe de dados nem do local da central, nem de outro posto fluviométrico no mesmo rio, ou ainda quando este houver, mas estiver muito afastado do local da central, poderá ser resolvido por meio de regionalização dos dados, conforme a "Metodologia Para Regionalização de Vazões" publicada pela ELETROBRÁS em 1985.

#### 4.1.4.5 Avaliação Expedita de Curva-Chave (ANEXO 4.1.4/A)

O caso mais crítico, em que não se dispõe de dados da região, nem pluviométricos, nem fluviométricos, deverá requerer obviamente uma avaliação expedita da vazão a ser admitida no projeto. Este caso deverá abranger, em especial, algumas regiões da Amazônia.

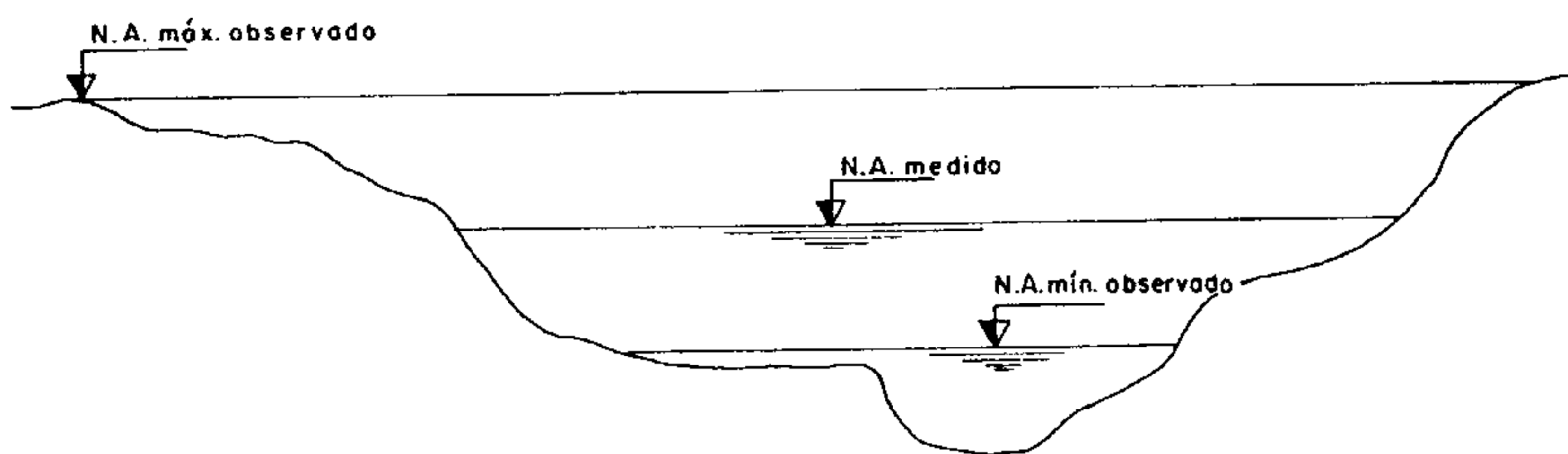


Diagrama (a)

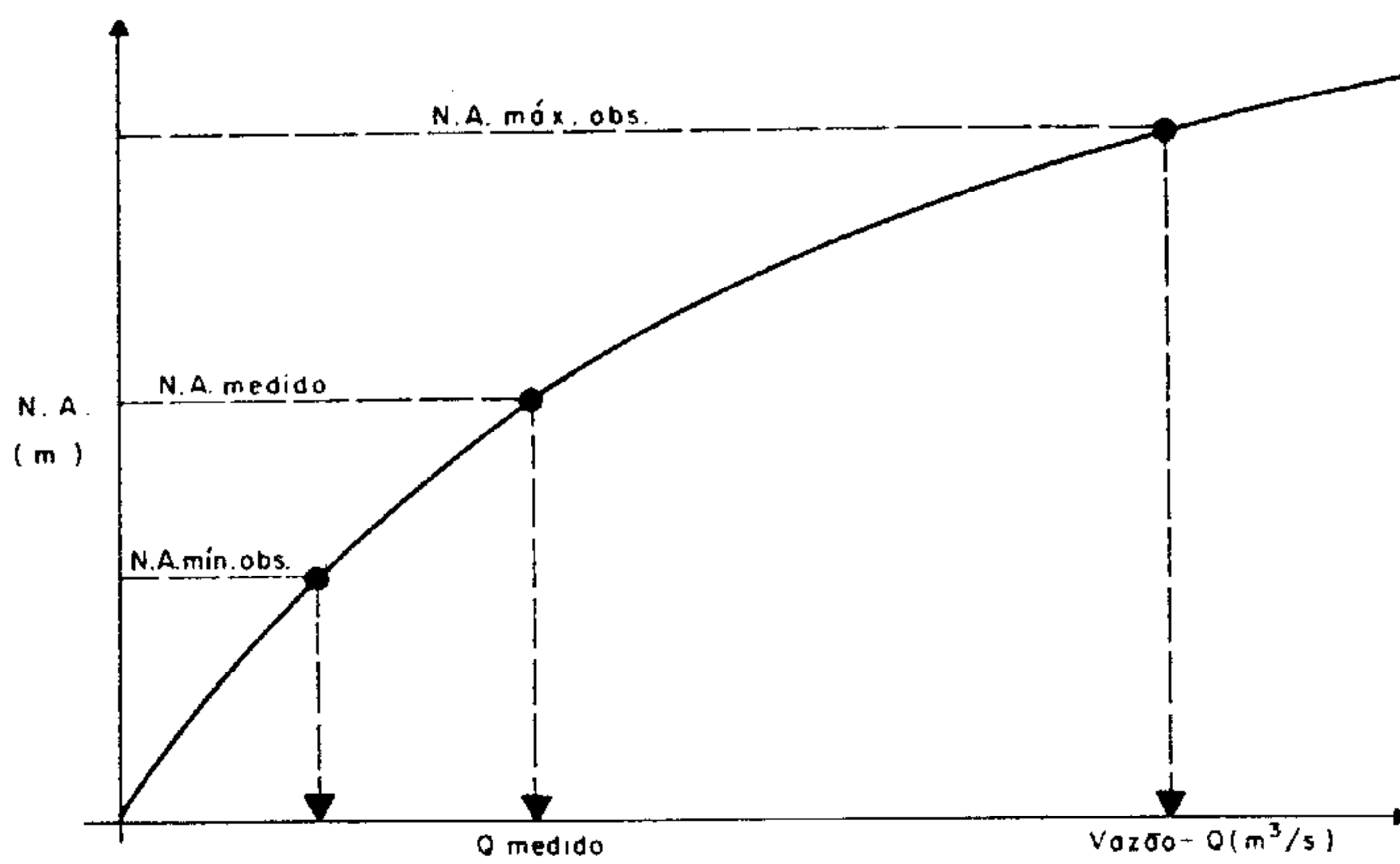


Diagrama (b)

Uma vez que o objetivo será o de definir a descarga para dimensionamento da central (turbina/gerador) e a descarga de projeto do órgão extravasor, recomenda-se o seguinte procedimento a ser adotado para obtenção destes parâmetros:

- realizar uma ou mais medições de descarga durante o período de estiagem, de forma a se estimar a descarga mínima do curso d'água;
- realizar uma ou mais medições de descarga e correspondente declividade na seção de medição fora do período de estiagem, visando a construção de uma curva-chave, indiretamente;
- através de informações e observações locais, levantar marcas de níveis das maiores secas e cheias acontecidas na seção de medição;
- construir Curva-Chave para avaliação das vazões de projeto conforme procedimento a seguir:

- a partir das medições de descarga líquida, e da declividade, efetuadas simultaneamente, obtêm-se ainda dessas medições a área de perímetro da seção. A partir destes elementos é, então, calculado o fator de rugosidade através da fórmula:

$$n = \frac{A^{5/3} S^{1/2}}{Q \cdot P^{2/3}}$$

onde:

n = fator de rugosidade de Manning, em  $s/m^{1/3}$

A = área da seção transversal de medição, em  $m^2$

P = perímetro da seção transversal de medição, em m

S = declividade do nível da água na seção de medição e,

Q = descarga líquida, em  $m^3/s$

- conhecido o fator de rugosidade, e com a seção topo-batimétrica, levantada durante a medição de descarga, são atribuídos diversos níveis para os quais são encontrados novas áreas e perímetros.

Daí, então, utiliza-se a mesma fórmula para se encontrar as vazões correspondentes a esses níveis, dada por:

$$Q = \frac{A^{5/3} S^{1/2}}{nP^{2/3}}$$

- uma vez definidos, os pares Q versus N.A. são plotados de forma a definir a Curva-Chave. Nesta curva são plotados os níveis.  $N.A_{\min, \text{obs}}$  e  $N.A_{\max, \text{obs}}$ , obtendo-se as vazões correspondentes.

#### 4.1.4.6 Vazão de Projeto da(s) Turbina (s)

- Através da Curva de Permanência de Vazões

A vazão de dimensionamento pode ser considerada, para as minicentrals, como a vazão com 95% de permanência, isto é, a vazão que ocorre durante 95% do tempo. Este parâmetro é encontrado na curva de permanência de vazões.

- Avaliação Expedita com  $C_q$  Regional

Para as centrais hidrelétricas de pequena capacidade, o método que vem sendo empregado há muitos anos consiste em fazer algumas medições da vazão nos cursos d'água nos períodos de estia-gem, adotando a mínima como representativa da descarga de projeto da (s) turbina (s).

Para o caso de centrais hidrelétricas a fio d'água, a vazão de projeto (Q) a adotar será a vazão com 95% de ocorrência  $Q_{95}$ , estimada pela relação:

$$Q = Q_{95} = C_q Q_{\min}$$

onde:

Q = descarga de projeto (vazão para a determinação da potência a ser instalada)

$Q_{95}$  = vazão do curso d'água com 95% de ocorrência

$Q_{\min}$  = vazão mínima estimada do curso d'água

$C_q$  = coeficiente que dá a relação  $Q_{95}/Q_{\min}$  determinado como se segue.

Para a determinação do coeficiente  $C_q$ , procedeu-se a um estudo estatístico em várias bacias hidrográficas brasileiras. Em 142 postos hidrométricos instalados em 127 rios diferentes, encontrou-se para 2524 dados anuais de observação, os seguintes valores mais frequentes para  $C_q$ :

TABELA 4.1.4/I

Bacia do Rio	Valores Mais Freqüentes de $C_q$
URUGUAI	1,20 a 1,40
IGUAÇÚ	1,10 a 1,30
PARAÍBA DO SUL	1,00 a 1,20
PARANAÍBA	1,00 a 1,20
JEQUITINHONHA	1,00 a 1,20
SÃO FRANCISCO	1,00 a 1,20

Além das bacias apresentadas na citada tabela, também foi estruturada a bacia Atlântico-Norte/Nordeste. Pela não regularidade de vazões, os resultados da análise de 51 rios situados nesta bacia mostraram que a metodologia aqui apresentada não pode ser aplicada aos rios desta região.

Recomenda-se adotar valores médios de  $C_q$  apresentados na TABELA 4.1.4/I. Para os rios perenes da bacia Atlântico-Norte/Nordeste e bacia Amazônica, como não há informações suficientemente confiáveis, o valor  $C_q = 1$  deve ser empregado, o que equivale a tomar para descarga de projeto a vazão mínima  $Q_{\min}$ .

• Avaliação com Base na Curva-Chave Expedita

A vazão de projeto para dimensionamento da potência a ser instalada poderá ser obtida através da extrapolação do nível d'água mínimo observado na curva-chave expedita obtida conforme item 4.1.4.5.

4.1.4.7 Vazões de Projeto da Estrutura Extravasora e de Desvio

As metodologias propostas visam recomendar procedimentos que levem à determinação da vazão de projeto para dimensionamento de estrutura extravasora.

• Caso "com Dados Fluviométricos do Local" - Análise Estatística

Se houver disponibilidade de dados fluviométricos do local da central, proceder-se-á a um tratamento estatístico dos mesmos, objetivando-se obter a vazão de cheia de projeto das estruturas extravasoras.

Considera-se neste Manual, como série suficiente de dados, a que for composta por um mínimo de 10 vazões máximas anuais, de

preferência consecutivas, a serem analisadas estatisticamente por métodos de fácil aplicação, dentre os quais recomenda-se o de Hazen.

A posição de plotagem pode ser dada de acordo com a fórmula:

$$f = \frac{100 (2n_v - 1)}{2y}$$

em que:

f = posição de plotagem da frequência de cada evento, em %;

$n_v$  = número de ordem do evento; e,

y = número de eventos da amostra ou série

Os eventos, no caso, são as máximas anuais que devem ser listadas em ordem decrescente. A elas são associadas, então, as frequências calculadas pela fórmula apresentada. Os pontos evento versus frequência são então plotados em um gráfico, cujo padrão pode ser o do ANEXO 4.1.4/B, aos quais deve ser ajustada uma reta, de tal maneira que haja um equilíbrio entre eles, isto é, deverá haver aproximadamente o mesmo número de pontos abaixo e acima desta reta.

As vazões de cheias poderão ser obtidas diretamente desse gráfico para diferentes tempos de recorrência, tempos esses fixados em função dos riscos que se pretenda assumir. Os riscos podem ser calculados pela fórmula:

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{n_d}$$

em que:

r = probabilidade ou risco de ocorrência, pelo menos u ma vez, da cheia adotada;

T = tempo de recorrência, em anos; e,

$n_d$  = tempo de duração da obra (construção e/ou existência), em anos.

Recomenda-se a adoção dos seguintes valores para tempo de recorrência e riscos, conforme tabela a seguir:



### FREQÜÊNCIA DE CHEIAS - GRÁFICO PADRÃO

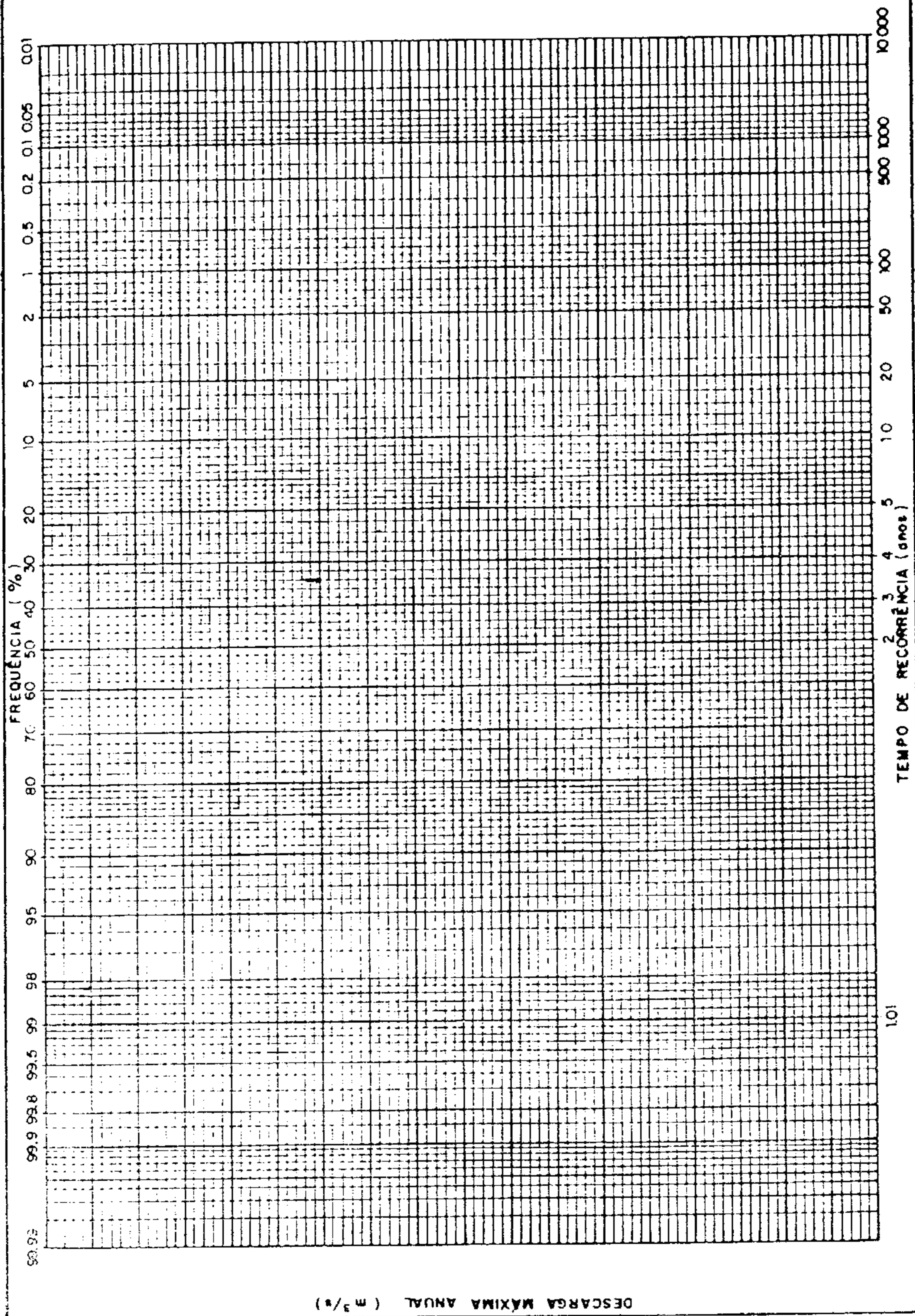


TABELA 4.1.4/II

- Cheia de Desvio do Rio durante a Construção

Tempo de Recorrência T anos	Duração de Obras $n_d$ anos	Risco r %	Caso
10	1	10,0	Geral
10	2	19,0	Geral
25	1	4,0	Perigo de danos sérios a jusante
25	2	7,8	Idem

Obs.: o ideal seria a construção da central em prazo o mais curto possível, como, por exemplo, nos 5 a 7 meses menos chuvosos do ano, eliminando-se assim, quase que totalmente, os riscos de danos.

TABELA 4.1.4/III

- Cheia de Projeto das Estruturas Extravasoras

Tempo de Recorrência T anos	Vida Útil da Central $n_d$ anos	Risco r %	Caso
500	20	3,9	Geral
500	50	9,5	Geral
1.000	20	2,0	Perigo de sérios danos materiais a jusante
1.000	50	4,9	Idem
10.000	20	0,2	Perigo de danos humanos a jusante
10.000	50	0,5	idem
10.000	100	1,0	idem

Obs.: em geral, recomenda-se a adoção do tempo de recorrência de 500 anos para o caso de estruturas galgáveis (de concreto, etc). Em caso diferente (barragem de terra, por exemplo) pode-se admitir um tempo de recorrência maior, ou seja, o de 1.000 anos.

Pelos quadros apresentados pode-se inferir que o enquadramento do projeto em um dos casos apresentados deverá ser feito pelo responsável pela obra, em função especialmente de:

- maior ou menor risco que se queira ou que se possa assumir de destruição, parcial ou total, das obras em execução ou da

própria central já concluída, no caso de ocorrência de vazões superiores às admitidas;

- possibilidades de danos a jusante, tanto humanos como materiais; e,
- avaliação econômica comparativa dos danos e da eventual necessidade de reconstrução, total ou parcial, da central.

Para maior clareza do que foi exposto, apresenta-se a seguir um exemplo completo de uma aplicação a um aproveitamento hidrelétrico em um local próximo a um posto fluviométrico com uma série suficiente de dados, conforme coluna 2 da TABELA 4.1.4/IV).

Inicialmente, como os dados do posto eram de máximas vazões médias diárias, ano a ano, foi feita uma correção desses valores pela fórmula de Fuller:

$$Q_{\max} \text{ instantânea} = Q_{\max} \text{ média diária} \left(1 + \frac{2,66}{A_d^{0,3}}\right)$$

sendo:

$$A_d = 250 \text{ km}^2, \text{ no caso a área de drenagem do posto.}$$

Em seguida, estes dados foram transferidos, por relação de áreas de drenagem, do posto para o local da central, cuja área de drenagem é de 230 km<sup>2</sup>.

$$Q_u = Q_p \times \frac{A_u}{A_p} \text{ ou } Q_u = \frac{230}{250} \times Q_p$$

Estes valores (coluna 3 da TABELA 4.1.4/IV) foram então colocados em ordem decrescente (coluna 6), aos quais foram associadas as frequências, conforme fórmula de Hazen, já citada (coluna 7).

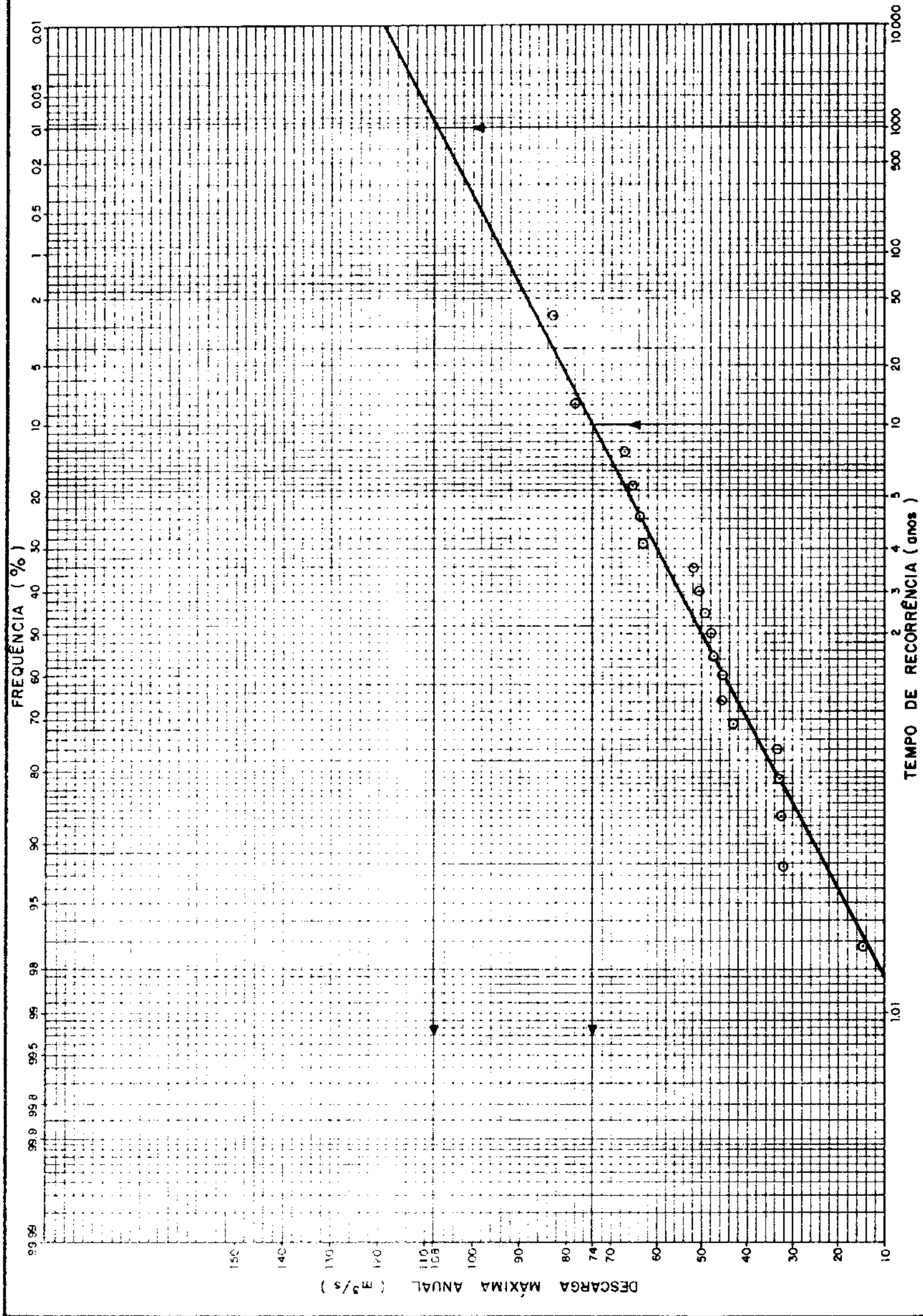
A plotagem destes pontos, vazões versus frequência, no gráfico mostrado no (ANEXO 4.1.4/C) e o ajustamento dos mesmos, por meio de uma reta, representam o produto final para a definição das vazões de cheias a se adotar no projeto.

TABELA 4.1.4/IV  
ESTUDOS DE CHEIAS  
Exemplo de Aplicação da Fórmula de Hazen

ANO (1)	VAZÃO MÁXIMA POSTO m <sup>3</sup> /s (2)	VAZÃO MÁXIMA NA CENTRAL m <sup>3</sup> /s (3)	ANO (4)	ORDEM (5)	VAZÃO MÁXIMA NA CENTRAL m <sup>3</sup> /s (6)	FREQÜEN CIA % (7)
1946	49,0	45,1	1950	1	82,2	2,6
1947	84,2	77,5	1947	2	77,5	7,9
1948	68,5	63,0	1961	3	66,7	13,2
1949	51,7	47,6	1963	4	64,2	18,4
1950	89,4	82,2	1952	5	63,5	23,7
1951	49,0	45,1	1948	6	63,0	28,9
1952	69,0	63,5	1962	7	51,2	34,2
1953	15,1	13,9	1959	8	50,1	39,5
1954	46,0	42,3	1964	9	48,7	44,7
1955	34,0	31,3	1949	10	47,6	50,0
1956	34,7	31,9	1960	11	47,2	55,3
1957	35,3	32,5	1951	12	45,1	60,5
1958	35,0	32,2	1946	13	45,1	65,8
1959	54,5	50,1	1954	14	42,3	71,1
1960	51,3	47,2	1957	15	32,5	76,3
1961	72,5	66,7	1958	16	32,2	81,6
1962	55,6	51,2	1956	17	31,9	86,8
1963	69,8	64,2	1955	18	31,3	92,1
1964	52,9	48,7	1953	19	13,9	97,4

Observação: A plotagem dos pontos (6) e (7) no gráfico de Hazen (ANEXO 4.1.4/C) conduz à definição da reta que soluciona o problema do cálculo das vazões de cheias admissíveis no projeto.

RIO "A" EM LOCAL "B" - FREQUÊNCIA DE CHEIAS



No caso em foco, supondo-se que se tenha admitido 10 anos de tempo de recorrência e um ano de obras, obtém-se a vazão de cheia de desvio do rio durante a construção de 74,0 m<sup>3</sup>/s (ver ANEXO 4.1.4/C). Há, portanto, de acordo com a fórmula de riscos, a probabilidade de 10% de ocorrer, pelo menos uma vez durante o ano de construção, uma vazão superior a esta.

Por outro lado, admitindo-se uma vida útil de 50 anos para a central, um tempo de recorrência de 1.000 anos e um risco de 4,9%, a cheia de projeto das estruturas extravasoras, obtida do gráfico, é de 108,0 m<sup>3</sup>/s.

- Caso "Sem Dados Fluviométricos da Região"- Método Racional

Quando não se dispuser de dados fluviométricos nem do local da central, nem de posto próximo, e até mesmo da região, é recomendada a utilização do Método Racional que é baseado na fórmula:

$$Q_c = 0,278 C_d I A_d$$

onde:

$Q_c$  = descarga de cheia, em m<sup>3</sup>/s;

$C_d$  = coeficiente de deflúvio superficial;

$I$  = intensidade da chuva de projeto, em mm/h;

$A_d$  = área de drenagem, em km<sup>2</sup>

A área de drenagem,  $A_d$ , é conhecida (item 4.1.4.2). O coeficiente de deflúvio  $C_d$ , que representa a relação entre o deflúvio superficial e o deflúvio pluvial correspondente, pode ser avaliado a partir de condições de solo, vegetação, etc., da bacia. A tabela a seguir fornece os valores aproximados de  $C_d$ .

TABELA 4.1.4/V

VALORES DE  $C_d$  PARA USO NA FÓRMULA RACIONAL

Tipo de Solo	COBERTURA DA BACIA		
	Cultivado	Pastagem	Mata
Com alta taxa de infiltração: geralmente arenoso ou encascalhado.	0,20	0,15	0,10
Com média taxa de infiltração; arenoso-argiloso.	0,40	0,35	0,30
Com baixa taxa de infiltração, pesadamente argiloso.	0,50	0,45	0,40

Para a determinação da intensidade da chuva de projeto, faz-se necessário o conhecimento da altura dessa chuva de projeto e da respectiva duração.

A altura de chuva correspondente a um tempo de recorrência pré-fixado pode ser obtida através de um estudo de chuvas intensas onde existam registros pluviográficos de razoável período histórico, ou usando-se extrapolações a partir de publicações tais como: "Chuvas Intensas no Brasil" do Eng<sup>o</sup> Otto Pfafstetter. Neste caso, deve-se utilizar os dados da cidade mais próxima do local onde será implantada a central.

Para obtenção do tempo de duração da chuva ( $t_d$ ) geradora do escoamento pode-se utilizar a observação direta ou métodos indiretos. Este tempo pode ser tomado com certa aproximação como o tempo de concentração da bacia, que é o tempo necessário para a água escoar do ponto mais remoto da bacia para a seção em estudo, e pode ser calculado pela fórmula empírica.

$$t_d = t_c = \left( \frac{0,87 L^3}{H_p} \right)^{0,385}$$

onde:

$t_c$  = tempo de concentração, em horas;

$L$  = comprimento do curso d'água principal, em km;

$H_p$  = diferença de elevação entre o ponto mais alto da bacia e o ponto em estudo, em m.

#### • Avaliação com base na Curva-Chave Expedita

- a vazão de projeto para a estrutura extravasora neste caso corresponderá à vazão máxima observada, extrapolada da curva-chave, conforme item 4.1.4.5.

#### 4.1.4.8 Hidrometria

Para a caracterização da relação cota-descarga do canal de fuga da central, dos hidrogramas e cotogramas de estiagens e cheias, quando houver disponibilidade para tal, deverá ser:

- instalada uma ou mais réguas linimétricas para obtenção dos níveis da água, caso não exista posto fluviométrico no local; e,
- procedida uma série de medições de vazão, para associação com os níveis da água e determinação de uma curva de calibragem.

A execução da instalação da régua e da campanha de medições poderão ser feitas, se necessário, sob a orientação do DNAEE ou da CPRM, entidades que dispõem de Distritos em quase todos os Estados do Brasil.

No caso de impossibilidade de medições de vazão com o auxílio de molinetes, por não se dispor de equipamentos ou por implicar em dispêndio de recursos não disponíveis para a contratação de equipe especializada, a Hidrometria deverá ser feita de forma expedita, como se apresenta no subitem 4.1.4.8.2.

Além disso, deverá ser feito um levantamento topobatimétrico da seção transversal de medição para se poder extrapolar a curva de calibragem até níveis de água de cheias.

#### 4.1.4.8.1 Implantação de um Posto Fluviométrico

Deve-se definir o posto numa seção do rio, de fácil acesso, em trecho retilíneo, cuja variação do leito seja pequena, e às margens estáveis e livres de vegetação. Basicamente deve-se considerar:

- Referência de Nível

Ao se estabelecer um posto fluviométrico, deve-se sempre ter presente que o mesmo vai constituir a fonte de fornecimento de cotas do nível d'água do rio, dados estes que serão utilizados durante muitos anos.



Para que as cotas obtidas possam traduzir ao longo dos anos as variações relativas do regime fluviométrico, torna-se necessário - rio que elas estejam muito bem referidas a planos de referência bem conhecidos. Por esta razão, as RRNN devem ser situadas em locais que possibilitem uma referência para as escalas durante os anos de vida do posto, e devem ser invulneráveis à destruição acidental.

Para que as RRNN desempenhem as funções que delas se espera, os seguintes cuidados devem ser tomados:

- . duas RRNN permanentes deverão ser estabelecidas em cada posto, uma das quais estará acima de qualquer possibilidade de inundação;
- . sempre que possível, as RRNN deverão ser localizadas em afloramentos de rocha ou estruturas sólidas de concreto, como em contro de pontes. Em caso contrário, poderá ser usado um tubo de 60 cm de comprimento, enterrado em concreto, com a extremidade inferior em forma de T;
- . as RRNN deverão ser claramente identificadas.

#### - Escalas Linimétricas

Na instalação das escalas, as seguintes regras gerais devem ser observadas:

- . o "Zero" da escala, sempre que possível, deverá estar abaixo do nível d'água mínimo que possa ocorrer no rio; para se tentar assegurar isto, a extremidade inferior da escala deverá estar tão baixa quanto o nível d'água mais baixo conhecido, e deverá ser numerada com 1 m, para evitar, assim, leituras negativas;
- . um comprimento suficiente de escala deve ser instalado para exceder de 1 m o nível da máxima cheia conhecida;
- . a escala deverá ser instalada em local de águas tranquilas, longe de locais onde haja, seixos ou anormalidades na superfície.

#### - Levantamento de Seção Transversal

A área da seção transversal do curso de água pode ser determinada e desenhada, estendendo-se ao máximo um cabo de aço entre as duas margens, em posição horizontal e perpendicular ao seu leito. Este cabo terá marcas, a distâncias iguais entre si, que determinarão os pontos de medição das profundidades p1, p2, p3, etc., do curso d'água.

Com as distâncias entre os pontos de medição e as profundidades medidas nessas pontos através de hastes ou cabos, pode-se desenhá-la em escala a seção transversal do curso d'água e determinar a sua área através de método gráfico ou numérico, associando-se

cada parte dessa seção a triângulos, retângulos ou trapézios. A soma de todas as áreas parciais é a área da seção.

Essa operação deverá ser feita duas ou três vezes, para maior exatidão e controle, adotando-se a média dos valores obtidos como área da seção transversal.

O processo assim descrito permite a utilização dos resultados nas medições expeditas de descargas com flutuadores.

Para o caso do levantamento topobatimétrico da seção transversal de medição, para a qual se pretende definir a relação cota-descarga do canal de fuga da central, o processo é similar, sendo importante ainda:

- associar o nível da água e as cotas do terreno às leituras da régua instalada; e,
- completar o levantamento para fora da área molhada, por ambas as margens, até os níveis de marcas excepcionais de cheias que podem ser conhecidos a partir de informações de moradores da região.

#### 4.1.4.8.2 Medições de Descarga Líquida

Usualmente, as medições de descarga servem para, conjuntamente com os correspondentes níveis de água, definir a curva-chave do posto fluviométrico. Neste caso utiliza-se, para obtenção da velocidade em pontos de várias verticais, o molinete. Na ocasião da medição das velocidades, são determinadas simultaneamente as subáreas correspondentes, permitindo, desta forma, pela equação da continuidade, calcular a descarga líquida em trânsito naquela seção.

Entre os processos para se medir a descarga de uma vala, córrego, riacho, ou mesmo um pequeno rio, de forma expedita, os mais simples são aqueles realizados por meio de flutuadores ou vertedores.

- Medição com Flutuador (ANEXO 4.1.4/D, Diagrama a)

Escolhe-se um trecho reto do curso d'água cujo leito seja uniforme e onde a água flua serenamente. Mede-se o seu comprimento  $L$  que, se possível, deve ser superior a 10 metros, marcando-se o seu início e o seu fim, o que pode ser feito com duas cordas amarradas em estacas cravadas nas margens e em posição perpendicular ao eixo da vala ou do córrego.

Em seguida coloca-se, a alguns metros a montante do início do trecho escolhido e no meio do leito, um flutuador constituído por uma garrafa fechada e lastrada com água em  $1/3$  do seu volume.

Com cronômetro, determina-se o tempo, em segundos, que o flutuador gasta para percorrer o trecho escolhido para a medição da vazão.

As áreas das seções transversais limitadas pelos níveis d'água e o fundo da vala ou do córrego devem ser determinadas, no mínimo, para os pontos inicial e final do trecho de medição. Se o comprimento desse trecho for longo, aconselha-se determinar as áreas de uma ou mais seções transversais intermediárias.

A descarga  $Q_v$ , em  $m^3/s$ , pode ser calculada pela fórmula:

$$Q_v = \frac{0,8 L \bar{A}}{t}$$

onde:

$L$  = comprimento do trecho medido, entre as duas seções transversais extremas, em m;

$\bar{A}$  = média das áreas das seções transversais levantadas ao longo do terreno, em  $m^2$ ;

$t$  = tempo de percurso do flutuador, em s;

0,8 = coeficiente de correção de velocidade superficial para velocidade média na seção da medição.

- Medição com Vertedor Retangular (ANEXO 4.1.4/D, Diagrama b e c).

O processo de medição com vertedor retangular conduz a resultados mais precisos que o processo de medição com flutuador, embora requeira um pouco mais de trabalho e se limite aos casos em que as condições morfológicas do curso d'água permitam sua realização. Barra-se o curso d'água, a vala, ou o córrego com um painel de tábuas que tenha uma abertura retangular no centro, suficiente para a passagem de toda a água. A largura do vertedor deve ter de metade até dois terços da largura do curso d'água, da vala ou do córrego.

Os cortes da abertura devem ser chanfrados na direção do fluxo d'água, conforme indica o Diagrama c do ANEXO 4.1.4/D. A crista do vertedor deve ser bem nivelada.

Depois de vedadas todas as fendas do painel tampume e firmado o vertedor, crava-se, a montante do mesmo, a uma distância mínima de  $6h_{max.}$ , uma estaca cuja extremidade superior deve ficar no nível em que está a crista do vertedor.

Espera-se que o escoamento da água se faça normalmente, através do vertedor, e mede-se a altura do nível d'água  $h$  sobre o topo da estaca.

Desprezando-se a contração lateral da lâmina de água, a descarga pode ser calculada pela fórmula de Francis:

$$Q_v = 1,84 b h^{3/2}$$

onde:

$Q_v$  = descarga, em  $m^3/s$

$b$  = largura da abertura do vertedor, em m

$h$  = altura do nível da água sobre a crista do vertedor, em m, medida a montante deste, no local onde foi cravada a estaca.

#### 4.1.4.9 Recomendações

Além das recomendações apresentadas em itens anteriores deste subitem, cumpre ainda registrar as seguintes:

- inspeção de campo: no início dos serviços dever-se-á, através de um técnico especializado, levantar todas as informações pertinentes à Hidrologia relativa ao local do aproveitamento, de forma a facilitar a execução dos serviços aqui descritos e, finalmente, permitir a aferição dos resultados dos estudos analíticos;
- casa de máquinas: a definição da cota do piso da casa de máquinas será feita com base na curva representativa das variações de cota versus descarga a jusante, procurando evitar que a casa de máquinas seja inundada durante as cheias.
- transporte sólido: é desejável o conhecimento do regime sedimentológico do rio, por meio de medições diretas ou observações na seção em estudo, a fim de se poder estimar a evolução do assoreamento do reservatório, sua influência a montante e a jusante do local do aproveitamento, e as soluções para redução ou eliminação de efeitos danosos à central;
- qualidade de água: é conveniente que sejam realizadas análises físico-químicas e bacteriológicas da água a ser represada, para que se possa conhecer seus padrões de qualidade e indicar seu uso, se possível, para diversos fins;
- usos múltiplos do aproveitamento: quando as descargas disponíveis forem superiores às necessárias para geração de energia, deve-se estudar a utilização do excesso para outras finalidades como irrigação, abastecimento de água e assim por diante. Igualmente, deverá ser estudada a hipótese de aproveitamento do reservatório para desenvolvimento de piscicultura.

# HIDROMETRIA EXPEDITA

ANEXO

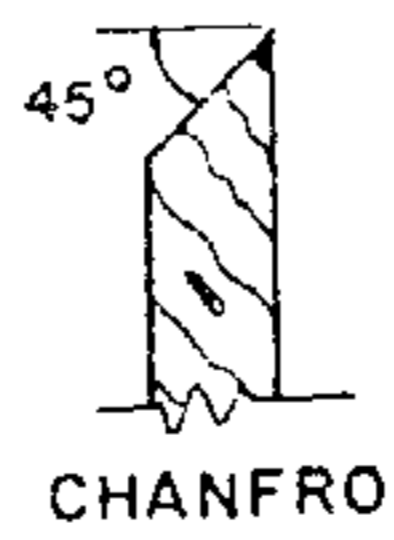
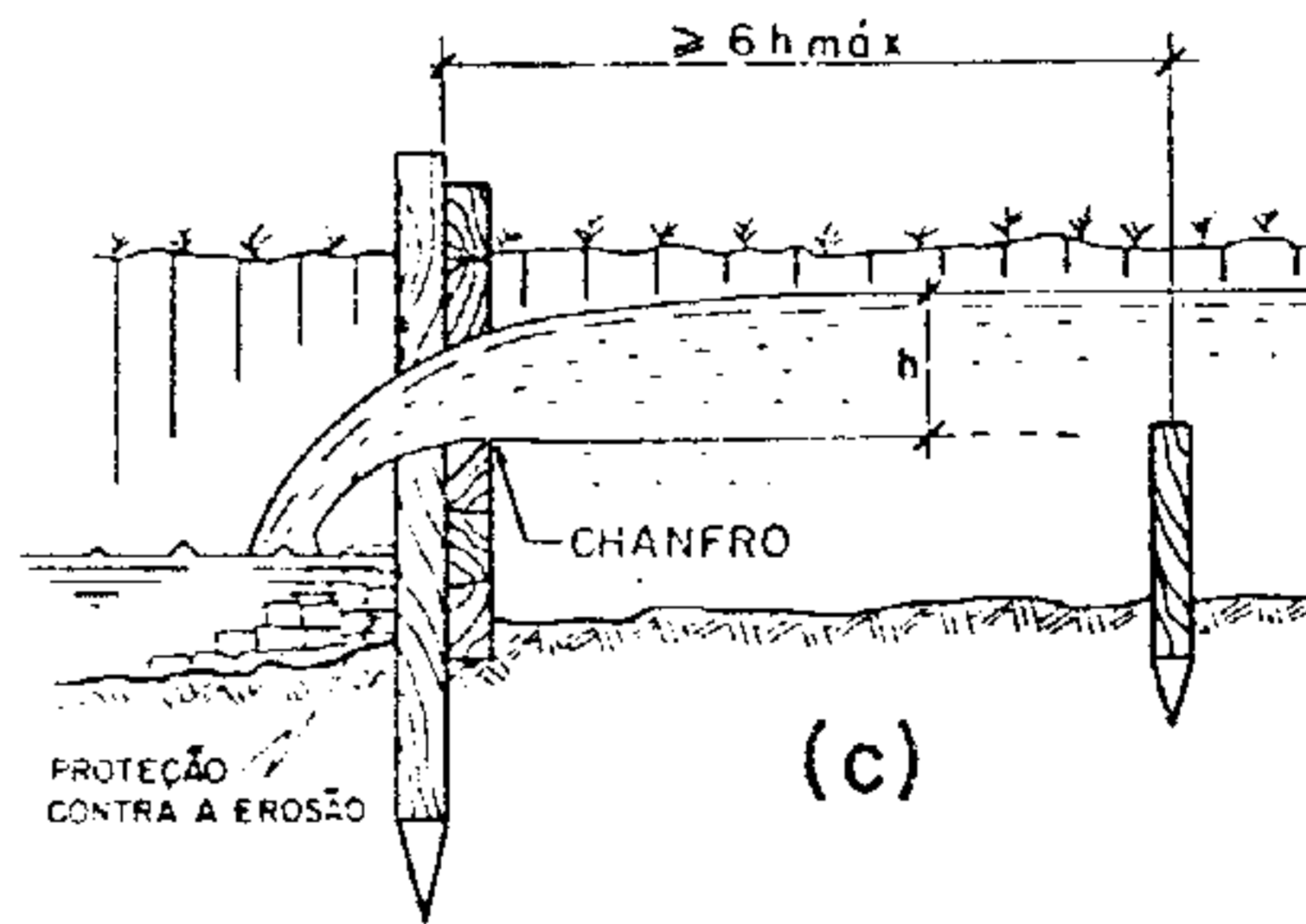
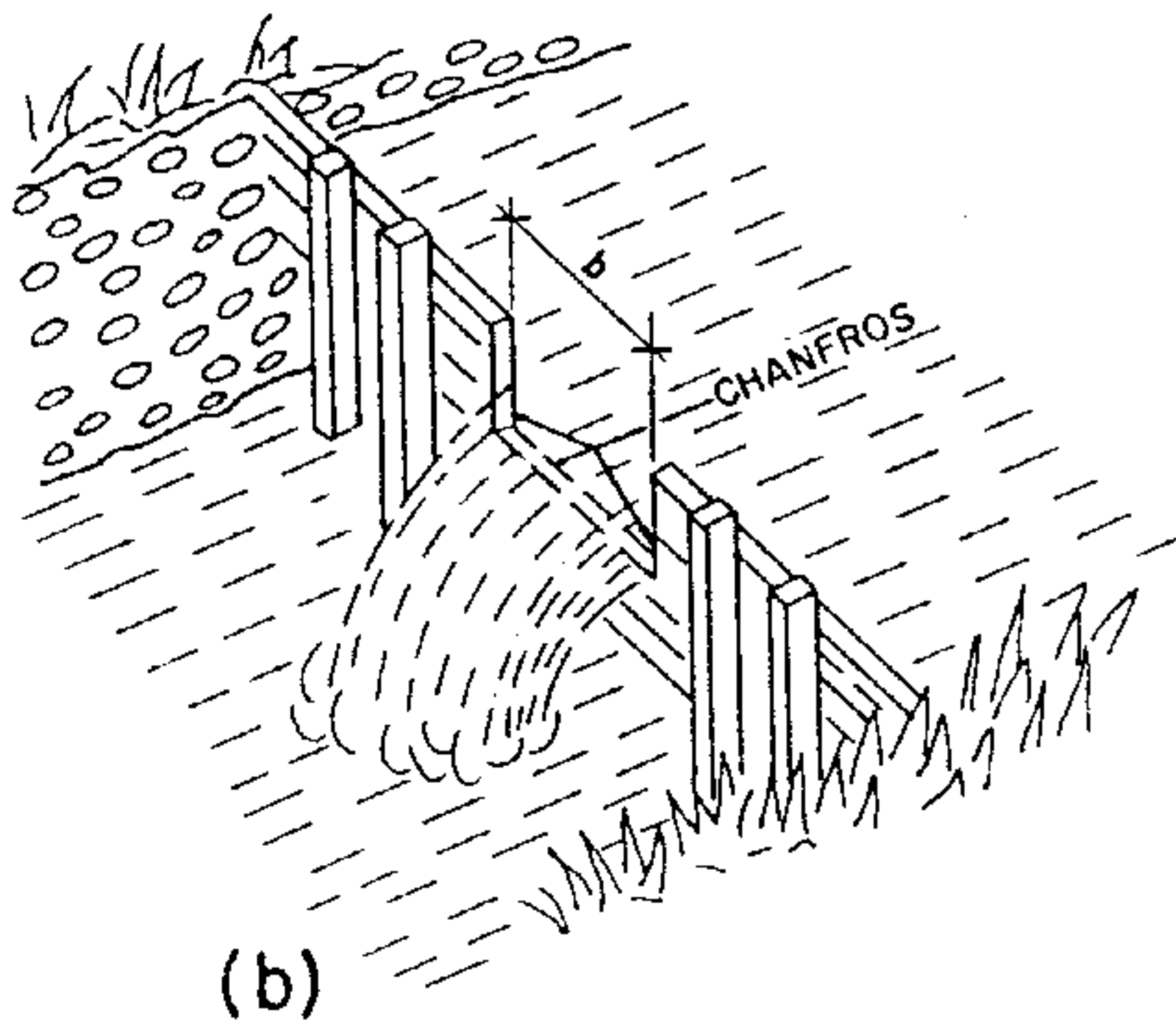
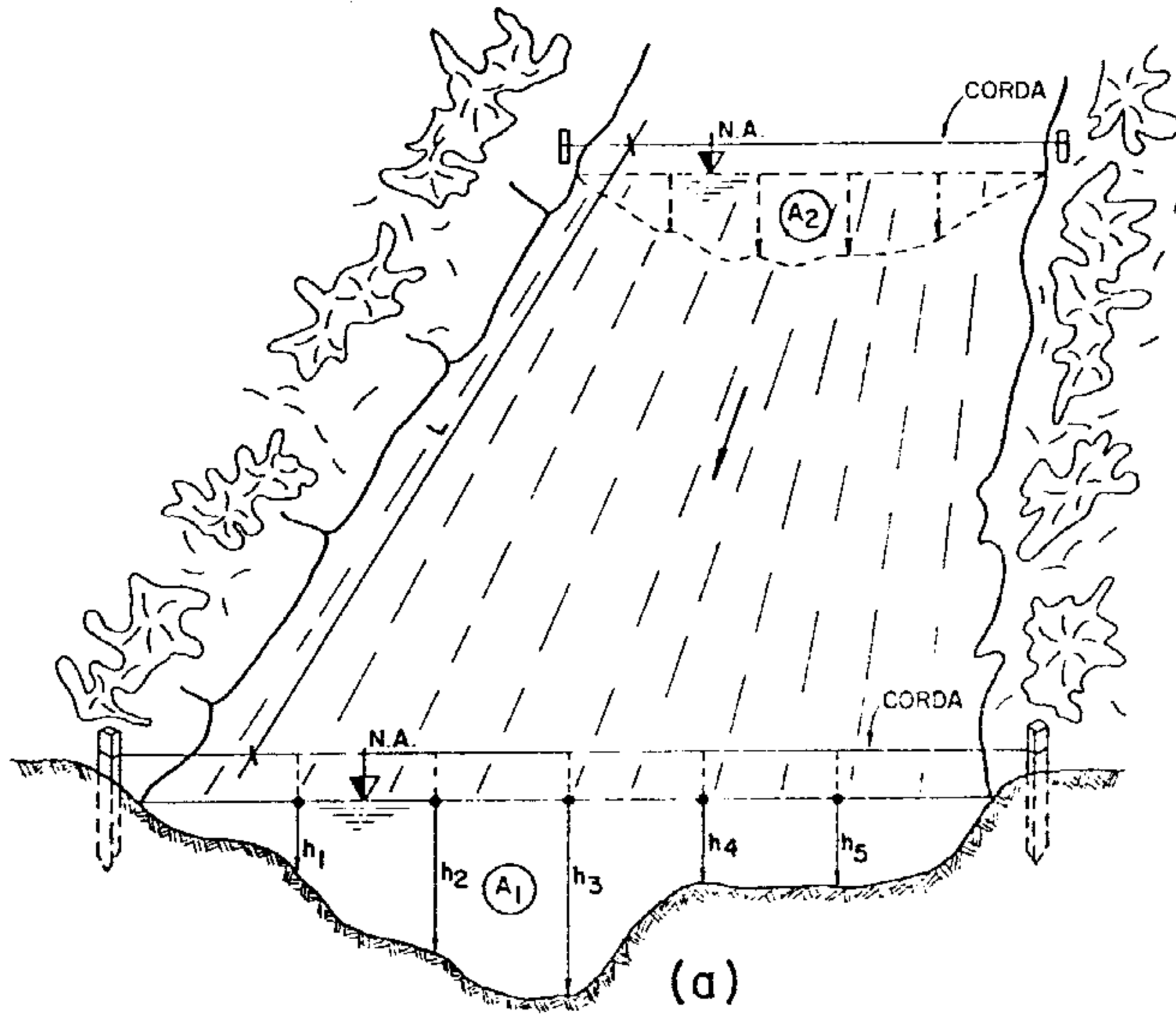


TABELA 4.1.4/VI

VAZÃO DE VERTEDOUROS RETANGULARES SEM  
CONTRAÇÃO LATERAL - EM  $m^3/s$   
FÓRMULA DE FRANCIS

$$Q_v = 1,84 b h^{3/2}$$

h (m)	$Q_v$ ( $m^3/s$ )	h (m)	$Q_v$ ( $m^3/s$ )	h (m)	$Q_v$ ( $m^3/s$ )
0,0100	0,00184	0,0350	0,01205	0,2000	0,16457
0,0110	0,00212	0,0375	0,01336	0,2250	0,19638
0,0120	0,00242	0,0400	0,01472	0,2500	0,23000
0,0130	0,00273	0,0450	0,01756	0,2750	0,26535
0,0140	0,00305	0,0500	0,02057	0,3000	0,30234
0,0150	0,00338	0,0550	0,02373	0,3500	0,38100
0,0160	0,00372	0,0600	0,02704	0,4000	0,46549
0,0170	0,00408	0,0650	0,03049	0,4500	0,55544
0,0180	0,00444	0,0700	0,03408	0,5000	0,65054
0,0190	0,00482	0,0750	0,03779	0,5500	0,75052
0,0200	0,00520	0,0800	0,04163	0,6000	0,85515
0,0220	0,00600	0,0850	0,04560	0,6500	0,96425
0,0240	0,00684	0,0900	0,04968	0,7000	1,07762
0,0260	0,00771	0,1000	0,05819	0,7500	1,19512
0,0280	0,00862	0,1250	0,08132	0,8000	1,31660
0,0300	0,00956	0,1500	0,10689	0,8500	1,44194
0,0325	0,01078	0,1750	0,13470	0,9000	1,57102

OBSERVAÇÃO: TABELA VÁLIDA PARA  $b = 1 m$

#### 4.1.5

#### Tipo e Disposição das Estruturas

Com base no conhecimento dos resultados obtidos através das atividades descritas nos itens anteriores, o projetista já tem condições para imaginar o tipo e posicionamento das estruturas do arranjo geral preliminar do projeto.

As principais atividades para execução desse trabalho são:

- Escolha do tipo de central hidrelétrica, baseada nos tipos mais econômicos apresentados no item 2.
- Escolha dos locais mais adequados para implantação das obras civis e concepção do arranjo geral.
- Escolha dos tipos de barragem e vertedouro mais convenientes e estabelecimento de suas principais dimensões físicas, conforme alternativas apresentadas nos itens 4.2.1.1 e 4.2.1.2.
- Mesmo procedimento quanto às demais estruturas civis, baseado nos tipos e dimensões padronizadas, conforme instruções contidas nos itens 4.2.1.3 a 4.2.1.9, fazendo a verificação da necessidade ou não da instalação da chaminé de equilíbrio, conforme mostra o item 4.2.1.7.1.
- Localização das áreas de jazidas para material de construção e da área para subestação.
- Elaboração da planta geral e dos cortes típicos, preliminares, do aproveitamento.

Notar que neste ponto as estruturas devem ser apenas pré-dimensionadas, em especial as do sistema de adução e geração, pois a descarga de projeto e a potência instalada somente serão calculadas no item 4.1.8 - Estudos Hidrenergéticos, de modo expedito e 4.2.2, de forma definitiva.

Admite-se que na grande maioria dos casos somente se adotará, para o desenvolvimento do projeto, um arranjo geral. Quando, por motivos topográficos e/ou construtivos, houver mais alguma alternativa de arranjo geral que mereça realmente ser desenvolvida, o engenheiro ou técnico encarregado do projeto aplicará, à ambas, os procedimentos dos itens seguintes, deixando a decisão final para ser tomada no item 4.4 - Custos.

Deve-se evitar ao máximo o estudo de várias alternativas de arranjos, para não encarecer os custos de estudos e projetos.

4.1.6 Estudos Sócio-Econômicos e Avaliação do Impacto Ambiental

4.1.6.1 Estudos Sócio-Econômicos

4.1.6.1.1 Introdução

O conhecimento das condições sociais e econômicas vigentes das populações que serão afetadas pela implantação de um aproveitamento hidrelétrico torna-se importante, na medida em que servirá de base para comparações com situações previstas de acontecer após a construção da central, permitindo, ao final, a obtenção do benefício global líquido resultante do confronto entre as situações "com" e "sem" o projeto.

Além do mais, os estudos sócio-econômicos permitirão uma primeira caracterização adequada do mercado pretendido pelo aproveitamento, com a especificação dos usos a serem dados à energia gerada.

De acordo com a natureza desses usos, é possível classificar as centrais segundo as seguintes categorias:

- a) centrais destinadas a um mercado não atendido previamente;
- b) centrais destinadas à substituição de outras fontes geradoras (grupos diesel/elétricos).

Além disso, as centrais classificadas como (a) ou (b) poderão ainda ser:

- c) centrais destinadas principalmente ao atendimento de instalações produtivas isoladas (fazendas, indústrias, etc.) ou
- d) centrais destinadas ao atendimento de núcleos urbanos.

As centrais do grupo (c) requererão estudos sócio-econômicos menos abrangentes, já que a energia a ser gerada terá aplicações limitadas. Portanto, o escopo de trabalho aqui descrito abrange, principalmente, aqueles aproveitamentos destinados ao suprimento de energia a núcleos urbanos.

4.1.6.1.2 Levantamento Sócio-Econômico das Populações Afetadas

Delimitada a área de influência da central, deverão ser levantados os seguintes dados quantitativos da população a ser diretamente afetada:



- População

- . número atual de habitantes da área:
- . evolução do número de habitantes nos últimos anos (crescimento da população);
- . distribuição espacial da população: cálculo da taxa de habitantes/km<sup>2</sup> nas zonas urbanas e rurais.

- Condições Sociais da População

- . atendimento escolar existente na área: número de escolas e número de alunos atendidos, segundo níveis de escolaridade (primário, secundário, profissionalizante, superior, etc.);
- . atendimento médico disponível na área: existência de hospitais, postos de saúde, ambulatórios, etc.
- . principais enfermidades que ocorrem na região: verificação do número de ocorrências das principais moléstias nos últimos anos.

- Condições Econômicas

- . principais atividades econômicas na área: quantificação da produção nos últimos anos segundo setores (agricultura, mineração, indústria, comércio, serviços públicos e privados) e segundo principais produtos e/ou atividades dentro de cada setor;
- . distribuição da população da área, segundo suas atividades econômicas principais: agricultura, mineração, indústria, serviços públicos e privados;
- níveis de rendimento da população, segundo faixas de rendimento bruto familiar mensal médio.

- Condições de Infraestrutura e dos Equipamentos Urbanos

- . rede viária existente na área: principais rodovias, quilometragem da rede (pavimentada, não pavimentada, estradas vicinais);
- . condições gerais de tráfego nas principais vias, segundo épocas do ano. Tráfego médio diário (nº de veículos/dia) nas principais vias;

- . existência e condições de funcionamento de outros meios de transporte existentes: transporte fluvial, condições dos portos ou atracadouros, características das embarcações e importância do fluxo de mercadorias e de passageiros. Transporte ferroviário: extensão das linhas existentes na área, características e importância do fluxo de mercadorias e de passageiros;
- . existência e condições de funcionamento das redes de saneamento básico (água e esgoto) das comunidades afetadas: extensão das redes, número de ligações prediais, qualidade dos serviços, parcela da população atendida, existência de instalações de tratamento;
- . iluminação pública: número de postes existentes nas áreas urbanas, crescimento do número de postes nos últimos anos.

É evidente que o rol de informações sugeridas acima será, por vezes, de difícil quantificação dada a inexistência de estatísticas processadas, ou mesmo de registros formais. Nestes casos será importante que, pelo menos, se trabalhe com ordens de grandezas aproximadas ou mesmo, na total impossibilidade de quantificação, com indicações qualitativas da ocorrência dos fenômenos.

As informações deverão ser apresentadas sob a forma de tabelas e/ou de gráficos, facilitando a visualização geral dos fenômenos. Em casos particulares, para efeito de um maior esclarecimento, deverá haver textos explicativos sucintos dos pontos a serem ressaltados.

Os dados e informações levantados servirão de base para a avaliação descrita no item 4.5 deste Manual, principalmente ao seu item "4.5.5 - Avaliação Social".

#### 4.1.6.2 Avaliação do Impacto Ambiental

##### 4.1.6.2.1 Introdução

Embora o presente Manual se refira a minicentrals hidrelétricas, é indispensável que se tenha uma compreensão nítida das implicações trazidas pela realização do empreendimento sobre o meio ambiente, bem como dos eventuais riscos das alterações ambientais virem a causar prejuízos à central. As análises a serem feitas deverão voltar-se principalmente à definição de medidas de proteção das instalações da central hidrelétrica e do reservatório, e de eliminação de riscos à saúde, especialmente no que se refere a doenças endêmicas.

##### 4.1.6.2.2 Estudo do Impacto Ambiental

Os estados brasileiros contam presentemente com organismos especializados na definição, implementação e fiscalização de medidas de controle ambiental. Tais organismos deverão ser consultados, com vistas à obtenção de orientação para a definição de medidas de controle ambiental a serem adotadas.

Da mesma forma, recomenda-se que sejam consultados os organismos responsáveis pelo controle de doenças endêmicas e prestação de serviços de saúde com atuação na área, especialmente a SUCAM-MS (Superintendência das Campanhas de Saúde), a Fundação SESP e as Secretarias Estadual e Municipal de Saúde.

Em relação à necessidade de procedimentos para a estabilização dos solos, visando a contenção da erosão e do assoreamento do reservatório, e a proteção das instalações da central hidrelétrica, recomenda-se que sejam consultados organismos especializados existentes na região, a exemplo da EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural).

Deverão, inicialmente, ser observados e relatados os seguintes itens:

- 1 - Caracterização das áreas onde serão realizadas as obras de construção das estruturas componentes e eventuais consequências dessas obras;
- 2 - Situação das "áreas de empréstimo", onde serão retirados materiais a serem usados nas obras: localização dessas áreas e consequências previstas da retirada desses materiais;
- 3 - Observação do uso do solo na área da bacia hidrográfica, em termos de uso agrícola, pastagens e florestas, tendo em vista, principalmente, a ocorrência de erosão que possa vir a provocar o assoreamento futuro do reservatório. Recomenda-se verificar se o rio a ser barrado transporta muito material em suspensão, especialmente após períodos de chuva (examinar alterações na coloração da água).

Deverão ser examinados também, os riscos de que a utilização intensa de fertilizantes e defensivos agrícolas em áreas da bacia possa vir a prejudicar a qualidade da água;

- 4 - A existência, na região, de endemias que poderão vir a ser agravadas pela implantação do projeto (consultar organismos da área de saúde);
- 5 - Definição da necessidade de proceder-se ao desmatamento e limpeza, totais ou parciais, da área a ser inundada, para a preservação da qualidade da água do reservatório (consultar organismo estadual ou local de controle ambiental).

Como decorrência dos resultados das observações iniciais, deverão ser definidas as providências a serem adotadas para a adequada proteção do empreendimento e conservação do meio ambiente.

Com relação às situações de saúde na área, deve-se levar em conta que a formação do reservatório poderá favorecer a expansão de endemias vinculadas à água, especialmente a malária, esquistossomose, febre amarela, leptospirose e filariose. Através de consultas a órgãos especializados e entrevistas junto a profissionais de saúde que atuem na região, deverá ser verificada a situação dessas endemias e estabelecidas as providências de controle a serem adotadas.

#### 4.1.6.2.3 Possibilidade de Uso Múltiplo do Reservatório

Deverão ser examinadas as possibilidades de uso múltiplo do reservatório, considerando as seguintes hipóteses:

- 1 - Abastecimento de água;
- 2 - Agricultura de vazante;
- 3 - Agricultura irrigada;
- 4 - Pesca em geral;
- 5 - Piscicultura intensiva.

Caso se preveja o uso do reservatório para fins de abastecimento de água a população e lazer, deverá ser verificado se a água apresenta características adequadas a esses fins (através da coleta e exames de amostras em laboratórios de órgãos especializados). Deverão ser definidas providências para controlar o despejo de esgotos sanitários ou industriais na bacia.

#### 4.1.7 Estudos de Mercado

##### 4.1.7.1 Objetivo e Variáveis Básicas

Avaliar as necessidades dos suprimentos de energia elétrica gerada pelas centrais hidrelétricas e suas prováveis evoluções no tempo.

Como a energia elétrica não pode ser armazenada na sua forma final, é fundamental que tais necessidades sejam definidas através de três variáveis às quais estarão associados os parâmetros básicos do projeto da minicentral.

As três variáveis são: a demanda mínima em kW, a demanda máxima, também em kW, e a energia em kWh que representa a área delimitada pela curva de carga dentro de um dado período medido em horas (dia, mês e ano), conforme indicado na FIGURA 4.1.7/1.

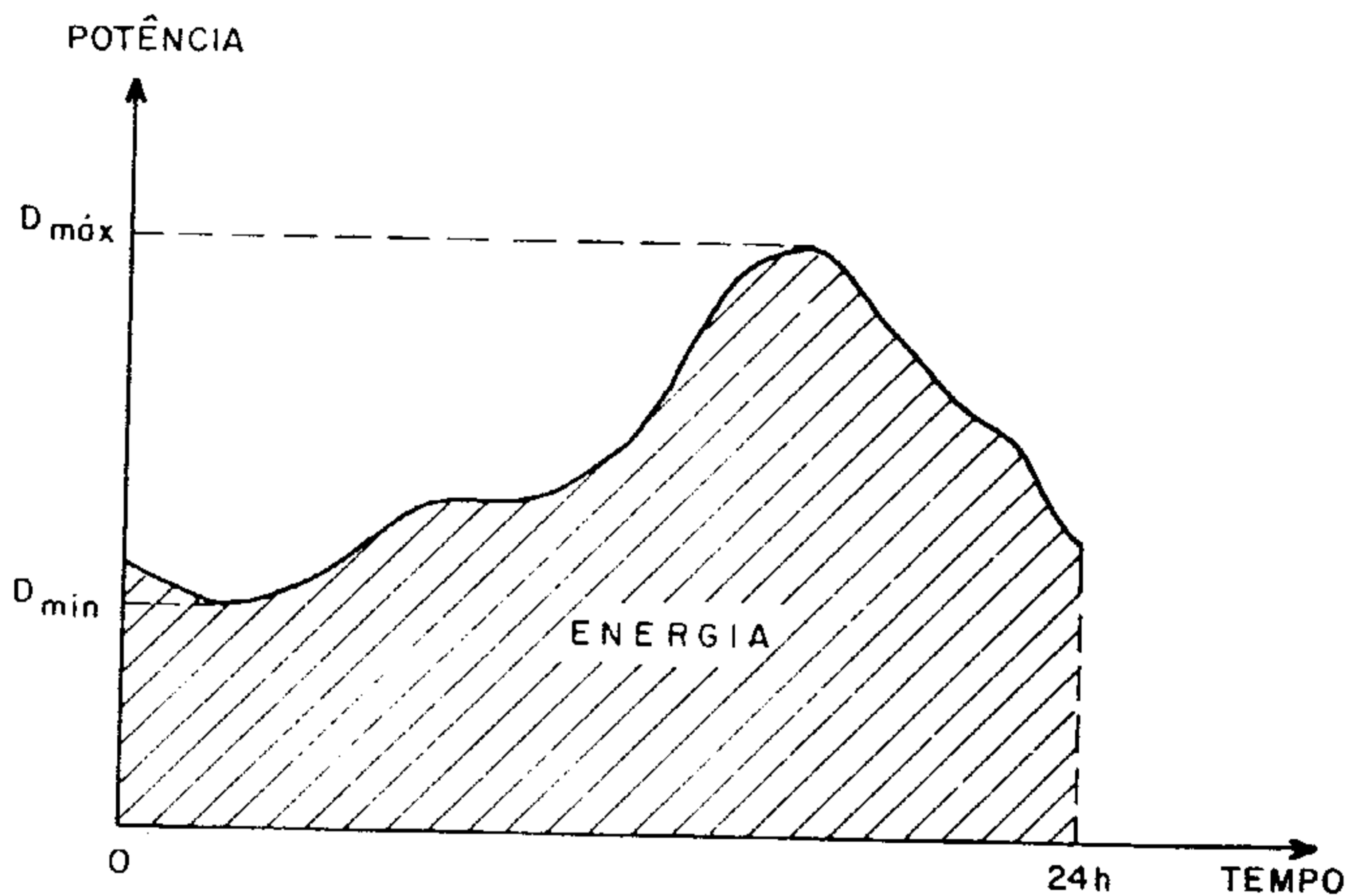


FIGURA 4.1.7/1

- Demanda Máxima

Maior demanda verificada durante um intervalo de tempo especificado.

Esta variável, acrescida das perdas no sistema de transmissão e distribuição, estará associada à potência a instalar na mini central. Se a central for a fio d'água, as demandas máxima

e mínima serão os únicos determinantes para o dimensionamento do projeto e de suas unidades geradoras.

A minicentral deverá ter uma potência instalada capaz de atender a demanda máxima dentro do horizonte considerado.

- Demanda Mínima

Menor demanda verificada durante um intervalo de tempo especificado.

A projeção da demanda mínima será a variável básica para determinação da potência das unidades geradoras. As restrições operativas mínimas das turbinas, por problemas de cavitação, deverão estar compatíveis com as menores solicitações de carga no período considerado.

- Consumo de Energia em kWh

Pode ser medido pela área de curva de carga ao longo do período.

O consumo de energia acrescido das perdas definirá a energia firme ou garantida da minihidrelétrica, constituindo-se num elemento básico para dimensionamento do reservatório, se necessário.

Estas variáveis definem alguns fatores de natureza técnico econômico comumente tratados no setor elétrico, a saber:

- Fator de Demanda ( $F_D$ ): definido como a relação entre a demanda máxima e a carga ligada. É uma quantidade adimensional, dependente da natureza das atividades do consumidor.

$$F_D = \frac{D_{\max}}{N}, \text{ sendo } N = \text{carga instalada}$$

Do ponto de vista da central,  $F_D$  ainda se define da mesma forma. Entretanto, serve para medir o grau de utilização da capacidade instalada da central, ou seja, a intensidade com que o sistema está sendo carregado durante o pico de carga em relação à sua capacidade.

No caso de centrais, este fator também é denominado "Fator de Utilização" ( $F_u$ ), e seu inverso "Fator de Reserva" ( $F_R$ ), já que a diferença entre "N" e "D max" mede a reserva da central.

- Fator de Carga ( $F_c$ ): definido como a relação entre a carga média e a carga máxima, em um determinado período de tempo.

$$F_c = \frac{D_{\text{med}}}{D_{\max}}$$

O fator de carga mede o grau de variação da carga no período de tempo considerado, não dando indicação precisa da forma da curva de carga ou da curva de duração. Sendo assim, curvas de carga distintas podem ter um mesmo fator de carga. A curva de duração ou de permanência é obtida a partir da curva de carga, elevando-se as cargas na ordem crescente sobre o eixo das ordenadas enquanto o das abscissas indica o tempo ou a fração do intervalo considerado em que a carga é igual ou maior do que a indicada.

Dada uma curva de carga, o cálculo de  $F_c$  é feito da seguinte forma: divide-se a área da curva de carga (energia) pelo período total de tempo considerado ( $t$ ), obtendo-se a demanda média ( $D_{med}$ ). Daí, divide-se a demanda média ( $D_{med}$ ) pela demanda máxima ( $D_{max}$ ), obtendo-se  $F_c$ .

$$F_c = \frac{E/t}{D_{max}} = \frac{D_{med}}{D_{max}}$$

Pela transformação da equação acima em:

$$F_c = \frac{E}{D_{max} \times t}$$

nota-se que o fator de carga expressa também a relação entre a produção real (efetiva) de energia e a produção que resultaria se a potência máxima fosse mantida durante todo o período considerado.

O objetivo primordial de quem projeta a implantação ou a operação de uma central é a otimização do fator de carga das instalações, ou seja, a melhor utilização do capital aplicado, já que um baixo fator de carga pode acarretar a inviabilidade do investimento.

#### 4.1.7.2 Importância, Riscos e Horizontes

A projeção do mercado associado a minicentral, conforme explicitado, vai definir o dimensionamento do projeto. Os prazos de construção exigidos desde os estudos preliminares e o volume de investimentos envolvidos indicam que a central não deve ser dimensionada computando-se apenas o mercado existente ou previsto para ser atendido de imediato, mas sim, admitir que ele será suficiente para absorção do crescimento esperado, dentro de um período suficiente para que se defina uma nova fonte.

A superestimação de demanda, e em consequência o superdimensionamento do projeto, vai implicar em investimentos ociosos. A subestimação conduz à demanda reprimida, a solicitações acima das capacidades nominais das unidades e, conseqüentemente, na deterioração da qualidade do fornecimento e envelhecimento precoce dos equipamentos.

Desta forma, uma minihidrelétrica deve ser capaz de atender o mercado projetado até 3 ou 4 anos após o seu início de operação, prazo suficiente para se ter maior segurança sobre o seu impacto no sistema e, conseqüentemente, nas taxas de crescimento da demanda a ele associada e, com isto definir com maior segurança os projetos de expansão.

#### 4.1.7.3 Composição do Mercado

Ao implantar-se uma minicentral hidrelétrica, tem-se como objetivo a melhoria das condições de vida da população a ser atendida. Tal objetivo pode ser atingido de forma direta quando do seu uso final pela família ou, de modo indireto, quando é utilizada como insumo no meio agrícola ou no setor industrial.

Havendo condições favoráveis, a minicentral pode promover o desenvolvimento num nível tal que viabilize num futuro próximo sua integração aos sistemas interligados regionais.

Mesmo em centros já atendidos por unidades que consomem derivados de petróleo, a implantação de minicentral conduz a uma economia que de alguma forma será revestida ao consumidor, além de aumentar a confiabilidade do suprimento e tornar o fornecimento independente das alterações de preço e oferta de fonte primária.

A composição de demanda de energia depende basicamente da atividade econômica do local de instalação. Se no centro atendido predominam as atividades agrícolas, certamente uma parcela de geração estará alocada aos processos de beneficiamento e armazenamento dos produtos. Normalmente, o consumo de energia na agricultura é o que apresenta menores índices por unidade de produto, observando-se um certo crescimento recente à medida em que vem se promovendo um maior nível de mecanização. O mesmo ocorre nas atividades de mineração e extração de recursos naturais.

Em contrapartida, o setor industrial é o que absorve maior quantidade de energia por unidade de produto, dependendo do tipo de indústria suprida e do grau de desenvolvimento da região.

Em ambos os casos, uma parcela da energia elétrica vai se destinar ao consumo residencial e iluminação pública. O seu grau de utilização, com esse objetivo, é função do nível de renda da população, de sua integração com outras áreas mais desenvolvidas no entorno e do preço de oferta de energia elétrica.

Os três usos citados, que mais comumente vão constituir a demanda associada a minicentral, contribuirão de forma diferenciada no crescimento dos requisitos de mercado que se quer projetar e promoverão alterações distintas na forma típica da curva de carga.



O consumo residencial provoca maiores solicitações concentradas nas horas em que a demanda de iluminação pública e iluminação doméstica se sobrepõem aos usos para refrigeração, calefação e lazer.

O consumo industrial tem um comportamento mais bem distribuído ao longo do dia, desde que se promova um gerenciamento mais racional, podendo-se apresentar algumas variações sazonais se estiver associado ao beneficiamento de produtos com períodos de safra e entressafra.

O consumo agrícola pode estar mais concentrado em épocas de necessidade de irrigação, safras ou armazenamento dos produtos, podendo da mesma forma admitir alguma gestão de forma a evitar a superposição de picos de demanda que implique em maiores solicitações de potência instalada e conseqüentemente de investimento.

Das considerações acima, conclui-se que todas essas formas de uso afetam a magnitude e o perfil da curva de carga ao longo do ano, provocando modificações que podem ser divididas em três tipos principais:

- anuais - correspondem aos ciclos sazonais de variação de temperatura e outras variáveis climáticas (duração do dia e horas de chuva e estiagem, etc), de variações de produção (safra e entressafra ou de outras naturezas (férias coletivas, turismo, consumo de bebidas, etc);
- semanais - correspondem ao ciclo da atividade econômica em relação aos dias úteis e fins de semana;
- diárias - variação de demanda que se produzem ao longo do dia, dando origem a curva de carga típica diária.

#### 4.1.7.4 Metodologia de Projeção

Basicamente deve-se enfatizar que a evolução do mercado associado a uma minicentral estará correlacionada com a atividade produtiva principal da localidade, com o nível de renda de população atendida e sua evolução e com o custo, e conseqüentemente, preço de energia produzida.

Alguns modelos de projeção simplesmente se baseiam na análise da evolução histórica do consumo, projetando as taxas encontradas para as previsões futuras. Para uma minicentral hidrelétrica esta metodologia exige que a localidade já esteja suprida de alguma forma e mesmo nestes casos, não deve ser aplicada isoladamente, uma vez que a introdução de central pode provocar mudanças significativas em relação ao comportamento passado, quer pela existência de demanda reprimida, quer por ampliação de uso e alteração em estrutura produtiva.

Outros modelos do tipo condicional relacionam a evolução das variações básicas com outras, denominadas explicativas, cujos valores são conhecidos ou podem ser estimados no tempo, em função do benefício associado à introdução de minicentral, representado pela expectativa de uso de energia elétrica, pelo aumento de renda e pelo volume de investimento futuro.

Nos modelos do tipo condicional, pode-se analisar e projetar o consumo total a partir das projeções setoriais, utilizando-se parâmetros típicos que reflitam a expectativa do nível de consumo por consumidor ou por habitante, agregando-se ainda as cargas maiores que seguramente serão instaladas:

- setor residencial
- iluminação pública
- setor comercial
- setor industrial
- setor agrícola

Esta metodologia implica em se efetuar a priori a caracterização do mercado, a partir de levantamentos efetuados no campo ou dados disponíveis, levando-se aos seguintes procedimentos:

#### 4.1.7.4.1 Caracterização do Mercado

Tanto os mercados já existentes como aqueles sem suprimento de energia elétrica podem ser constituídos por núcleos urbanos ou por unidades produtivas isoladas. Para que possam ser caracterizados e dimensionados, há necessidade de verificar (ou de estimar) as variáveis básicas já definidas a saber:

- . energia requerida (anual) = consumo anual em kWh + perdas
- . demanda máxima (anual)
- . demanda mínima (anual)
- . fator de carga (anual)
- . sazonalidade da demanda
- . curva de carga diária típica
- . número de consumidores (residenciais e total)

Os estudos deverão ser feitos baseados em dados e informações que permitam estabelecer parâmetros básicos tais como: consumo de energia por habitante, consumo de energia por residência, etc, mediante os quais será possível definir-se as características básicas da minicentral.

Na falta de conhecimento desses parâmetros, locais ou regionais, dever-se-á proceder a um levantamento de dados que permitam avaliá-los, segundo o roteiro a seguir:

- pesquisa dos tipos de carga: residencial, iluminação pública, industrial, agropecuária, mineração, etc.;
- levantamento da quantidade e capacidade dos pontos de iluminação e dos aparelhos e equipamentos elétricos, com os seus períodos prováveis de utilização diária;
- o levantamento anterior permitirá estabelecer a curva de carga diária típica do sistema consumidor, indispensável para a determinação da potência a ser instalada e número de unidades no sistema de geração a ser projetado;
- projeção do crescimento anual da carga, para o estabelecimento do valor da potência a ser instalada, em função do prazo de absorção desejável.

#### A) Mercados ainda não atendidos

Neste caso não haverá dados e informações sobre o comportamento do consumo.

Sendo assim, a maneira de estimar estes mercados será mediante uma previsão dos equipamentos que poderão ser utilizados pelos consumidores, principalmente aparelhos eletrodomésticos e máquinas agrícolas, não se devendo esquecer a provável instalação de outros tipos de equipamentos de caráter industrial e comunitário (bombeamento d'água, de esgotos, iluminação pública, etc).

Para estimativas de demanda recomenda-se consultar a uma publicação editada em 1980 pela CESP/ELETROCAMPO, de autoria de René Etienne Caille, intitulada "Aparelhos Elétricos: Potências, Demandas, Consumo e Produções". Neste trabalho encontram-se listados 160 implementos e seus diversos tipos, com os respectivos consumos e demandas de energia, além de indicações pormenorizadas sobre os seus usos e prováveis tempos de utilização (diária, mensal, etc).

A seguir, a título de ilustração, encontram-se exemplificados os procedimentos básicos necessários à determinação do consumo atual de energia em uma pequena comunidade rural.

#### 1 - Consumo Residencial

O consumo residencial pode ser estimado por residência ou por habitante. Como os números de habitantes locais são geralmente sempre conhecidos, apresenta-se a metodologia para a avaliação do consumo por habitante.

##### Características do local

- . pequena cidade do interior do país, onde não há suprimento de energia elétrica por concessionárias;

- . habitantes com pequena renda individual;
- . famílias constituídas (em média) por: um casal, 4 filhos e 1 parente ou empregada (7 pessoas);
- . residências com 1 sala, 3 quartos, 1 cozinha, 1 banheiro e 1 varanda;
- . capacidades dos aparelhos eletrodomésticos conforme os dados colhidos na publicação mencionada acima.

Consumo de luz

Lâmpadas de teto - 7 lâmpadas x 60 W = 420 W

Lâmpadas de mesa - 2 lâmpadas x 100 W = 200 W

Total: 620 W

Período de iluminação 18 às 24 h

Tempo de iluminação 6 h

Fator de utilização 50 %

Consumo diário 50% de 620 W x 6 h = 1860 Wh/dia

= 1,9 kWh/dia

Consumo de Aparelhos Eletrodomésticos

Aparelhos	Quant.	Capac. (W)	Período de Consumo	Tempo de Consumo (h)	Consumo Diário (Wh/dia)
Mãq. de Costura	1	90	20 às 23 h	3	270
Ferro de Engomar	1	500	14 às 16 h	2	1000
Ventilador	1	60	15 às 23 h	8	480
Televisão	1	200	17 às 23 h	6	1200
Rádio	1	50	6 às 18	12	600
Geladeira	1	125	Intermitente	6	<u>750</u>
				Total:	4300

Consumo por Habitante:

Consumo de luz 1860 Wh/dia

Consumo de Aparelhos Eletrodomésticos 4300 Wh/dia

6160 Wh/dia

ou

Consumo diário por residência (consumidor)	6,16 kWh/dia
Consumo diário/habitante (7 moradores)	0,88 kWh/dia
Demanda horária p/habitante	0,037 kW
ou aproximadamente	40 W

## 2 - Iluminação Pública

Para a iluminação pública de uma cidade do interior, pode-se empregar lâmpadas de 125 W para os pontos de luz e um período diário de funcionamento das 18 h às 6 h, isto é, durante 12 horas.

## 3 - Consumo Industrial

Para este tipo de consumo pode-se estimar um período diário de funcionamento dos equipamentos elétricos entre 7 h e 11 h e entre 12 h e 16 h, isto é, dentro do horário normal de 8 horas de trabalho.

## 4 - Consumo em Atividades Agropecuárias, Comércio e Outros Serviços Comunitários

Para esses consumos recomenda-se utilizar os dados de trabalho da CESP/ELETROCAMPO, já citado.

## 5 - Determinação da Curva de Carga Diária Típica

A determinação da curva de carga diária típica é feita conforme ilustra a tabela do ANEXO 4.1.7/B, cujos valores referem-se a um consumo unitário residencial igual ao do exemplo e a uma cidade com 4620 habitantes, 300 pontos de luz de iluminação pública, sem atividades industriais ou agropecuárias.

### Consumo Residencial

Consumo diário total - 4620 hab x 0,88 kWh/dia = 4065,6 kWh/dia  
Número de Residências ou "consumidoras"

$$4062,5 \text{ kWh/dia} \div 6,16 \text{ kWh/dia} = 660$$

Desta forma, os valores unitários para o consumo de luz e aparelhos eletrodomésticos, dados como exemplo, devem ser

multiplicados por 660 e relacionados na tabela de composição da curva de carga diária típica.

#### Iluminação Pública

$$\begin{aligned}\text{Consumo de luz} &= 300 \text{ lâmpadas hora} \times 125 \text{ W} = \\ &= 37500 \text{ Wh} = 37,5 \text{ kWh}\end{aligned}$$

#### Consumos Industrial e Agropecuário

Conforme a hipótese inicial esses consumos são nulos.

#### Cálculo do Fator de Carga

$$\text{Demanda horária média} = \frac{4515,6}{24} = 188,15 \text{ kWh/h}$$

$$\text{Demanda máx. ocorrida às 20 h} = 514,6 \text{ kWh/h}$$

$$\text{Fator de Carga} = \frac{188,15}{514,6} = 0,3656 \text{ ou } 36,56 \%$$

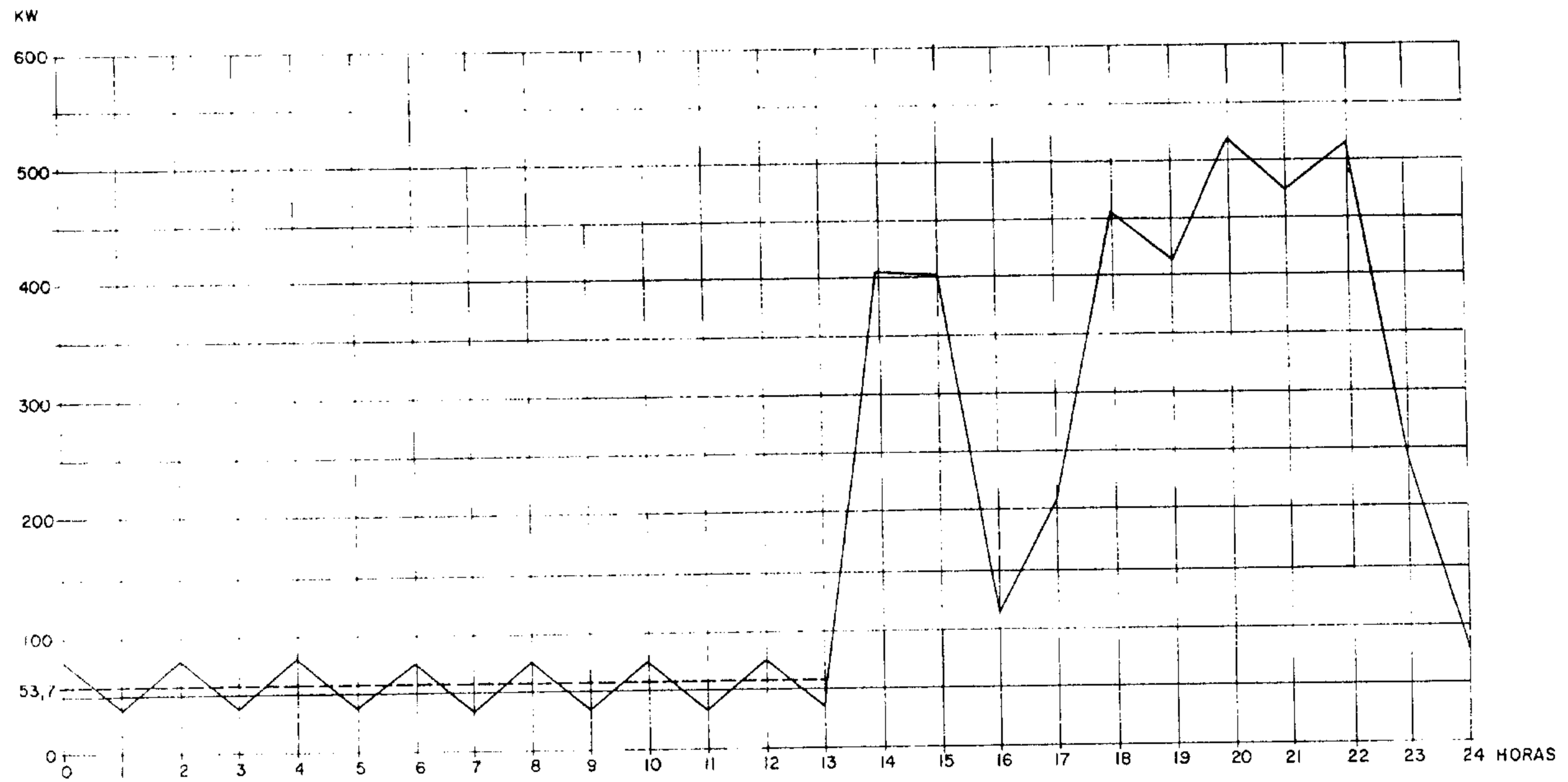
parâmetro indispensável para a determinação da capacidade instalada do sistema de geração que vai suprir a carga do sistema consumidor.

#### Sistemas Consumidores de Carga Variável

Alguns sistemas consumidores, como áreas agrícolas, onde há períodos de safra, quando o consumo de energia elétrica aumenta com o funcionamento dos equipamentos de beneficiamento dos produtos agrícolas, deve-se determinar a curva de carga diária típica para esses períodos e compará-la com a de um período normal de consumo. A curva de carga que exigir a maior potência instalada para o aproveitamento hidrelétrico é a que deve ser adotada como representativa para o sistema consumidor.

TIPOS DE CONSUMO	HORÁRIO E CONSUMO DE ENERGIA EM kW																								TOTAL (kWh/dia)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
CONSUMO RESIDENCIAL:																									
- LÂMPADAS																		204,6	204,6	204,6	204,6	204,6	204,6		1.227,6
- MÁQUINAS DE COSTURA																				59,4	59,4	59,4			178,2
- FERRO DE ENGOMAR														330,0	330,0										660,0
- VENTILADOR															39,6	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6			316,8
- TELEVISÃO																	132,0	132,0	132,0	132,0	132,0	132,0			792,0
- RÁDIO						33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0								396,0
- GELADEIRA (*)		41,0		41,5		41,0		41,5		41,0		41,5		41,0		41,5		41,0		41,5		41,0		41,5	495,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5													37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	450,0
CONSUMO INDUSTRIAL							0	0	0	0		0	0	0	0										0
CONSUMO AGRO-PECUÁRIO							0	0	0	0		0	0	0	0										0
T O T A I S	37,5	78,5	37,5	79,0	37,5	74,0	33,0	74,5	33,0	74,0	33,0	74,5	33,0	404,0	402,6	114,1	204,6	454,7	413,7	514,6	473,1	514,1	242,1	79,0	4.515,6
(*) Para o consumo de geladeira, adotou-se um funcionamento intermitente durante 30 minutos em horas alternadas, o que totalizará um consumo total de 6 horas diárias.																									

CURVA DE CARGA  
(VIDE ANEXO 5.1.7/D)



ANEXO

4.1.7/B



## B) Mercados Já Atendidos

### 1 - Centrais Ligadas ao Sistema

Neste caso é mais provável a existência de séries históricas, muitas vezes dados de faturamento da supridora, que permitem uma análise e extrapolação do mercado consumidor, acrescentando-se uma parcela eventual de demanda reprimida e perspectivas de investimento e melhoria de renda da população.

Quando existirem os dados históricos, deve-se utilizar as metodologias clássicas para obtenção dos valores anuais dos requisitos de energia e ponta.

Pode-se definir três níveis de complexidade para a realização das projeções de consumo:

- . nos mercados de maior porte, projeta-se o consumo por categoria, empregando-se uma das metodologias utilizadas pela ELETROPRÁS ou pelas empresas concessionárias de energia elétrica;
- . nos mercados de porte médio, projeta-se separadamente somente as categorias de maior representatividade (mais de 10% do consumo total) e, de forma agregada, às demais;
- . em mercados de menor porte, pode-se extrapolar diretamente o consumo total.

Para realizar previsões dos requisitos de energia e ponta anuais, deve-se utilizar as séries históricas disponíveis do índice de perdas e de fator de carga, assim definidos:

$$I_p = \frac{E_n - C}{E_n}$$

$$FC = \frac{D_{med}}{D_{max}}$$

$$D_{med} = \frac{E_n}{8760}$$

onde:

$I_p$  = índice de perdas

$E_n$  = energia requerida no ano

$C$  = consumo total no ano

D med = demanda média anual

D max = demanda máxima anual

8760 = número de horas do ano (365 dias x 24 horas/dia)

Quando inexistirem dados de consumo, mas existirem medições de energia e ponta, seus valores deverão ser extrapolados diretamente, o que em mercados maiores, será um indicador precário, porém utilizável.

Nos mercados para os quais existem dados, devem ser verificadas as restrições de suprimento, racionamentos, contenção sistêmica de ponta, etc. Nestes casos deve-se, ou corrigir a série histórica, ou agregar às previsões os valores de energia e ponta não fornecidos, ou, ainda, abandonar os dados históricos e utilizar os mesmos procedimentos dos locais onde não haja dados disponíveis.

## 2 - Substituição ou Complementação do Suprimento por Diesel

Nestes mercados, as características da unidade diesel e as condições de suprimento permitem estimar as necessidades de energia e ponta anuais, mensais e diárias, ou seja, conhecendo-se a potência instalada, a energia fornecida e as restrições porventura impostas ao fornecimento, pode-se calcular as necessidades de energia em dias, meses e anos.

Para extrapolar esta estimativa, pode ser utilizada a evolução verificada no passado ou utilizar métodos semelhantes aos empregados onde não haja ainda suprimento de energia.

### C) Dimensionamento Final do Mercado

Aos valores de consumo e ponta calculados, é necessário acrescentar as perdas.

Para as perdas de distribuição de uma cidade ou mesmo nos circuitos internos de uma fazenda, podemos considerar 5% uma estimativa razoável, tanto para as perdas de energia como para as perdas de ponta.

As perdas de transformação podem ser desprezadas, porém devem ser consideradas as perdas da transmissão porventura existentes entre a central e seu mercado consumidor.

Na transmissão, as perdas de energia e ponta poderão ser estimadas pelas fórmulas:

$$p_p = \frac{L \cdot R \cdot N^2}{V^2}$$

$$p_e = 8760 \cdot \frac{L \cdot R \cdot N^2}{V^2} \cdot F_p$$

onde:

$p_p$  = perdas de potência, em kW

$p_e$  = perdas de energia, em kWh

L = comprimento da linha, em km

R = resistência do condutor, em  $\Omega/m$

N = demanda máxima anual, em MVA

V = tensão, em kV

$F_p$  = fator de perdas, sendo:

$$F_p = 0,2 FC + 0,8 \cdot FC^2$$

FC = fator de carga anual unitário

Uma vez obtidos os valores anuais da demanda de energia elétrica é importante verificar se o mercado a ser atendido possui características fortemente sazonais. Unidades produtivas rurais isoladas ou núcleos urbanos, cuja base econômica é a produção rural, têm maior probabilidade de possuir mercados com características sazonais.

Existindo dados mensais de energia requerida pelo mercado, pode-se calcular facilmente a sazonalidade, adotando o seguinte critério:

- . retira-se o crescimento do mercado de cada ano;
- . calcula-se os coeficientes de sazonalidade para cada ano;
- . obtêm-se a sazonalidade, adotando a média dos valores calculados;
- . estima-se a sazonalidade futura, verificando se há previsão de alguma carga que modifique significativamente a sazonalidade verificada, agregando esta carga e recalculando a sazonalidade; exemplos desta situação são a entrada de uma usi-

na de açúcar num mercado com fraca sazonalidade, ou de uma indústria trabalhando praticamente a plena carga todo o ano em um mercado fortemente sazonal.

Na maioria das vezes, entretanto, será mais fácil calcular a sazonalidade diretamente a partir das características de utilização dos equipamentos existentes.

Nos mercados já supridos por energia elétrica, talvez seja possível levantar a curva de carga diária através dos registros de medições realizadas em pontos de alimentação do mercado ou junto à sua fonte de suprimento. As medições utilizadas poderão ter intervalos de tempo menores que uma hora, porém é preferível utilizar uma curva de carga traçada a partir das médias horárias para facilitar sua análise e, quando necessário, extrapolação.

Habitualmente, entretanto, não existirão medições e ter-se-á que realizar estimativas que permitirão compor a curva de carga do mercado em estudo.

Os estudos hidrenergéticos têm como objetivo principal a determinação da potência que o local do aproveitamento permite instalar. Para isso, há a necessidade da determinação dos parâmetros básicos, descarga e queda de projeto, bem como dos rendimentos da turbina e do gerador.

#### 4.1.8.1 Determinação Expedita da Queda de Projeto

A queda de projeto é a "queda líquida", isto é, a queda bruta deduzida da perda de carga total no sistema de adução, desde a entrada da tomada d'água até a entrada da turbina.

$$H_L = H - h_t$$

sendo:

$H_L$  = queda de projeto ou queda líquida, em m

$H$  = queda bruta, em m

$h_t$  = perda de carga total no sistema de adução, em m

A queda bruta é a diferença entre a cota do nível d'água máximo normal no reservatório e a cota do nível d'água normal no canal de fuga. É, portanto, o somatório do desnível natural no local do aproveitamento e o desnível criado pela altura da barragem. O primeiro pode ser determinado conforme a exposição feita no item 4.1.2 - Estudos Topográficos e o segundo, de acordo com a altura projetada para a barragem, no item 4.1.5. Dois métodos podem ser usados para o cálculo da perda de carga no sistema de adução:

- Método Expedito - geralmente empregado nos primeiros estudos de avaliação do potencial do local do aproveitamento.
- Método Clássico - baseado nas teorias desenvolvidas para os estudos hidráulicos de escoamento dos fluídos e, por apresentar resultados mais precisos, é empregado para o projeto definitivo do aproveitamento, após o conhecimento do dimensionamento definitivo das obras civis do sistema de adução, conforme está apresentado no item 4.2.1 - Obras Civis.

#### Método Expedito:

- Para os projetos em que a casa de máquinas fica situada distante de até 80 m, em planta, da tomada d'água, pode-se adotar como valor da perda de carga total o correspondente a 3% da queda bruta.

$$H_L = H - 0,03 H = 0,97 H$$

- Para os projetos em que tal distância estiver compreendida entre 80 m e 320 m, adotar como valor da perda de carga total 4% da queda bruta.

$$H_L = H - 0,04 H = 0,96 H$$

- Para o caso de distância compreendida entre 320 m e 800 m, considerar a perda de carga total como sendo 5% da queda bruta.

$$H_L = H - 0,05 H = 0,95 H$$

- Finalmente, para os projetos em que a casa de máquinas esteja localizada a mais de 800 m, em planta, da tomada d'água, é recomendável que as perdas de carga sejam calculadas pelo método clássico.

#### 4.1.8.2 Determinação da Descarga de Projeto

Com o conhecimento da descarga firme, determinada através do item 4.1.4 - Estudos Hidrológicos, e da queda líquida, calculada de forma expedita no item 4.1.8.1 anterior, pode-se decidir sobre a descarga de projeto, tendo em vista os parâmetros do mercado consumidor, em especial curva de carga típica e potência necessária, determinados no item 4.1.7 - Estudos de Mercado.

Essa descarga de projeto vai depender não apenas da disponibilidade do curso d'água como da possibilidade ou não, por questões topográficas e/ou construtivas, de se fazer uma regularização diária de vazões. Dependerá, também, do nível de motorização mais adequado, tendo em vista os citados parâmetros de mercado. Finalmente, dependerá do fato de haver ou não possibilidade e/ou conveniência da Minicentral ser integrada a um sistema existente.

#### 4.1.8.2.1 Suprimento de Energia a Um Sistema Isolado

A descarga necessária para gerar a potência requerida pelo mercado consumidor é obtida através da seguinte fórmula:

$$Q_n = \frac{P_R}{7,16H_L}$$

onde:

$Q_n$  = descarga necessária, em  $m^3/s$

$P_R$  = potência requerida pelo mercado consumidor, em kW

$H_L$  = queda líquida, em m

Se o valor de  $Q_n$  for igual ou inferior à descarga firme  $Q_f$ , do curso d'água, isto é, à descarga diária de 95% de duração ( $Q_{95}$ ), a central será a fio d'água e a descarga natural excedente verterá sobre as estruturas projetadas para tal. Nesse caso o potencial do local não será totalmente aproveitado e:

$$Q = Q_n$$

onde:

$Q$  = descarga de projeto, em  $m^3/s$

Quando a descarga necessária for superior à descarga firme  $Q_f$  do curso d'água, pode-se recorrer à contribuição do reservatório sob a forma de um incremento de descarga  $\Delta Q$ , resultado da capacidade de regularização do mesmo, o que, para pequenos reservatórios como os considerados neste Manual, é geralmente pequena e feita apenas durante um período diário.

Com a finalidade de evitar novos custos com serviços topográficos, pode-se adotar um método expedito para o cálculo do volume desses pequenos reservatórios de compensação, estimando-o pela seguinte fórmula:

$$V = \frac{A_b \cdot L}{3}$$

onde:

$V$  = volume do reservatório, em  $m^3$

$A_b$  = área da seção molhada no local da barragem, em  $m^2$

$L$  = comprimento do reservatório, em m.

Notar que tanto  $A_b$  quanto  $L$  foram determinados no item 4.1.2.1- "Levantamentos Topográficos Expeditos."

Deve-se adotar inicialmente o volume de regularização como sendo:

$$V_r = \frac{1}{3} V = \frac{A_b \cdot l}{9}$$

onde:

$$V_r = \text{volume de regularização, em m}^3.$$

Neste ponto deve-se-ã verificar se hã condições topográficas e/ou construtivas que permitam elevar a altura da barragem, do valor correspondente ã depleção; se a barragem já estiver no limite, então deve-se-ã verificar se é significativa a perda de queda correspondente ã depleção.

Desta forma o incremento de descarga regularizada diariamente será:

$$\Delta Q = \frac{V_r}{86400}$$

onde:

$$\Delta Q = \text{incremento de descarga regularizada, em m}^3/\text{s}.$$

Uma vez que o regime de variação das descargas naturais permita reencher diariamente o volume de depleção, deve-se-ã adotar o retro referido volume de regularização como válido; caso contrário, o valor de  $V_r$  deverá ser diminuído.

$$\text{Se } Q_r = Q_f + \Delta Q \geq Q_n$$

a descarga regularizada atende ã descarga necessária e:

$$Q = Q_n$$

Quando a descarga necessária  $Q_n$  for superior ã regularizada  $Q_r$ , deve-se-ã adotar a relação:

$$Q = 2 Q_r = 2 (Q_f + \Delta Q) \leq Q_{med}$$

onde:

$$Q_{med} = \text{descarga média diária, em m}^3/\text{s}.$$

Portanto, quando for o caso de substituição de diesel, no período referente a descargas inferiores a  $Q$ , o mercado deverá ser suprido pelas unidades termelétricas já existentes. Caso não exista substituição térmica deve-se assumir o déficit parcial naquele período.



Nos itens 4.5.3 e 4.5.4 - Avaliação Econômico-Financeira, adiante, deve-se considerar a economia de combustível decorrente da motorização acima da potência correspondente a  $Q_r$ , para isso utilizando a permanência da potência correspondente à descarga  $Q = 2 Q_r$ , de projeto.

#### 4.1.8.3 Determinação Expedita da Potência do Aproveitamento

Com o conhecimento dos valores da queda e descarga de projeto, obtidos através dos itens 4.1.8.1 e 4.1.8.2, pode-se avaliar, em forma preliminar, a potência instalada do aproveitamento hidrelétrico em estudo, empregando-se a seguinte fórmula:

$$P = 7,16 Q \cdot H_L$$

onde:

$P$  = potência instalada do aproveitamento, em kW

$Q$  = descarga de projeto, em  $m^3/s$

$H_L$  = queda de projeto ou queda líquida, em m.

O cálculo definitivo da potência instalada está apresentado no item 4.2.2.2, após a determinação com mais precisão da queda de projeto, obtida através do cálculo das perdas de carga com os métodos clássicos, conforme apresentado no item 4.2.2.1.

#### 4.1.9

#### Estimativa Preliminar de Custo

##### a) Objetivo

O procedimento recomendado neste item tem por objetivo a apresentar uma metodologia para determinação do valor aproximado de investimento necessário à implantação da mini-central. Trata-se de avaliação inicial apenas para subsidiar a decisão a ser tomada pelo proprietário quanto ao prosseguimento ou não no detalhamento do projeto. Portanto, o resultado obtido nesta avaliação inicial não servirá para eventual legalização ou solicitação de concessão do aproveitamento perante Órgão Público.

##### b) Parâmetros

A metodologia pressupõe o conhecimento dos seguintes parâmetros definidores das principais características do aproveitamento.

- altura de queda disponível, em m;
- potência a ser instalada, em kW;
- arranjo preliminar;
- comprimento da crista e altura máxima, em m, e tipo de barragem/vertedouro;
- comprimento da tubulação forçada, em m;
- extensão da linha de alimentação, em m;
- localização da central - distância aproximada da fábrica de equipamentos eletromecânicos até o local do aproveitamento, em km.

##### c) Metodologia

A Estimativa Preliminar de custo deverá ser elaborada preenchendo-se a Planilha para Estimativa Preliminar de Custo, com auxílio das tabelas apresentadas.

As TABELAS contêm as seguintes informações:

TABELA 4.1.9/II - Custo da Casa de Máquina, em milhões de Cr\$ (referido a Novembro/1984). O custo de obras civis é fornecido em função da Potência Instalada, em kW, e Altura de Queda Disponível, em m.

Os valores constantes dessa tabela foram avaliados levando em conta o padrão recomendado neste manual, e serviços executados por construtores contratados para esse fim. Caso haja possibilidade de execução da casa de máquina em madeira ou em taipa, ou com reaproveitamento

de materiais de edificações já existentes, ou ainda aproveitando a ociosidade de mão-de-obra e equipamentos disponíveis para outras tarefas, etc., deve-se levar devidamente em conta essas hipóteses, adotando-se, conseqüentemente, custos reduzidos em relação aos valores apresentados na Tabela.

TABELA 4.1.9/III - Custo de Equipamentos, em milhões de Cr\$ (excl. transporte).

O custo é fornecido em função da Potência Instalada e Altura de Queda Disponível.

Na mesma tabela há a indicação do acréscimo de custo devido a transporte, que é dada em função da distância entre o centro fornecedor de equipamentos (fábrica) e o local do aproveitamento.

Os valores constantes dessa tabela incluem turbina, regulador de velocidade, transmissão, comporta, válvula bornoleta, volante de inércia, curva de sucção, tubo de sucção, grade, gerador e quadro de comando.

Quando o projeto admitir simplificações como a não utilização do regulador automático de velocidade, ou a substituição de comportas metálicas por pranchões de madeira, o custo global dos equipamentos poderá sofrer redução significativa. Nesta hipótese, cada caso deverá ser analisado em particular e deverão ser adotados valores adequados para o projeto.

TABELA 4.1.9/IV - Custo de Tubulação Forçada, em mil Cr\$/m (excl. transporte).

O custo unitário é fornecido em função da Potência Instalada e Altura de Queda Disponível.

Consta nesta mesma tabela o percentual de acréscimo de custo em função da distância de transporte da fábrica ao local do aproveitamento.

O custo apresentado na tabela refere-se a tubulação metálica especialmente adquirida para o projeto, como indicado neste manual.

Caso haja a possibilidade de reduzir o custo, reaproveitando-se material já utilizado para outras finalidades, ou adotando-se outros tipos de materiais

(PVC, etc.), tal fato deverá ser devidamente analisado e levado em consideração na Estimativa Inicial do Custo.

TABELA 4.1.9/V - Custo de Barragem/Vertedouro, em mil Cr\$/m (ref. Novembro/1984).

O custo é fornecido para 2 tipos de barragem (alvenaria de pedra argamassada e concreto), em função da altura de estrutura, em m.

Alerta-se que, para efeito de elaboração desta ESTIMATIVA PRELIMINAR DE CUSTO foi admitido que, caso se adote barragem de terra e canal extravasor, as obras terão dimensões reduzidas e, portanto, sem valor de investimento significativo. Caso essas obras e os serviços necessários para o desvio do rio sejam de grandes volumes, os custos dessas obras e serviços deverão ser avaliados e incluídos na Estimativa.

Da mesma forma, caso os locais de implantação das diversas estruturas e reservatório não sejam de propriedade do interessado, deverá incluir custos de aquisição de terras na ESTIMATIVA.

Apresentadas, a seguir, a PLANILHA e as TABELAS necessárias para elaboração da ESTIMATIVA PRELIMINAR DO CUSTO.

TABELA 4.1.9/I

PLANILHA PARA ESTIMATIVA PRELIMINAR DE CUSTO DA MINICENTRAL HIDRELÉTRICA				
NOME DO APROVEITAMENTO:			LOCALIZAÇÃO:	
CARACTERÍSTICAS DA CENTRAL:			DISTRITO :	
POTÊNCIA NECESSÁRIA: kW; ALTURA DE QUEDA: m			MUNICÍPIO :	
BARRAGEM/VERTEDOIRO: Material: Comprimento da Crista: m : Altura máxima: m			ESTADO :	
CONDUTO FORÇADO - Extensão: m			DATA :	
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	QUANTIDADE UNIDADE	C U S T O	
			UNITÁRIO	TOTAL Milhões Cr\$
1	CASA DE MÁQUINA			
	Obras Cíveis - V.TABELA 1	global		
	Equipamentos - Aquisição e Montagem - V. TABELA 2	global		
	Custo de Transporte de Equipamentos	%		
2	TUBULAÇÃO FORÇADA			
	Tubulação - Aquisição e Montagem - V. TABELA 3	m	Cr\$ /m	
	Custo de Transporte de Tubos	%		
	Obras Cíveis - tomada, câmara de carga, blocos de apoio, ancoragem, etc. (% do custo da Tubulação)	20%		
3	BARRAGEM/VERTEDOIRO			
	Alternativa em concreto (V. TABELA 3)	m	Cr\$ /m	
	Alternativa em pedra argamassada (V. TABELA 3)	m	Cr\$ /m	
4	LINHA DE ALIMENTAÇÃO	m	Cr\$ 10.000 /m	
5	SUBTOTAL			
	Eventuais, Estudos, Projeto, etc. (% do SUBTOTAL)	20%		
6	CUSTO TOTAL (referido a Novembro/1984)	global		
	CUSTO TOTAL em ORTN de novembro/1984 (Cr\$ 20.118,71)	global		

TABELA 4.1.9/II

## CUSTO DA CASA DE MÁQUINA, EM MILHÕES DE CRUZEIROS

H (m)	POTÊNCIA INSTALADA - em kW								
	150	300	400	500	600	700	800	900	1000
7	40	98	150	205	280	364	-	-	-
10	29	66	92	129	167	215	271	322	-
15	23	44	61	81	105	131	160	183	217
20	20	33	44	57	72	88	106	132	154
25	15	26	33	44	54	67	78	95	107
30	13	21	30	37	45	54	63	73	84
35	13	21	26	30	38	45	54	63	74
40	13	18	23	27	34	41	46	54	64

TABELA 4.1.9/III

## CUSTO DE EQUIPAMENTOS, EM MILHÕES DE CRUZEIROS

H (m)	POTÊNCIA INSTALADA - em kW								
	150	300	400	500	600	700	800	900	1000
7	178	325	418	508	595	680	-	-	-
10	157	287	369	448	525	601	675	748	-
15	137	250	321	389	456	522	586	649	711
20	123	225	289	351	411	470	528	585	642
25	114	208	268	325	381	436	489	542	594
30	107	196	251	305	357	409	459	508	557
35	101	185	238	289	339	387	435	482	528
40	97	177	227	276	323	370	415	460	504

CUSTO DE TRANSPORTE DE EQUIPAMENTOS

- Para distância de 500 km, adotar 4% dos valores acima.
- Para distância de 1000 km, adotar 8% dos valores acima.
- Para distância de 2000 km, adotar 16% dos valores acima.
- Para distância de 3000 km, adotar 24% dos valores acima.
- Para valores intermediários, adotar o percentual a ser obtido por interpolação.

TABELA 4.1.9/IV  
CUSTO DE TUBULAÇÃO FORÇADA, EM MIL Cr\$/m

H (m)	POTÊNCIA INSTALADA - em kW								
	150	300	400	500	600	700	800	900	1000
7	1.031	1.387	1.569	1.726	1.867	1.994	-	-	-
10	840	1.130	1.278	1.406	1.521	1.625	1.720	1.809	-
15	667	898	1.016	1.118	1.209	1.291	1.367	1.438	1.504
20	567	763	863	950	1.027	1.097	1.162	1.222	1.278
25	498	670	758	834	902	964	1.021	1.073	1.123
30	448	603	682	750	811	867	918	965	1.010
35	410	552	625	687	743	794	841	884	925
40	379	510	577	635	687	733	777	817	855

CUSTO DE TRANSPORTE DE TUBO DE AÇO

- Para distância de 500 km, adotar 8% dos valores acima.
- Para distância de 1.000 km, adotar 10% dos valores acima.
- Para distância de 2.000 km, adotar 32% dos valores acima.
- Para distância de 3.000 km, adotar 48% dos valores acima.
- Para valores intermediários, adotar o percentual a ser obtido por interpolação.

TABELA 4.1.9/V  
CUSTO DE BARRAGEM/VERTEDOURO, EM MIL CR\$/m

ALTURA DA BARRAGEM (m)	ALVENARIA DE PEDRA ARGAMASSADA	ESTRUTURA DE CONCRETO
1,20		420
1,50	270	
1,85		505
2,00	316	530
2,50	370	641
3,00	430	775
3,50	534	902
4,00	644	1.051
4,50	830	1.209

## 4.2 PROJETO E ASPECTOS CONSTRUTIVOS

### 4.2.1 Obras Cíveis

#### 4.2.1.1. Barragem

##### Função da Estrutura

A barragem é a estrutura componente do aproveitamento destinada a criar um desnível hidráulico localizado. Assim sendo, a barragem deve elevar o nível das águas do rio, permitindo o afogamento da tomada d'água. No caso de minicentrals, a altura da barragem prevista é da ordem de 5 metros.

A barragem tem altura reduzida e geralmente é construída em trechos encachoeirados do rio, onde já existe uma variação de cotas de fundo entre o início e o final do trecho, que permite o aproveitamento da queda natural para produzir a energia desejada. O tipo da barragem deve ser escolhido em função das características dos materiais disponíveis e levando-se em conta o balanceamento dos mesmos no aproveitamento integrado de todas as obras.

#### 4.2.1.1.1 Barragem de Terra

##### A) Considerações Sobre o Tipo

Este tipo de barragem é apropriado para locais onde haja grande disponibilidade de solo argiloso ou areno-siltoso/ argiloso, e dificuldade de obter blocos de rocha para enrocamento, além de facilidade de situar o vertedouro em uma das margens, utilizando o solo escavado no canal de adução e no vertedouro para construção da barragem, evitando sempre que possível o bota-fora de material.

##### B) Adequabilidade do Local para o Aproveitamento

Para que a barragem de terra seja adotada para o aproveitamento, o local deverá possuir as características básicas, a seguir relacionadas. É indispensável que sejam observadas, para complementação deste item, as recomendações contidas no item 4.1.3 - Estudos Geológicos e Geotécnicos.

- 1 - é desejável que a localização das áreas de empréstimo e pedreiras, adequadas para construção da barragem, de modo a facilitar o transporte do material, se localizem topograficamente em cotas superiores às do local da barragem;



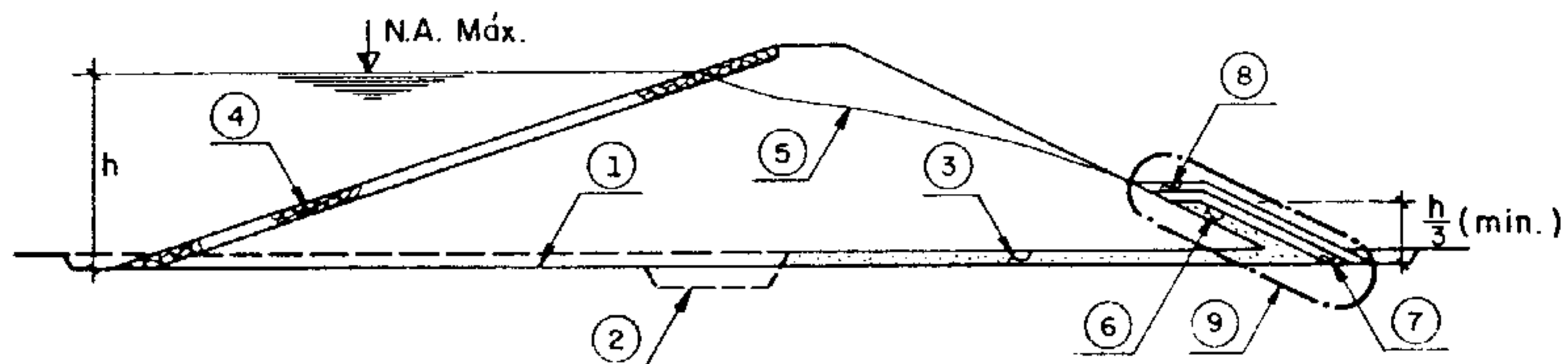
- 2 - possibilidade de posicionamento do vertedouro fora do corpo da barragem, utilizando-se favoravelmente as condições topográficas, dirigindo-se as águas lateralmente, contornando a barragem;
- 3 - facilidade de localização do vertedouro, de modo a evitar correntes com altas velocidades ao longo do talude de montante da barragem;
- 4 - estabilidade e confiabilidade das fundações sob a barragem, de acordo com as recomendações do item 4.2.1.1.1.E.1;
- 5 - possibilidade, para diminuição dos volumes de materiais de construção, da barragem ser construída no local mais estreito do rio, com eixo longitudinal perpendicular às ombréas;
- 6 - margens do reservatório nem muito íngremes nem muito suaves pois, no primeiro caso, pode haver escorregamentos e, no segundo, a existência de grandes áreas com pouca profundidade e águas paradas, o que permite a proliferação de mosquitos e outros organismos;
- 7 - a montante do local de construção da barragem não devem existir desbarrancamentos e, caso existam, devem ser estabilizados;
- 8 - possibilidade de, nos procedimentos para escolha dos processos construtivos, as alternativas do conjunto barragem/desvio do rio e a compatibilização das demais estruturas componentes do aproveitamento serem otimizadas no que diz respeito ao balanceamento de materiais de construção, respeitados os aspectos geotécnicos dos mesmos;
- 9 - possibilidade de espaço razoável para construção de maciços, no caso de optar-se por sangradouros no trecho do leito do rio;
- 10 - caso existam locais topograficamente adequados, podem ser construídos pequenos diques em cotas inferiores a da barragem, para que, em casos excepcionais de vazões no vertedouro, os mesmos se rompam funcionando como descarregadores auxiliares, impedindo que a barragem possa vir a ser submergida; são chamados de diques "fusíveis".

#### C) Seção Típica e suas Características

O tipo de barragem de terra é geralmente escolhido em função do volume e qualidade dos materiais existentes no local, dos processos construtivos a serem utilizados e dos solos que constituem as fundações no local da barragem. Sempre que possível, devem ser utilizados no corpo da barragem materiais escavados para construção do vertedouro, do canal de adução e da casa de máquinas ou outras escavações obrigatórias.

Se no local da barragem existirem quantidades suficientes de solo argiloso ou solo areno-siltoso argiloso e houver escassez de blocos de rocha, a barragem homogênea é a mais recomendada, por ser a mais simples e prática, em termos construtivos.

Uma vez que a finalidade da barragem, no caso em pauta, é criar um desnível hidráulico, não sendo preponderante a acumulação de água no reservatório para regularização da vazão do rio, as exigências de permeabilidade do corpo da barragem e das fundações são pouco rigorosas, devendo ser evitado apenas que a água que se infiltra pela barragem tenha altas velocidades e possa erodir o corpo da mesma ou suas fundações.



- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| ① ÁREA DE LIMPEZA                 | ⑥ AREIA  |
| ② TRINCHEIRA (EVENTUAL)           | ⑦ BRITA 1, 2 E 3                                 |
| ③ COLCHÃO DE AREIA                | ⑧ PEDRA DE MÃO                                   |
| ④ PROTEÇÃO DE TALUDE              | ⑨ PROTEÇÃO DE TALUDE<br>(VER FIGURA 4.2.1.1.1/6) |
| ⑤ LIMITE SUPERIOR DAS PERCOLAÇÕES |  |

#### BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA - SEÇÃO TÍPICA

FIGURA 4.2.1.1.1/1

D) Dimensões Básicas (ver FIGURA 4.2.1.1.1/2)

1 - Largura da Crista - a

Para barragem de terra, a largura da crista não deve ser inferior a 3 metros, caso não seja prevista a utilização da mesma como estrada. Caso seja prevista estrada sobre a crista, a dimensão mínima deverá ser de 6 metros.

2 - Cota da Crista

Como a passagem da água por cima de uma barragem de terra tem que ser evitada, a cota da crista deve situar-se acima do Nível d'Água Máximo previsto no reservatório. Esta folga

de altura é chamada de "borda livre" (ver FIGURA 4.2.1.1.1/2). A borda livre deve ser de cerca de 30% da altura máxima da barragem, sendo que sua dimensão mínima deve ser de 1,00 m.

O Nível d'Água Máximo no reservatório corresponde ao nível que ocorrerá por ocasião da passagem, pelo vertedouro, da descarga de projeto do sangramento (ver item 4.2.1.2).

### 3 - Inclinação dos Taludes - $m$ e $j$

A inclinação dos taludes da barragem é caracterizada pelos coeficientes de inclinação " $m$ " e " $j$ ", que indicam quantas vezes a projeção horizontal do talude é maior que a sua projeção vertical. O coeficiente " $m$ " se refere ao talude de montante, enquanto o coeficiente " $j$ ", ao de jusante.

O coeficiente de inclinação depende do tipo de material empregado no corpo da barragem e de sua altura, podendo ser adotado de acordo com a tabela a seguir:

TABELA 4.2.1.1.1/I

Material de corpo da barragem	Talude	Inclinação dos taludes (Horiz.: Vertic)
Solos Argilosos	Montante ( $m$ )	2,00
	Jusante ( $j$ )	1,75
Solos Areno-siltosos/argilosos	Montante ( $m$ )	2,25
	Jusante ( $j$ )	2,00

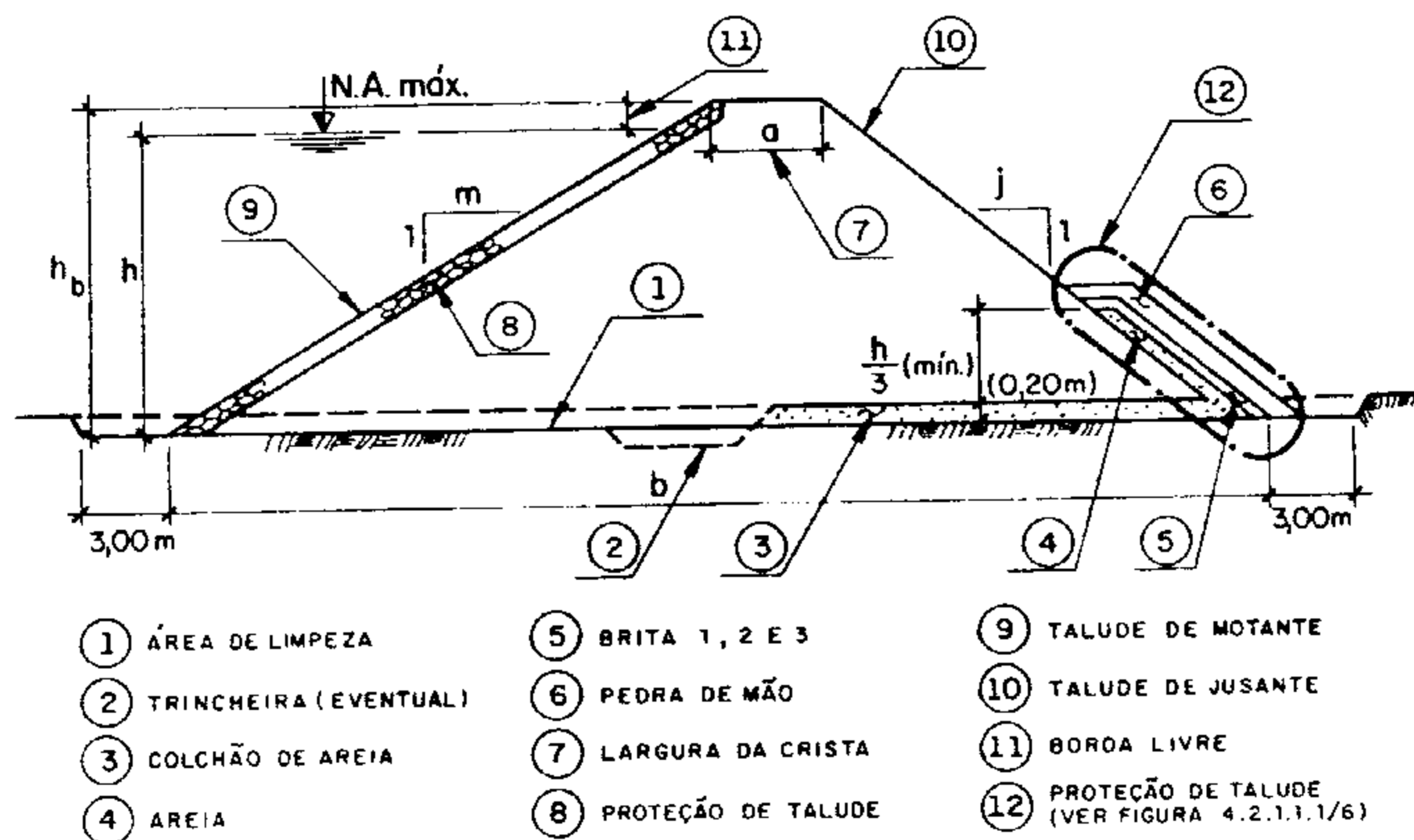


FIGURA 4.2.1.1.1/2

#### 4 - Largura da Base da Seção Transversal da Barragem - b

A largura da base da seção transversal da barragem, em metros é calculada pela fórmula:

$$b = a + (m + j) \times h_b$$

onde:

a = largura da crista da barragem, em metro

m = inclinação do talude de montante

j = inclinação do talude de jusante

$h_b$  = altura da barragem, em metro.

#### E) Detalhes Construtivos Principais

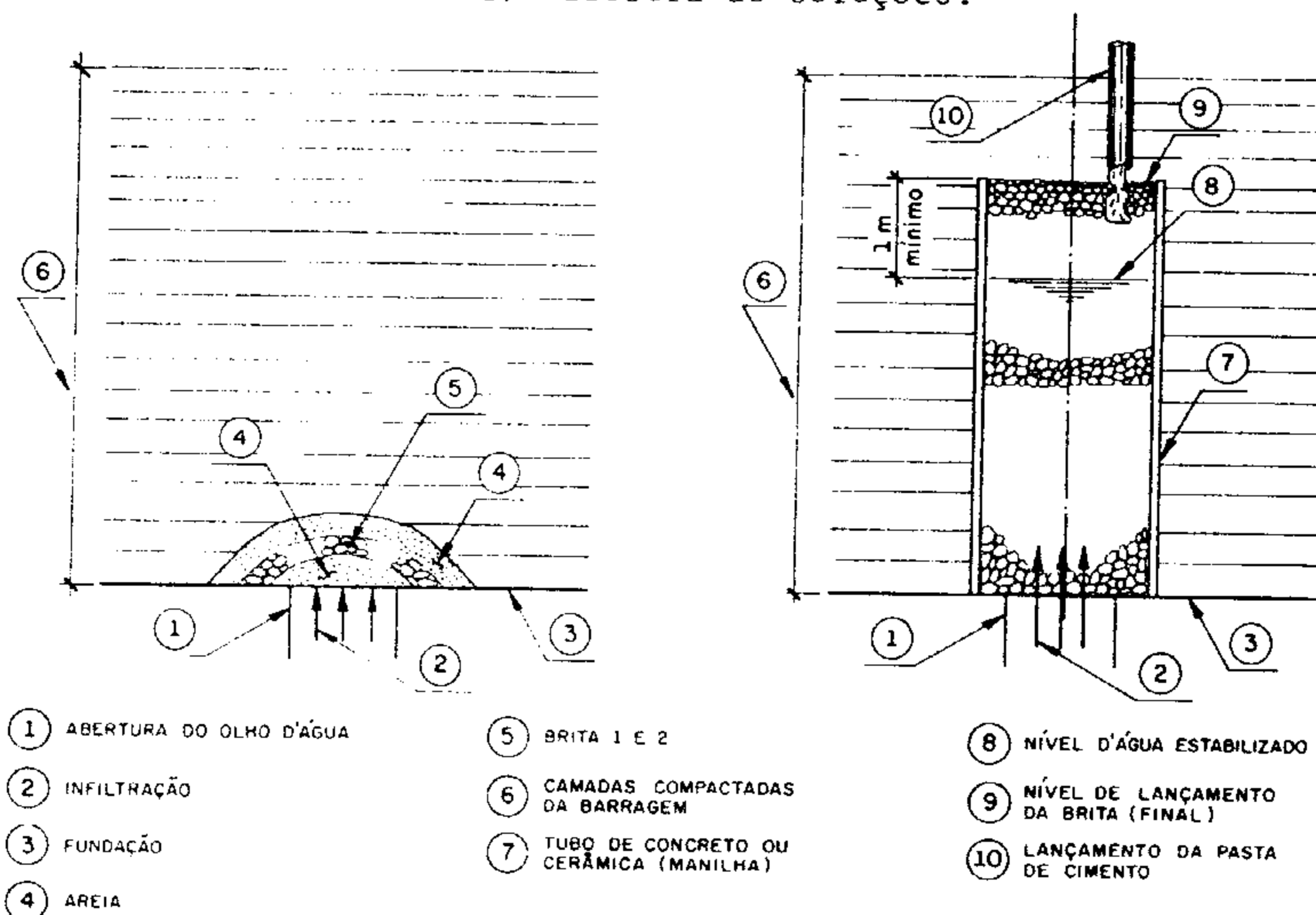
##### 1 - Preparo da Fundação e das Ombreiras

- . As recomendações descritas neste item são complementadas pelas informações contidas no item 4.1.3 - Estudos Geológicos e Geotécnicos.
  - . A área que estará situada sob a barragem deve ser limpa, incluindo o desmatamento, o destocamento e a remoção da terra vegetal até a profundidade que for necessária em relação à superfície do terreno natural.
  - . A área a ser limpa deve ter uma largura igual à base da seção transversal da barragem (ver item 4.2.1.1.2.D.4), mais 3,0 metros para montante e para jusante. O material removido da operação de limpeza deverá ser transportado para locais fora da área das obras ou do futuro reservatório.
  - . No caso de fundação rochosa, deverá inicialmente, remover manualmente os blocos de rocha soltos. A limpeza deverá ser feita com jatos de ar e de água sob pressão, para remoção de todo o material solto à superfície. Se ocorrerem, fissuras ou fraturas deverão ser vedadas com calda de cimento. Quando ocorrerem irregularidades na superfície da rocha, tais como: fendas, pequenas depressões localizadas e taludes negativos, deverá proceder o preenchimento dos mesmos com concreto simples. Opcionalmente, no caso de ocorrência de talude negativo, poderá-se proceder ao seu tratamento apenas por quebra das extremidades, visando o seu abrandamento.
- Antes do lançamento da primeira camada terrosa sobre a fundação, deverá umidecer a superfície para possibilitar melhor aderência.
- . No caso de fundação em materiais terrosos, após a limpeza, o terreno deverá ser regularizado e compactado com trator de esteiras, ou trator de pneus ou caminhões, que deverão dar no mínimo dez passadas por toda a área de fundação e ombreiras.

Após a limpeza e preparada a fundação, caso se verifique a existência de algum olho d'água, devido a infiltrações pela fundação, este deverá ser convenientemente tratado da seguinte maneira:

- instalação de tubos (manilhas) de concreto ou cerâmica, colocados verticalmente sobre a abertura por onde flui a água, e com diâmetro superior a estas aberturas;
- anotar até que altura atinge o nível d'água no interior do tubo;
- preencher o tubo com brita até pelo menos 1 m acima do nível d'água assim estabilizado;
- após a colocação da brita, deverá ser lançada pasta fluída de cimento e água até que esta cubra o nível superior da brita. Isto só será executado após o aterro compactado ter atingido o nível mínimo de cobertura da brita (1 m acima do nível d'água estabilizado).
- caso o olho d'água não seja intenso e se localize próximo do local do colchão de areia da barragem, pode-se tratar o surgimento do olho d'água com colocação de areia e brita sobre o mesmo e conduzindo a água para o colchão de areia; o maciço deve ser compactado cuidadosamente sobre a areia e a brita.

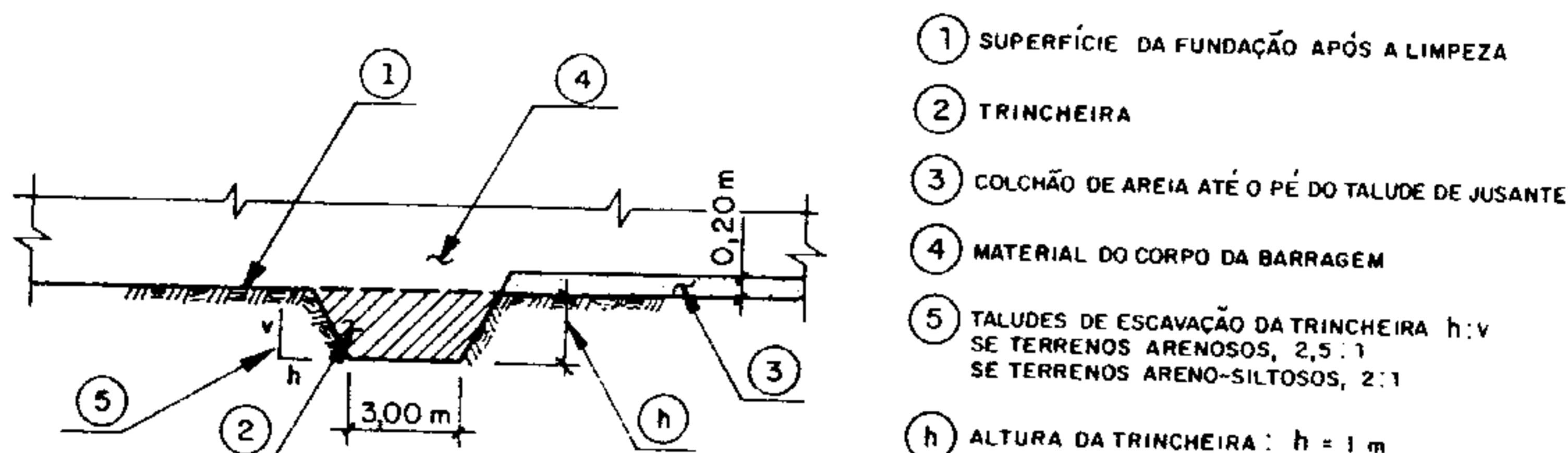
A FIGURA 4.2.1.1.1/3 ilustra as soluções.



TRATAMENTO DE OLHO D'ÁGUA NA FUNDAÇÃO

FIGURA 4.2.1.1.1/3

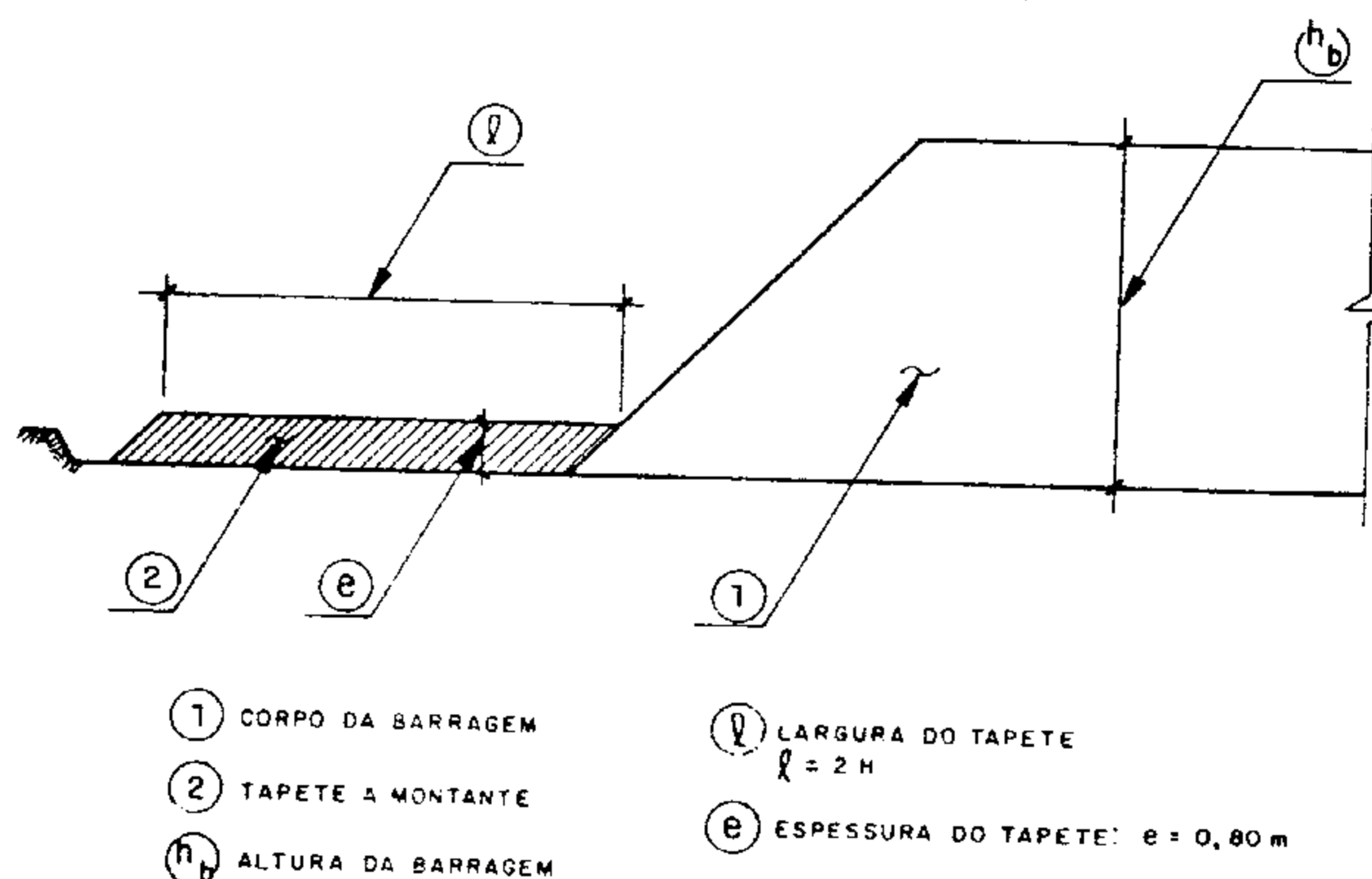
. Caso a fundação seja de um material mais permeável que o material do corpo da barragem, deverá ser escavada na parte central da fundação uma trincheira com dimensões constantes na FIGURA 4.2.1.1.1/4. Esta trincheira deverá ser preenchida com material de baixa permeabilidade, podendo ser o do corpo da barragem.



### TRINCHEIRA EM FUNDAÇÃO MUITO PERMEÁVEL

FIGURA 4.2.1.1.1/4

. Caso o material de fundação seja mais permeável que o corpo da barragem e tenha mais de 3 m de espessura, deve ser usado, em substituição à trincheira, um tapete colocado a montante da barragem. As dimensões do tapete estão na FIGURA 4.2.1.1.1/5. As condições de compactação do material do tapete são as mesmas do corpo da barragem. Após compactado, o tapete não deverá ficar exposto ao sol, devendo ser protegido por material solto.



### TAPETE EM FUNDAÇÃO MUITO PERMEÁVEL

FIGURA 4.2.1.1.1/5

- . Na fundação do lado de jusante, deverá ser lançada, para a barragem homogênea, uma camada de areia (colchão) com 0,20 m de espessura, até o pé do talude de jusante. A compactação do colchão deverá ser executada manualmente, através de apiloamento e eventualmente com auxílio de água.

## 2 - Lançamento, Espalhamento e Compactação do Material

- . O material da barragem deverá ser lançado com caminhões basculantes e espalhado com trator de esteiras ou motoniveladora, caso sejam disponíveis na região e, em caso negativo, manualmente.
- . Os solos a serem compactados devem ter umidade próxima da umidade ótima e apresentar aspecto plástico. Materiais muito secos com aspecto pulverulento não devem ser usados. O limite máximo de umidade deverá ser aquele em que o solo permita fácil tráfego de equipamentos, sem que estes atolem ou prendam materiais em suas partes.
- . A compactação de solos deverá ser executada em camadas lançadas de 20 cm de espessura, através de trator de esteiras ou agrícola, rebocando um rolo compactador (4 toneladas) dando cerca de 6 passadas sobre o material. Caso o rolo não seja disponível, esta compactação poderá ser feita por caminhões carregados com o próprio material do aterro, circulando no sentido transversal ao rio (paralelamente ao eixo da barragem), percorrendo toda a área que está sendo aterrada, e passando no mínimo seis vezes no mesmo lugar. Nos locais onde não houver possibilidade de se efetuar compactação mecânica com equipamentos, esta deverá ser executada manualmente, através de apiloamento vigoroso.

## 3 - Proteção das Barragens

- . Talude de montante - o talude deverá ser protegido contra o efeito erosivo de águas de chuvas e pequenas ondulações da água do reservatório. O método a ser aplicado consistirá da aplicação de materiais granulares graúdos (enrocamento fino, cascalho ou mistura de britas) na face do talude, com espessura mínima de 30 cm.
- . Talude de jusante - o talude será protegido com materiais granulares até uma altura mínima de  $h/3$ , sendo  $h$  a profundidade da água do reservatório junto à barragem. Caso o nível d'água normal de jusante exceda a altura  $h/3$ , essa proteção deverá ser executada no mínimo até a cota máxima prevista para o N.A.

O talude será protegido por cobertura de 3 camadas distintas, sendo a primeira de areia, com 15 a 20 cm de espessura; a segunda, de uma mistura de brita 1, 2 e 3 ou cascalho, com distribuição de tamanhos semelhantes; a terceira, será uma camada de pedra com espessura aproximada de 40 cm, sendo que os espaços entre as pedras devem ser preenchidos com brita ou cascalho.

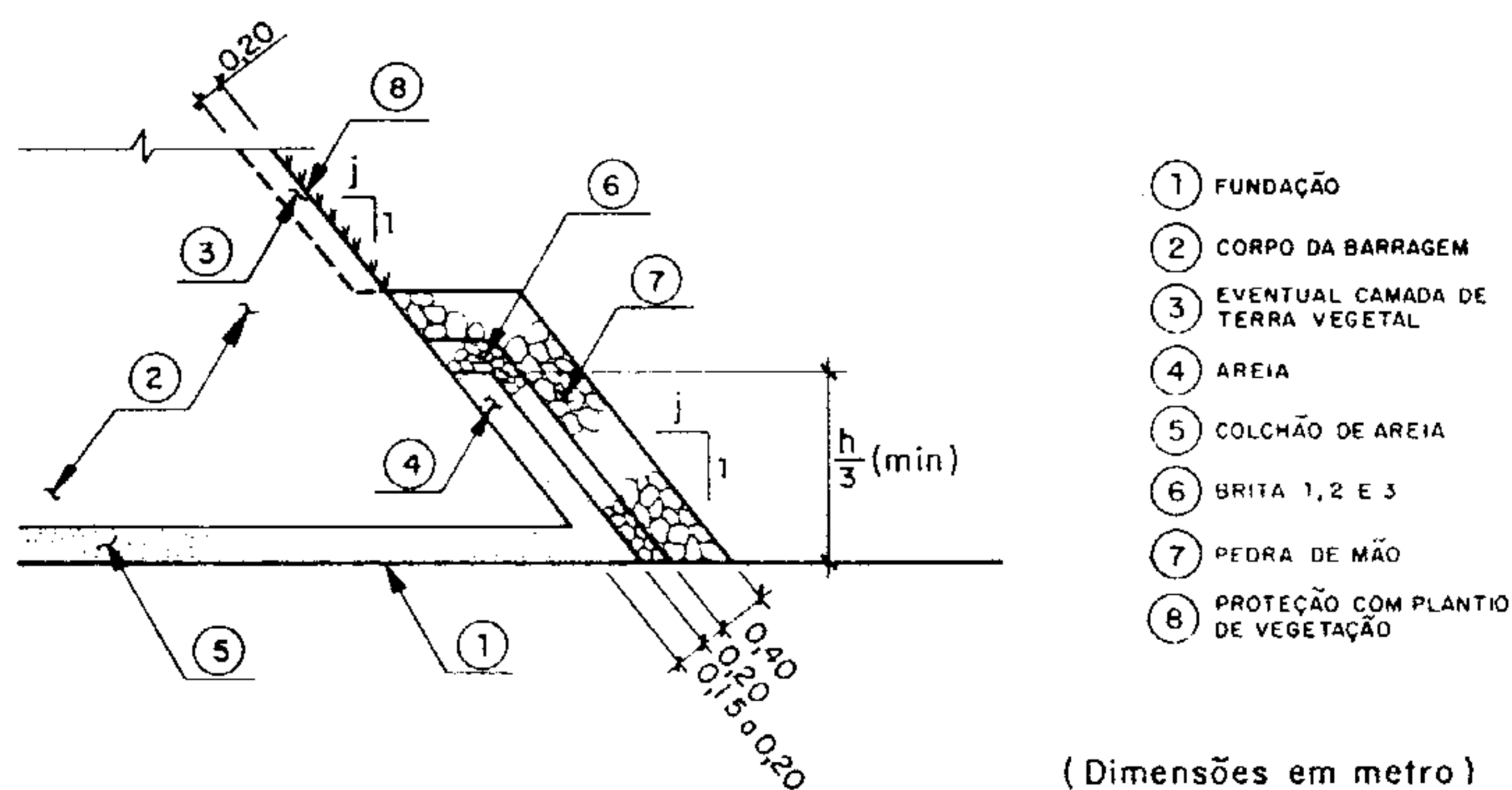
A proteção será executada acompanhando o alteamento do terreno, isto é, após a compactação de cada camada de solo serão lançadas as camadas de proteção e, em seguida, compactadas.

Acima desta altura, o talude deve ser protegido com o plantio de vegetação existente na região, como por exemplo, grama e erva cidreira.

Caso os solos do corpo de barragem não sejam apropriados para este fim, deverá ser lançada sobre o talude uma camada de terra vegetal com 20 cm de espessura, na qual será feito o plantio.

O plantio de vegetação deve ser feito de preferência no período pouco anterior ao início das chuvas no decorrer do ano. Concluído o plantio, o talude deverá ser molhado regularmente até que a vegetação tenha-se enraizado definitivamente. Nas ombreiras, onde ocorram grandes contribuições de água de chuva, estas deverão ser desviadas através do emprego de canaletas.

A FIGURA 4.2.1.1.1/6 indica como deverá ficar a proteção do talude de jusante



PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE

FIGURA 4.2.1.1.1/6



#### 4.2.1.1.2 Barragem de Enrocamento

##### A) Considerações Sobre o Tipo

A barragem de enrocamento é do tipo misto, na qual as partes principais são constituídas de pedras de maior tamanho e o elemento vedante é constituído de material mais fino (solo argiloso, solo areno-siltoso/argiloso).

As barragens de enrocamento são geralmente recomendadas nos seguintes casos:

- . impossibilidade de construir uma barragem de terra, por insuficiência de material; quando houver escavação obrigatória de rocha nas demais estruturas, com excesso deste material e com distâncias de transporte reduzidas;
- . regiões montanhosas, onde as pedreiras são comuns e de fácil exploração;
- . vales estreitos, onde é problemática a construção de um vertedouro lateral, podendo ser usado o próprio corpo da barragem como vertedouro, permitindo a passagem de água sobre a crista.

##### B) Adequabilidade do Local para o Aproveitamento

Para que a barragem de enrocamento seja adotada para o aproveitamento, o local deverá possuir as características básicas a seguir relacionadas. É indispensável que sejam observadas em complementação a este item, as recomendações contidas no item 4.1.3 - Estudos Geológico e Geotécnicos.

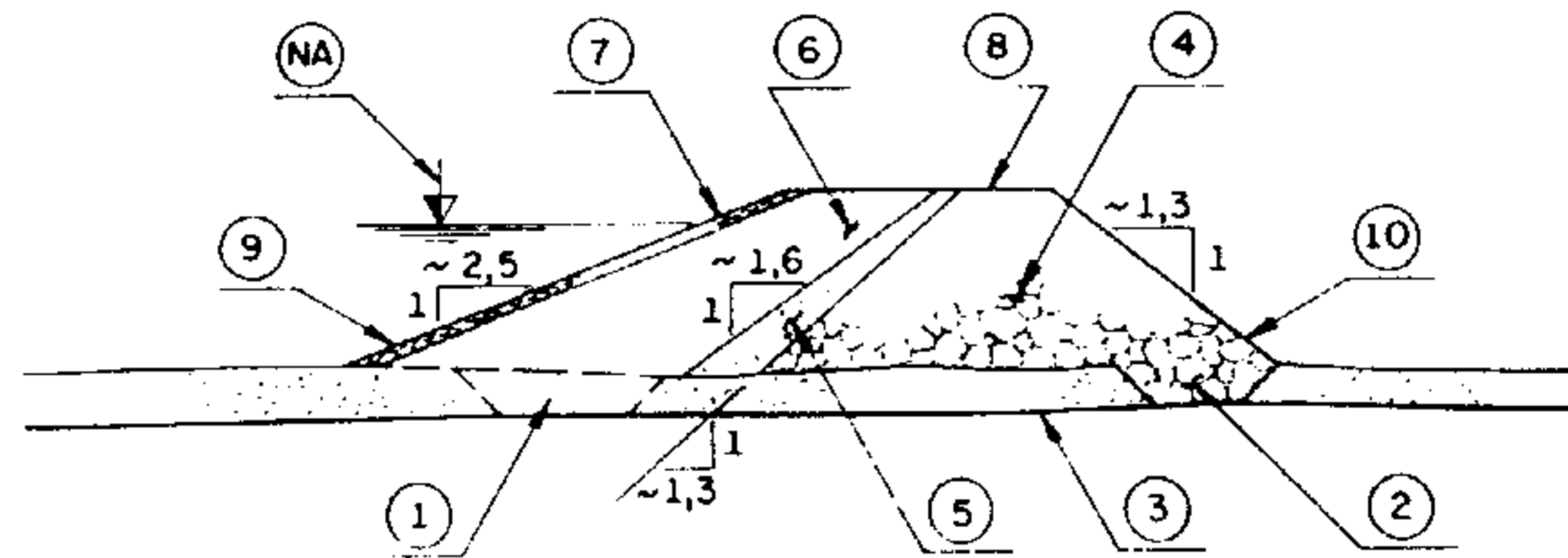
- 1 - disponibilidade de material em quantidade suficiente. Normalmente, para cada  $120 \text{ m}^3$  de rocha aplicada no corpo da barragem, é necessário desmontar cerca de  $100 \text{ m}^3$  de rocha na escavação;
- 2 - a largura do vale, na cota da crista da barragem, deve ser a mais estreita no trecho aproveitável do rio, e possuir fundações e ombreiras resistentes;
- 3 - as pedreiras deverão estar próximas, de preferência, situadas em cotas mais elevadas que o local de construção da barragem e, se possível, fora dos limites do futuro reservatório;
- 4 - possibilidade de utilização direta do material escavado, quer das fundações das outras estruturas, quer das pedreiras;
- 5 - facilidade de construção de acessos.

### C) Seções Típicas e suas Características

. As barragens de enrocamento podem ser subdivididas basicamente em dois tipos de seções:

- barragem de enrocamento com vedação a montante (tipo I);
- barragem de enrocamento com vedação interna, com crista galgável pela água (vertedouro - tipo II).

. O primeiro tipo, mostrado na FIGURA 4.2.1.1.2/1, é apropriado para locais onde, além de existir disponibilidade de blocos de rocha para enrocamento, a ombreira seja em solo e permita a escavação do canal extravasor, utilizando-se a terra escavada, na vedação de montante. Esse tipo de barragem, conforme indicado no item 4.2.1.10.3, não necessita de obras específicas de desvio (ensecadeiras, tubulações, etc), em face de ser a barragem construída com materiais lançados na água diretamente.

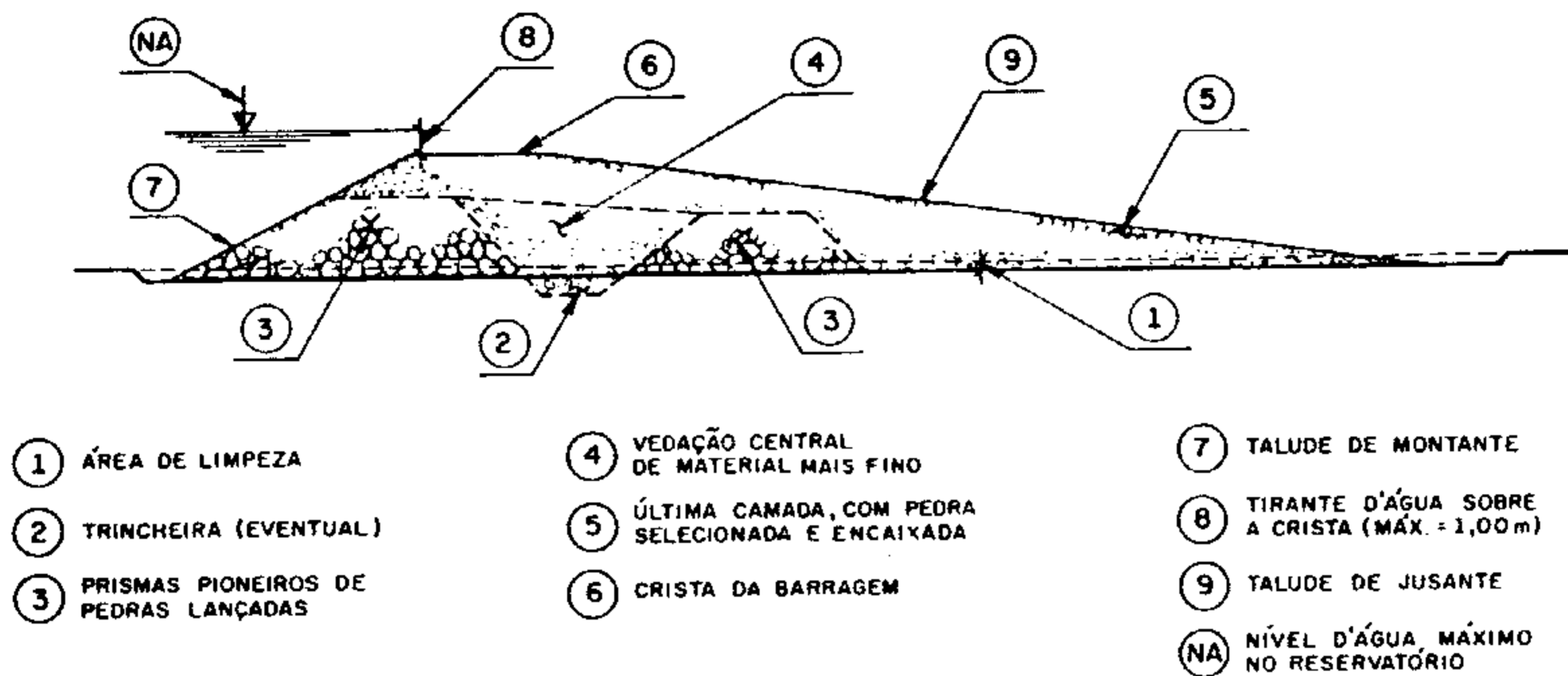


- |   |                               |  |
|---|-------------------------------|--|
| ① TRINCHEIRA DE VEDAÇÃO (EVENTUAL)          | ④ ENROCAMENTO LANÇADO         | ⑧ CRISTA DA BARRAGEM                   |
| ② TRINCHEIRA PREENCHIDA COM TRANSIÇÃO/ROCHA | ⑤ TRANSIÇÃO                   | ⑨ TALUDE DE MONTANTE                   |
| ③ FUNDAÇÃO DE MATERIAL MAIS PERMEÁVEL       | ⑥ VEDAÇÃO (MATERIAL ARGILOSO) | ⑩ TALUDE DE JUSANTE                    |
|   | ⑦ PROTEÇÃO DO TALUDE          | NA NÍVEL D'ÁGUA MÁXIMO DO RESERVATÓRIO |

BARRAGEM DE ENROCAMENTO - TIPO I - SEÇÃO TÍPICA

FIGURA 4.2.1.1.2/1

. O segundo tipo é apropriado em locais onde seja onerosa a escavação de um canal extravasor na ombreira, podendo ser admitido que a crista da barragem venha a ser galgada pela água, sendo portanto necessário que as ombreiras sejam resistentes à erosão. As seções típicas recomendadas são as seguintes, conforme as FIGURAS 4.2.1.1.2/2 e 4.2.1.1.2/3.



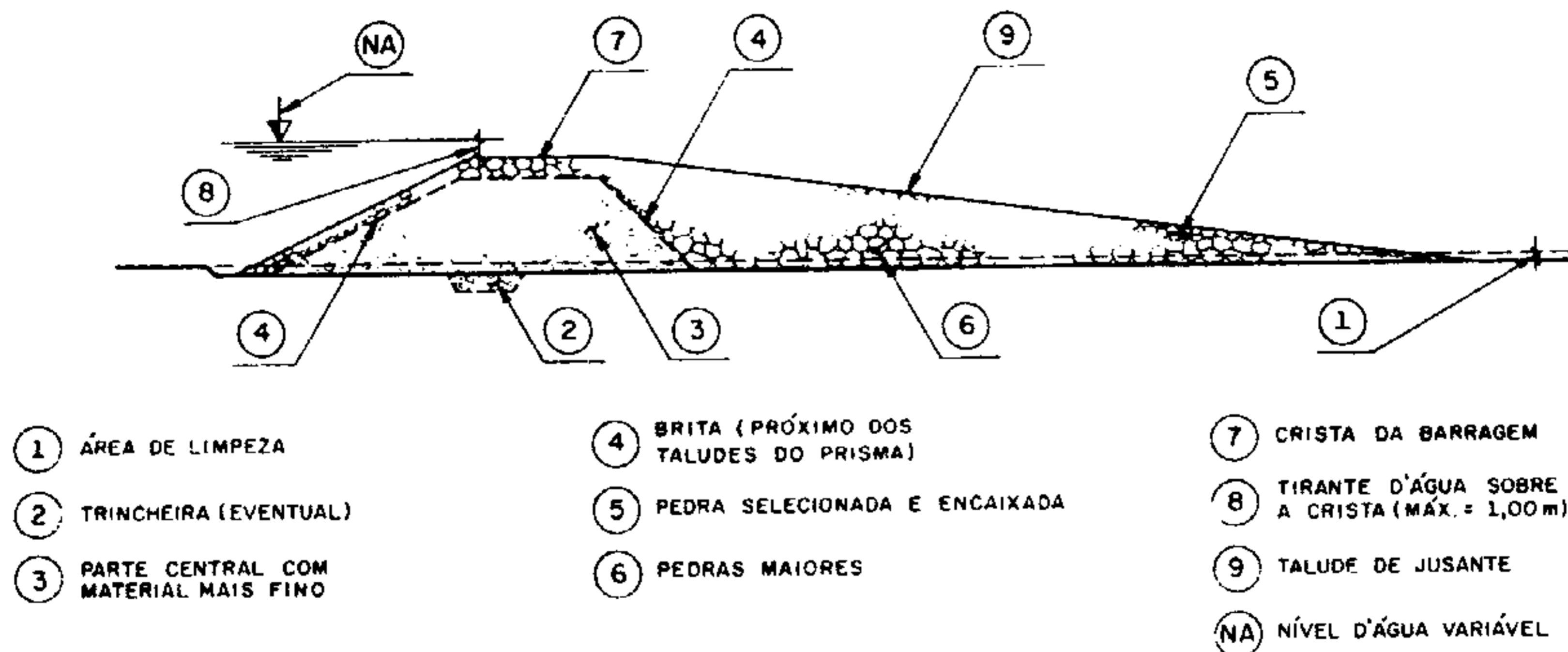
BARRAGEM DE ENROCAMENTO - TIPO II - SEÇÃO TÍPICA  
CASO 1 - Com alturas superiores a 3 metros

FIGURA 4.2.1.1.2/2

Este tipo de barragem torna-se econômico mesmo possuindo um perfil avantajado, por ser também vertedouro.

O corpo da barragem, entre os prismas lançados inicialmente (pioneiros), deve possuir uma parte central pouco permeável, que possibilite a elevação do nível d'água no reservatório. Entre os prismas pioneiros e a parte central deve ser colocado um material granular de transição.

A crista e o talude de jusante devem ser construídos com pedras colocadas nas últimas camadas, com diâmetro compatível com a velocidade e a espessura de lâmina d'água que escoia sobre o talude (ver item 4.2.1.2).



BARRAGEM DE ENROCAMENTO - TIPO II - SEÇÃO TÍPICA  
CASO 2 - Com alturas inferiores a 3 metros

FIGURA 4.2.1.1.2/3

A seção típica para barragens com alturas inferiores a três metros possui características básicas semelhantes às do tipo I, possuindo apenas uma parte central lançada inicialmente, feita com material mais fino (solo argiloso e areno-siltoso/argiloso), sendo a crista e os paramentos de montante e jusante recobertos com pedras de dimensões compatíveis com a velocidade e a altura de água que escoar sobre o talude (ver item 4.2.1.2).

#### D) Dimensões Básicas

##### 1 - Largura da Crista

A largura da crista deve ser no mínimo igual a 3 m. Caso se já prevista estrada sobre a crista, a dimensão mínima deverá ser de 6 m.

##### 2 - Cota da Crista

- . Para o caso de barragens com vedação a montante (tipo I), como a passagem da água por cima desse tipo de barragem tem que ser evitada, a cota da crista deve situar-se acima do Nível d'Água Máximo previsto no reservatório. Esta folga de altura é chamada de "borda livre" e deverá ser igual a 1 m.
- . Para o caso de barragens com vedação interna e galgáveis pela água (tipo II), a cota da crista deve ser igual à cota do nível d'água do reservatório (ver item 4.1.8.1- Determinação Expedita da Queda do Projeto).
- . O Nível d'Água Máximo no reservatório corresponde ao nível que ocorrerá por ocasião da passagem, pelo canal extravasador (vertedouro), da descarga de projeto de sangramento (ver item 4.2.1.2).

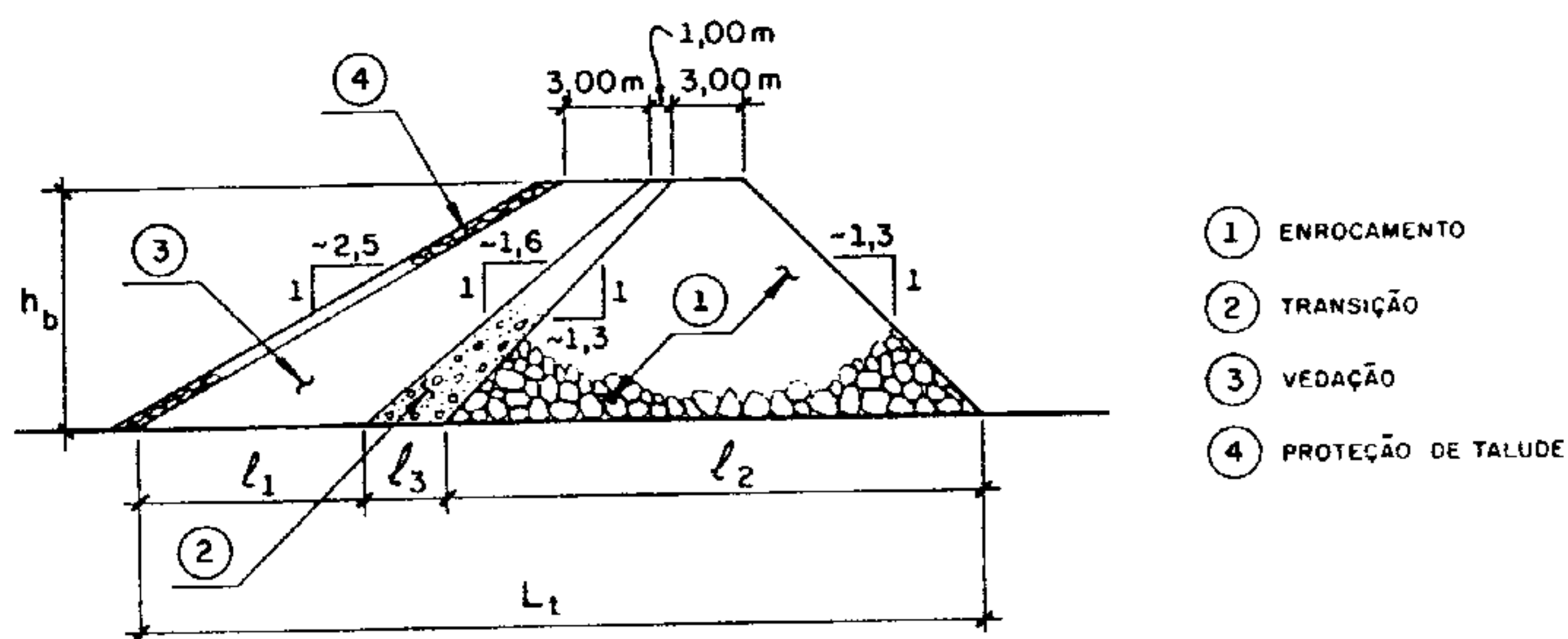
##### 3 - Inclinação dos Taludes

No caso de barragens a serem construídas com materiais lançados na água (tipo I), a inclinação do talude será função de vários fatores como altura da barragem, profundidade da água, métodos e equipamentos construtivos e materiais a utilizar. As mostradas na FIGURA 4.2.1.1.2/1 podem ser consideradas como inclinações médias, em função dos métodos, materiais e alturas esperadas nesse tipo de barragem. Nos casos de barragens construídas a seco, a inclinação do talude de montante deve ser igual a 1:2 (Vertical:Horizontal).

No caso de barragens do tipo II serem construídas em água corrente, a inclinação do talude de montante, incluindo a camada de vedação, pode alcançar 1:3 (Vertical:Horizontal). O talude de jusante das barragens galváveis deve possuir uma inclinação mínima igual a 1:8 (Vertical:Horizontal), tanto no caso 1 como no caso 2.

#### 4 - Largura da Base e Dimensões dos Prismas Pioneiros

Para o caso de barragens construídas com materiais lançados n'água, as dimensões estimadas são as seguintes:



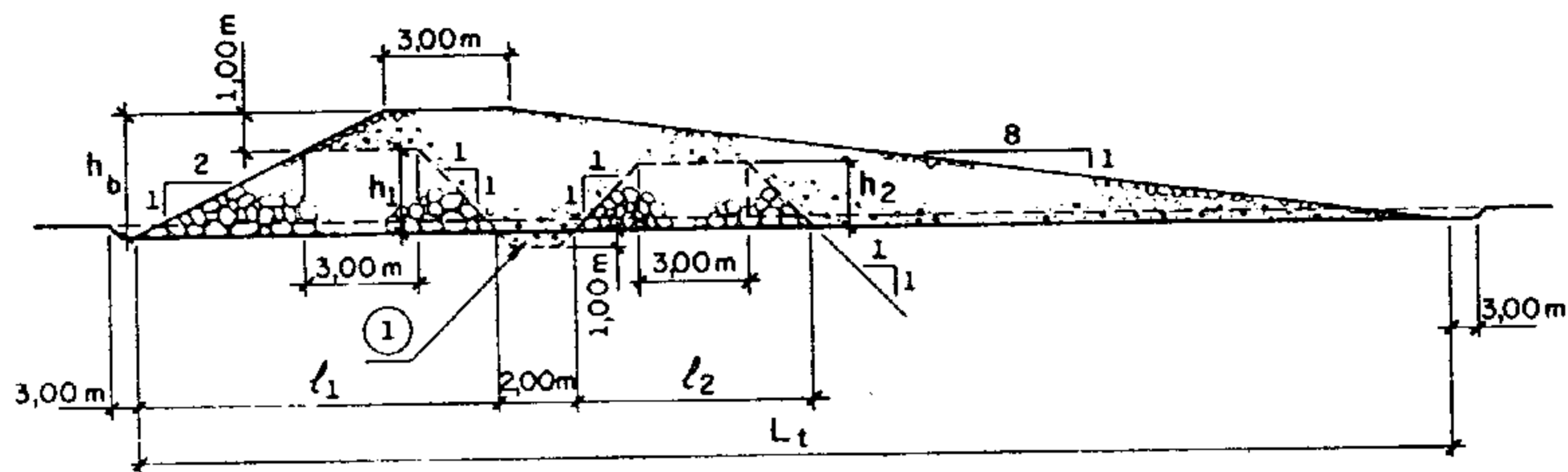
BARRAGEM DE ENROCAMENTO - TIPO I - Barragem com Vedação a montante.

FIGURA 4.2.1.1.2/4

TABELA 4.2.1.1.2/I

Barragem de Enrocamento - Tipo I - Dimensões dos Prismas

Altura da Barragem em metros ( $h_b$ )	Dimensões aproximadas em metros (ver FIGURA 4.2.1.1.2/4)			
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$L_t$
1,0	3,9	5,6	1,3	10,8
2,0	4,8	8,2	1,6	14,6
3,0	5,7	10,8	1,9	18,4
4,0	6,6	13,4	2,2	22,2
5,0	7,5	16,0	2,5	26,0



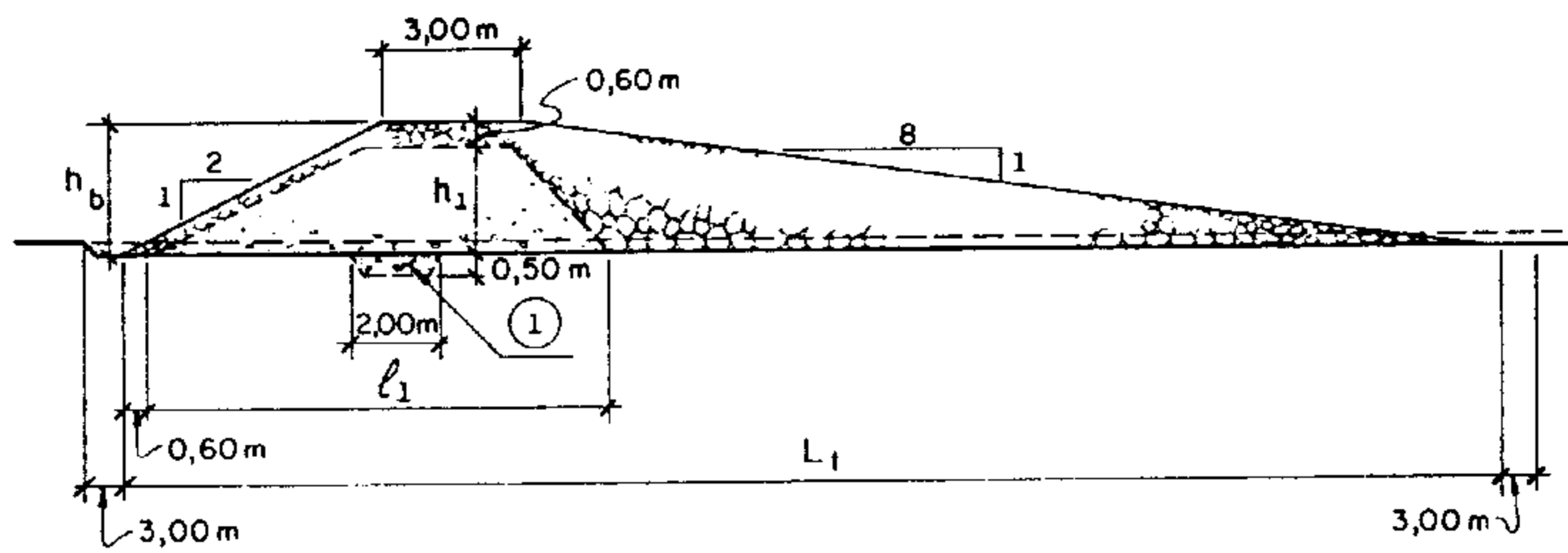
① TRINCHEIRA DE VEDAÇÃO (EVENTUAL)

BARRAGEM DE ENROCAMENTO - TIPO II - CASO 1 -  
 Altura até 5 m.  
 FIGURA 4.2.1.1.2/5

TABELA 4.2.1.1.2/II

Barragem de Enrocamento - Tipo II - Caso 1 - Dimensões  
 dos Prismas.

Altura da Barragem em metros ( $h_b$ )	Dimensões aproximadas em metros (ver figura 4.2.1.1.2/5)				
	$l_1$	$l_2$	$h_1$	$h_2$	$L_t$
1,0	0	0	0	0	11
2,0	6	4	1	0,5	23
3,0	9	6	2	1,5	33
4,0	12	7	3	2	43
5,0	15	8	4	2,5	53



① TRINCHEIRA DE VEDAÇÃO (EVENTUAL)

BARRAGEM DE ENROCAMENTO - TIPO II - CASO 2-  
 Altura superior a 3 m.  
 FIGURA 4.2.1.1.2/6

TABELA 4.2.1.1.2/III

Barragem de Enrocamento - Tipo II - Caso 2 - Dimensões dos Prismas.

Altura da Barragem em metros ( $h_b$ )	Dimensões aproximadas em metros (ver figura 4.2.1.1.2/6)		
	$h_1$	$l_1$	$L_t$
1,00	0,4	4,2	13
1,50	0,9	5,7	18
2,00	1,4	7,2	23
2,50	1,9	8,7	28
2,75	2,2	9,5	31

5 - Espessura das Camadas Superficiais da Crista e Taludes

No caso de barragens galgáveis (tipo II), as camadas superficiais da crista e dos taludes, sobretudo de jusante, deverão ter uma espessura mínima igual a  $2D$ , sendo  $D$  o diâmetro mínimo da pedra, calculado segundo metodologia descrita no item 4.2.1.2, na parte referente a "barragem vertedoura".

## E) Detalhes Construtivos Principais

As regras principais que devem orientar a construção das barragens de enrocamento são:

### 1 - Preparo da Fundação e Ombreiras

- . O preparo das fundações sob a barragem consiste na limpeza, incluindo o desmatamento, o destocamento e a remoção de terra vegetal até uma profundidade de 20cm na área ocupada pelos prismas e 50cm na área central a ser ocupada pelo material menos permeável.

A área a ser limpa deve ter uma largura igual à da base da seção transversal (ver item 4.2.1.1.2.D.4), mais três metros para montante e para jusante. O material removido da operação de limpeza deverá ser transportado para locais fora da área das obras ou do futuro reservatório.

- . Nas margens ou ombreiras, deverá ser removido o material de colúvio e material solto.
- . Caso o material de fundação seja mais permeável que o material vedante da barragem, deverá ser escavada uma trincheira na fundação, com as dimensões indicadas nos desenhos e critério semelhante ao indicado no item 4.2.1.1.1.E.1.
- . Após a limpeza, o terreno deverá ser regularizado e a área a ser ocupada pela base da barragem deverá ser compactada com um trator de esteiras, se possível, rebocando um rolo compactador de pelo menos 4 toneladas, que deverá executar dez passadas em cada lugar por toda a área da fundação e no trecho das ombreiras com inclinação acessível ao trator. No caso de impossibilidade, a compactação poderá ser feita por pneus de caminhão carregado.

### 2 - Lançamento, Espalhamento e Compactação do Material da Barragem.

#### a - Barragem com vedação a montante

- . O prisma de enrocamento deve conter mais de 50% de pedras com tamanho superior a 200 mm.
- . O material granular para transição deve ser obtido de fragmentos menores de pedra, brita ou cascalho e aplicado diretamente sobre o talude de montante do enrocamento, pelo lançamento de pilhas do material na água, através de trator de lâmina.



- . O material argiloso para vedação deve ser obtido de escavações obrigatórias e deve ser aplicado diretamente sobre o material de transição citado anteriormente, utilizando o mesmo processo construtivo de lançamento na água de pilhas do material, através de trator de lâmina.

b - Barragem com vedação central

- . O corpo dos prismas deve contar mais de 50% de pedras com tamanho superior a 200 mm.
- . O tamanho das pedras e o cuidado na colocação das mesmas devem aumentar desde o centro do aterro até os taludes e fundação. As pedras maiores, com diâmetro mínimo definido pelas tabelas do item 4.2.1.2, devem ser colocadas nos taludes, sobretudo no de jusante. O material fino para a parte central deve ser obtido em escavações obrigatórias ou em áreas de empréstimo. No espalhamento, as partículas menores devem ser deixadas no centro da seção e as maiores nas laterais, junto aos taludes. Esta seção pode ser obtida naturalmente durante o espalhamento através de motoniveladora ou trator de esteira com lâmina, deslocando-se com a lâmina a meia altura, sem tocar a superfície da camada anteriormente compactada.
- . O material do corpo da barragem, exceto as camadas finais dos taludes e da crista, deve ser lançado com caminhões basculante e espalhado com trator de esteira ou motoniveladora.
- . A compactação da barragem deverá ser feita em camadas de 0,6 metros de altura, através de trator de esteira rebocando um rolo compactador ou caminhões carregados pesando 10 toneladas ou mais, circulando no sentido paralelo ao eixo da barragem e passando, no mínimo, 2 vezes em cada lugar. Na parte central, onde será lançado o material fino pouco permeável, a compactação deverá ser feita com maior número de passadas (5 a 6). No caso de trincheira, a compactação deverá ser feita manualmente (apiloamento), em camadas de 10 a 15 cm de espessura. Para compactação dos solos finos seguir as recomendações do item 4.2.1.1.1.E.2.
- . No caso da barragem do tipo II - Caso 2, ou seja, com alturas inferiores a três metros, a parte central do corpo do aterro deverá ser constituída de material mais fino (solo argiloso e areno-siltoso) compactadas em camadas de 30 cm. No caso deste tipo de barragem, a compactação poderá até ser feita por apiloamento.

### 3 - Reforço da Crista e dos Taludes da Barragem

As últimas camadas da crista e dos taludes, com a espessura calculada segundo o item D.5 deste capítulo, serão colocadas de forma cuidadosa, buscando encaixá-las e diminuindo os espaços entre as pedras. Após a colocação das pedras, os espaços deverão ser preenchidos com pedras menores. Finalmente, deverá ser efetuada a compactação da camada de reforço da crista e do talude de jusante, com caminhões carregados e trator de esteira rebocando um rolo compactador.

NOTA: Devido aos muitos pontos em comum, o usuário deste Manual deve também consultar o item 4.2.1.1.3.

#### 4.2.1.1.3 Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada

##### A) Considerações Sobre o Tipo

As barragens de alvenaria de pedra argamassada são recomendáveis para vales relativamente estreitos, onde o represamento requer pouca altura, com boas fundações e onde a construção de um canal extravasor lateral é problemática. A largura do vale deve situar-se em torno dos 100 m, com altura da barragem com cerca de 4 m, fundações em rocha e encostas íngremes e rochosas ou com rocha situada a pouca profundidade.

A decisão de construir, ainda nesses casos, uma barragem de alvenaria de pedra argamassada ou de concreto, deve ser tomada após comparação com base em:

- . condições locais;
- . dimensões;
- . tempo de construção.

Embora a construção de uma barragem de alvenaria de pedra argamassada seja mais demorada que a de uma barragem de concreto, nas regiões ricas em pedra e para barragens com pouco volume de material, a solução em alvenaria pode vir a ser mais econômica.

##### B) Adequabilidade do Local do Aproveitamento

Para ser viável a adoção de barragem de pedra argamassada, o local escolhido para o aproveitamento deve ter as seguintes características:

- . disponibilidade, nas proximidades do local, de pedras em quantidade suficiente, com dimensões de 15 cm a 30 cm, forma semi-regular, com pelo menos duas faces paralelas;
- . facilidade em conseguir areia e cimento na região;
- . a largura do vale na cota da crista da barragem deve ser a menor existente no trecho do curso d'água em que se deseja instalar o aproveitamento;
- . as ombreiras ou encostas e as fundações devem ser resistentes, de preferência de rocha pouco fraturada. Se a fundação for recoberta por uma camada de aluvião, esta não deve ser muito espessa, ou seja, deve ser de, no máximo, 1 m a 2 m, visto ser necessária a sua remoção; caso contrário é preferível construir uma barragem de terra ou enrocamento;
- . disponibilidade de acessos para transporte do material e equipamentos, ou facilidade para construção dos mesmos;

### C) Seção Típica

A seção típica recomendada para barragens de alvenaria de pedra é a seguinte:

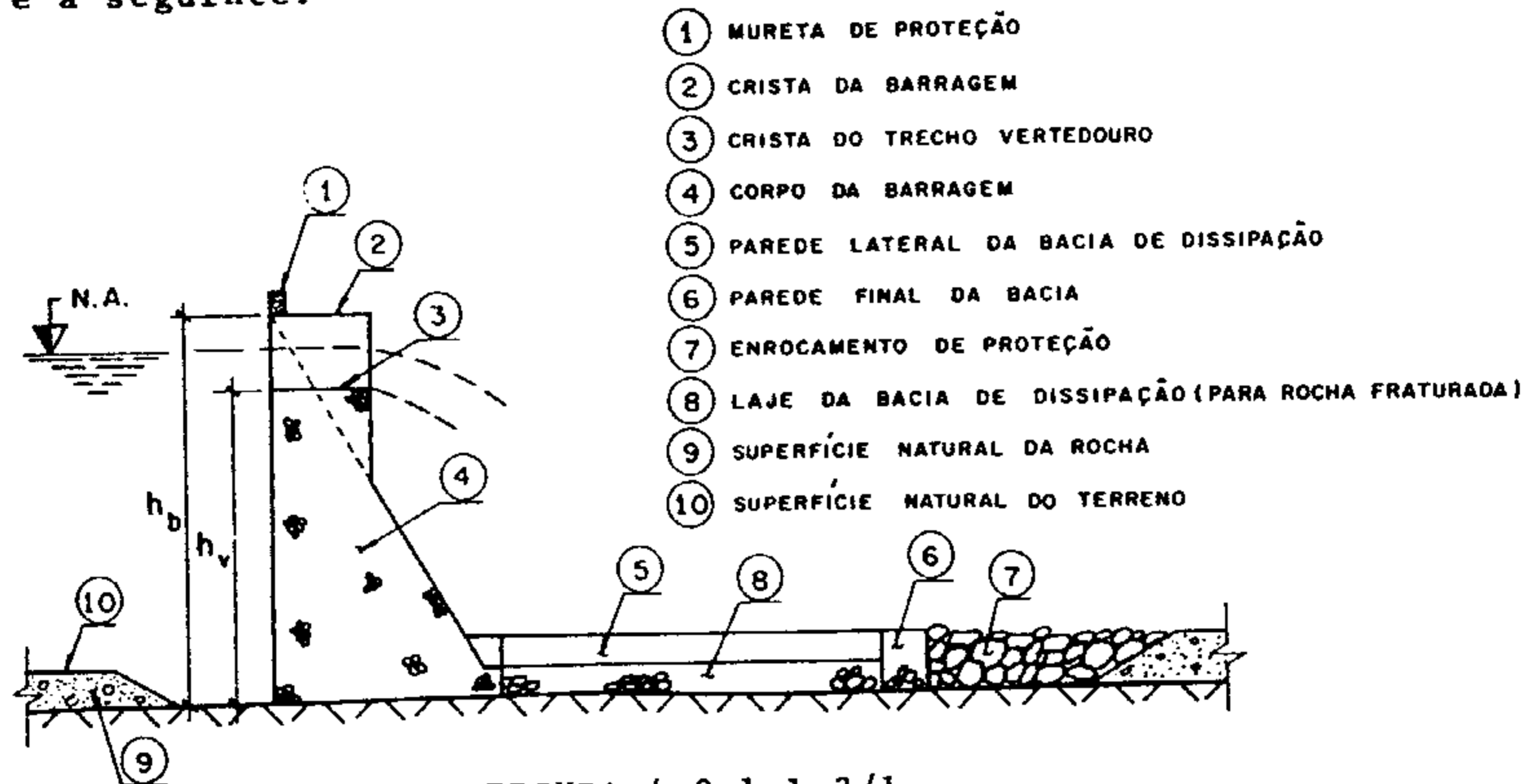


FIGURA 4.2.1.1.3/1

Neste tipo de barragem, que consiste em um muro de peso, deverá ser feito um tanque ou bacia de dissipação, com a mesma largura do vertedouro, que amortecerá o impacto da água que verte pela crista do trecho rebaixado (vertedouro).

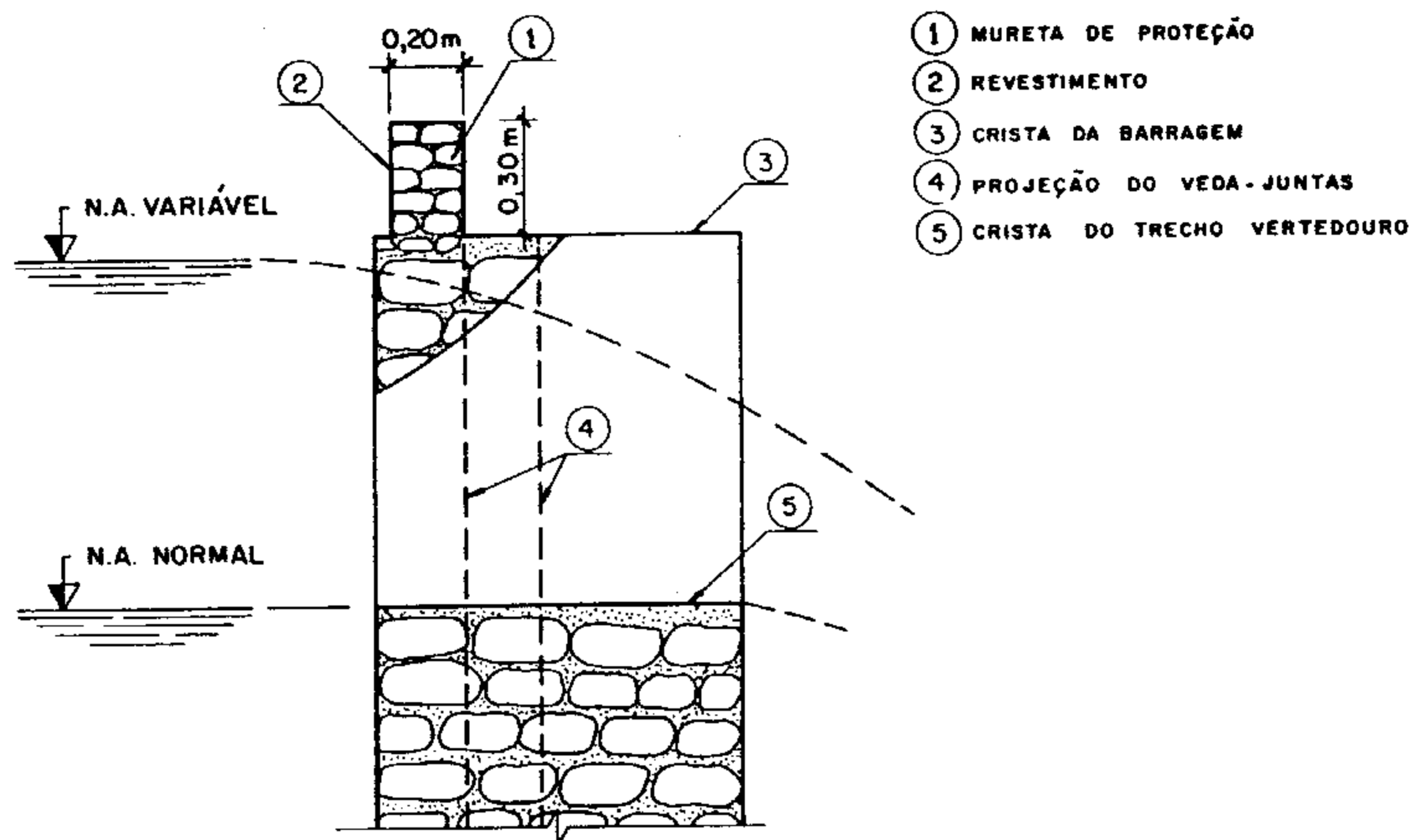
Caso a rocha de fundação seja pouco resistente, fraturada ou facilmente erodível, será feita uma laje de fundo em pedra argamassada, jogando-se externamente, ao redor das paredes do tanque, uma camada de pedra de proteção para evitar que a água que transborda do tanque danifique a superfície da rocha.

### D) Dimensões Básicas

#### 1 - Cota da Crista da Barragem

Toda a cota da crista da barragem, inclusive em seu trecho de ombreira, exceto na parte vertente, deve estar 1 m acima da cota do nível d'água normal previsto no reservatório.

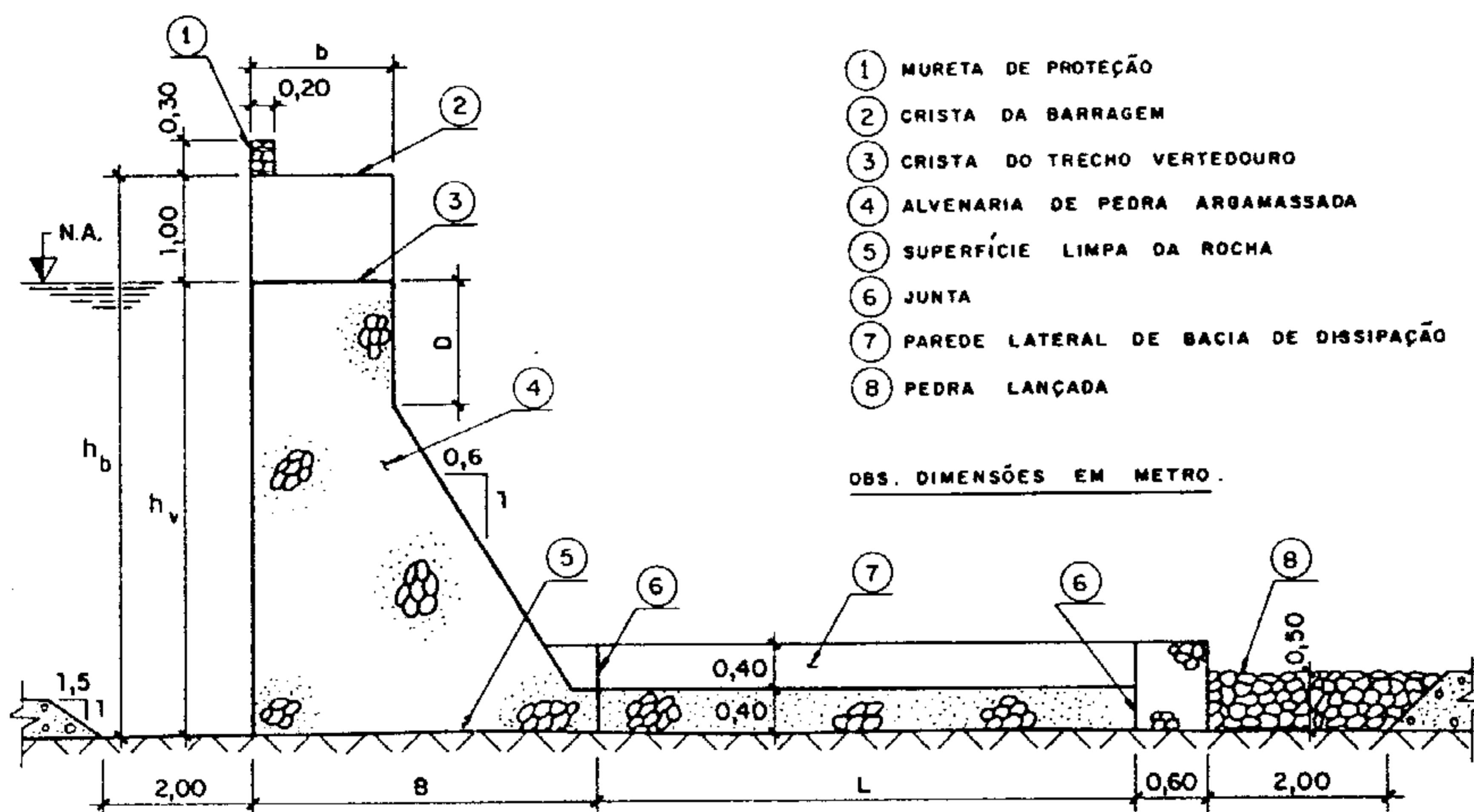
Como a máxima altura da lâmina d'água admitida sobre a crista do trecho vertente é de 1 m, a proteção contra as eventuais ondas no reservatório, quando o nível d'água atingir o máximo previsto, será feita por uma mureta construída junto ao paramento de montante. Esta mureta deverá ter uma altura mínima de 0,3 m e largura de 0,2 m e poderá ser construída de alvenaria de tijolo maciço.



- ① MURETA DE PROTEÇÃO
- ② REVESTIMENTO
- ③ CRISTA DA BARRAGEM
- ④ PROJEÇÃO DO VEDA-JUNTAS
- ⑤ CRISTA DO TRECHO VERTEDOURO

FIGURA 4.2.1.1.3/2

2 - Dimensões da Barragem, do Vertedouro e da Bacia de Dissipação



- ① MURETA DE PROTEÇÃO
- ② CRISTA DA BARRAGEM
- ③ CRISTA DO TRECHO VERTEDOURO
- ④ ALVENARIA DE PEDRA ARGAMASSADA
- ⑤ SUPERFÍCIE LIMPA DA ROCHA
- ⑥ JUNTA
- ⑦ PAREDE LATERAL DE BACIA DE DISSIPACÃO
- ⑧ PEDRA LANÇADA

OBS. DIMENSÕES EM METRO.

FIGURA 4.2.1.1.3/3

As dimensões principais das estruturas constam da tabela abaixo

TABELA 4.2.1.1.3/I

BARRAGEM E VERTEDOURO - DIMENSÕES					
$h_b$ (m)	$h_v$ (m)	B (m)	b (m)	D (m)	L (m)
2	1	1,2	0,6	0	5,3
3	2	1,8	0,6	0	5,4
4	3	2,4	0,9	0,5	5,5

A largura do trecho vertente deverá ser calculada conforme o item 4.2.1.2. - Vertedouro. É conveniente ressaltar que esses cálculos poderão indicar uma largura que ocupe toda extensão do vale.

### 3 - Distância entre as Juntas

As juntas entre os blocos da barragem devem estar distantes entre si 25 m no máximo, para evitar rachaduras no corpo da estrutura e não ocorrer vazamento pelas mesmas.

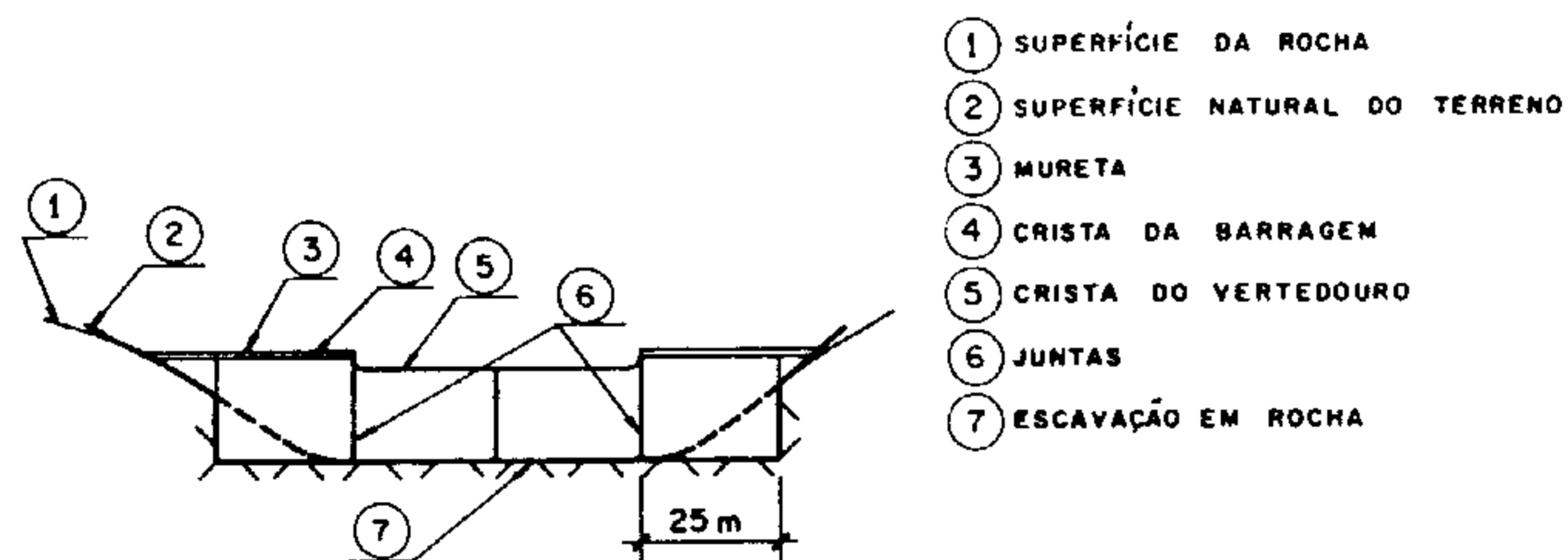


FIGURA 4.2.1.1.3/4

### E) Detalhes Construtivos Principais

#### 1 - Preparo da Fundação e Ombreiras

- . A área que estará situada sob a barragem e na qual a estrutura se apoiará deverá ser limpa, incluindo o desmatamento, destocamento e a remoção das camadas superficiais de solo, até ser atingida a superfície da rocha.
- . A superfície da rocha deverá ser limpa, livre de matações soltos, detritos ou outros materiais.
- . A área a ser limpa deverá ser igual à largura da base da estrutura, com uma folga de 2 m para jusante e para montante, tanto nas fundações das estruturas do trecho central, como nas fundações de ombreiras.
- . Após a limpeza, caso haja algum olho d'água, este deverá ser tamponado e drenado, conforme especificado no item 4.2.1.1.1.E.

## 2 - Construção de Alvenaria

Os serviços serão executados com pedra extraída de pedreira e/ou com material proveniente da escavação da rocha de fundação, ou ainda pedras existentes no leito do rio. As pedras deverão ter uma dimensão máxima de 30 cm, sendo colocadas cuidadosamente em camadas, de tal forma que cada pedra seja envolvida completamente pela argamassa a ser utilizada, cujo traço deverá ser: cimento: 1 saco de 50kg; areia: 165 litros; água: 32,5 litros no caso de uso de areia fina e 30 litros no caso de uso de areia grossa. Antes da colocação final, as pedras serão prévia e fortemente molhadas.

A alvenaria será executada em camadas respaldadas, horizontalmente, com o necessário travamento, formando um todo maciço sem vazios. A primeira fiada será constituída de pedras grandes, cuidadosamente escolhidas, colocadas sobre um leito de concreto magro.

As camadas horizontais executadas num dia de trabalho não deverão ultrapassar a altura de mais ou menos 1 m, a fim de permitir o endurecimento da argamassa e impedir o aparecimento de trincas.

A superfície externa será bem acabada. O trecho vertente deverá ter um revestimento superficial de argamassa com espessura mínima de 5 cm, utilizando-se a mesma argamassa empregada no assentamento das pedras.

As juntas verticais entre os blocos serão tipo "junta seca", construídas de modo a permitir absoluta liberdade de movimento entre os blocos. Para que isso aconteça, uma das faces de contato deverá ser bem acabada, não apresentando reentrâncias ou saliências que possam funcionar como engastamento. Para maior segurança recomenda-se aplicar nesta face acabada uma pintura asfáltica.

Para minimizar as perdas de água pelas juntas de dilatação, está sendo prevista uma vedação entre os blocos, de acordo com a figura a seguir apresentada.

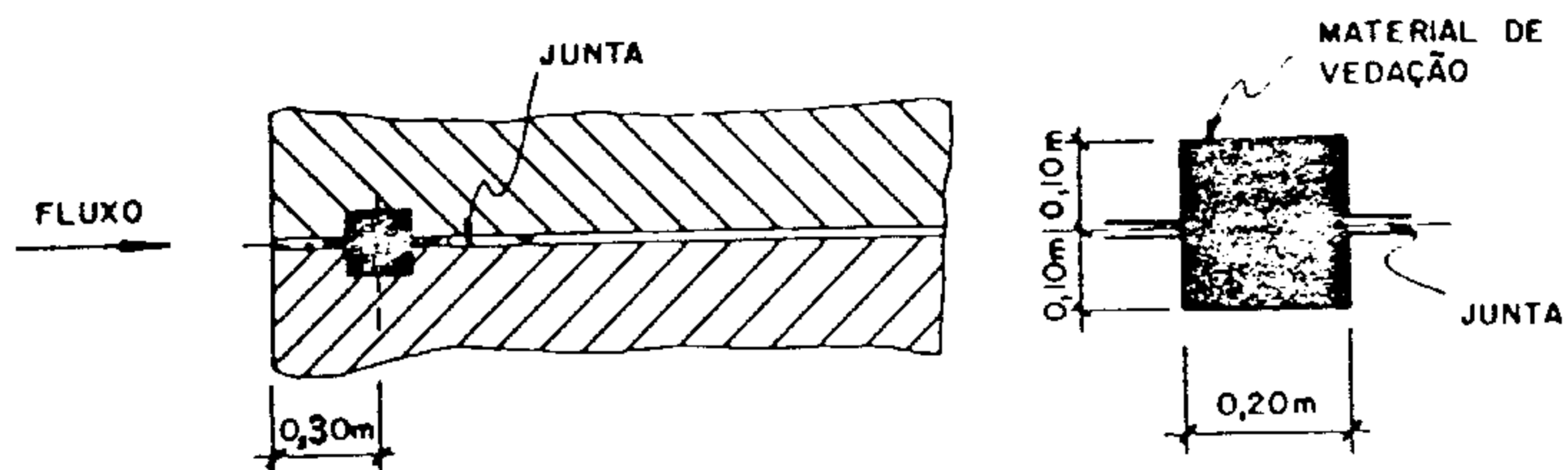


FIGURA 4.2.1.1.3/5

Como material de vedação, será utilizada uma mistura plástica, moldável com a mão, de argila com pó de serra, convenientemente homogeneizada. O material deverá ser colocado na ranhura em camadas de aproximadamente 20 cm, recebendo uma leve compactação superficial. Antes de seu enchimento, a ranhura deverá ser umedecida.

Alternativamente poderá ser utilizado asfalto para preenchimento do orifício de vedação da junta.

### 3 - Reforço da Fundação

A jusante da barragem, ao redor da bacia de dissipação, deverá ser lançada uma camada de pedras com 0,5 m de espessura e diâmetro de pedra igual ou superior a 0,2 m. O lançamento será feito em uma faixa de 2 m de largura, através de caminhão basculante e o espalhamento será executado através de trator de esteiras e quipado com lâmina.

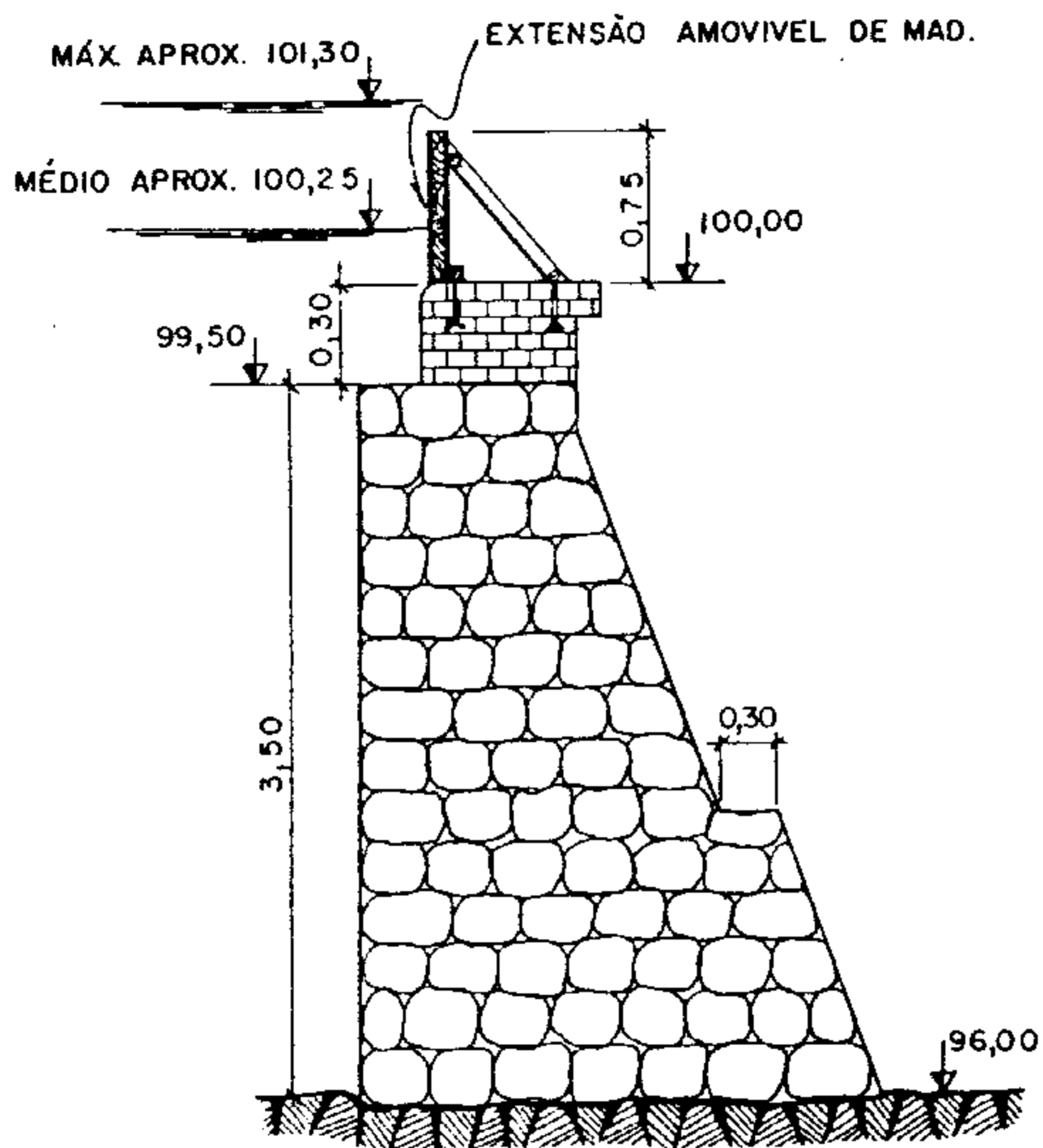
F) Nos desenhos a seguir são apresentados alguns exemplos de barragens de alvenaria de pedra argamassada construídas e que possuem características semelhantes às das estruturas descritas neste capítulo.

NOTA: Devido aos muitos pontos em comum e para esclarecimentos adicionais que permitam a comparação com a barragem de concreto, o usuário deste Manual deve ler o item 4.2.1.1.4 - Barragem de Concreto.

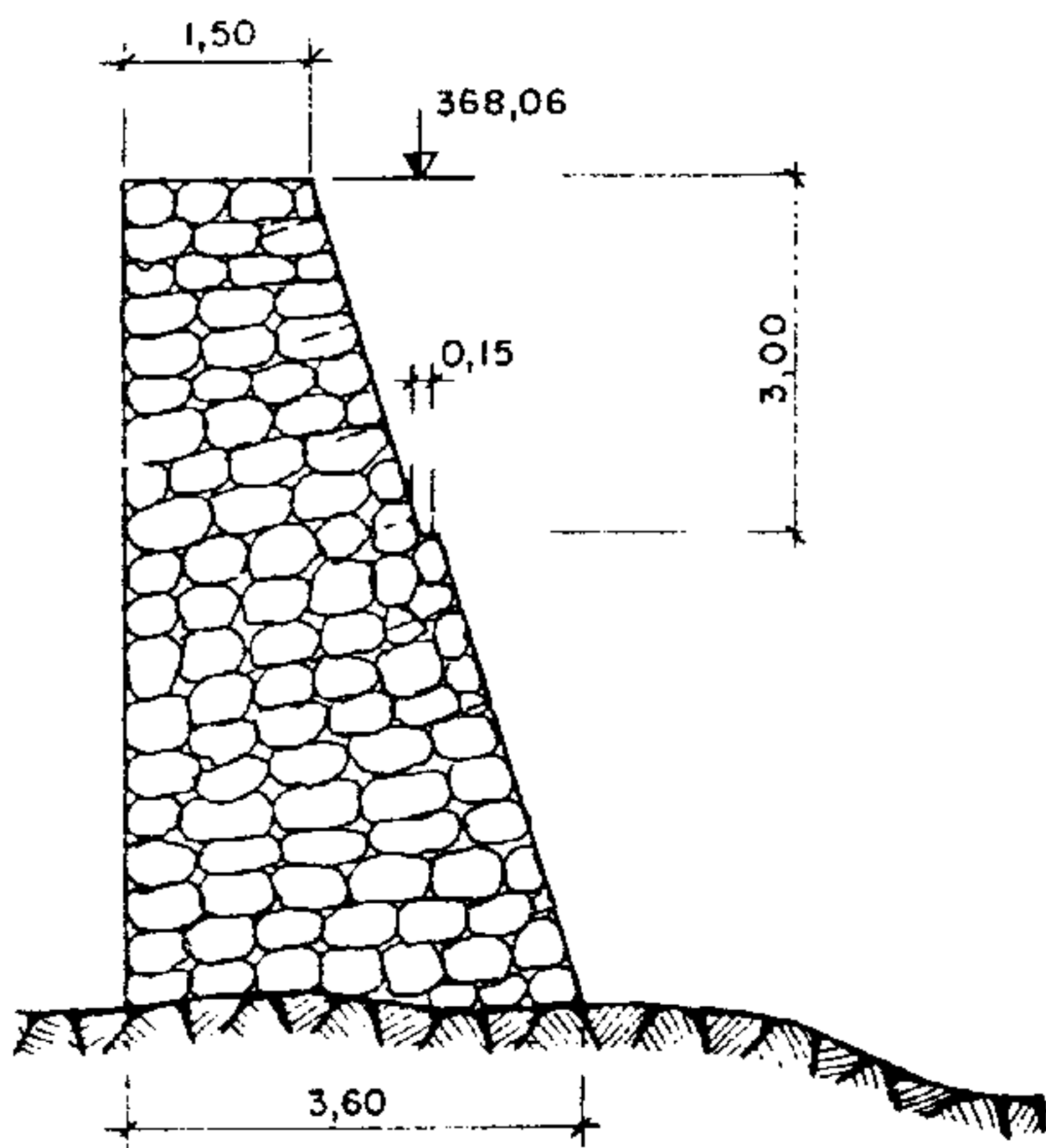


4.2.1.1.3/A

ANEXO



U.H.E DE SÃO JOAQUIM

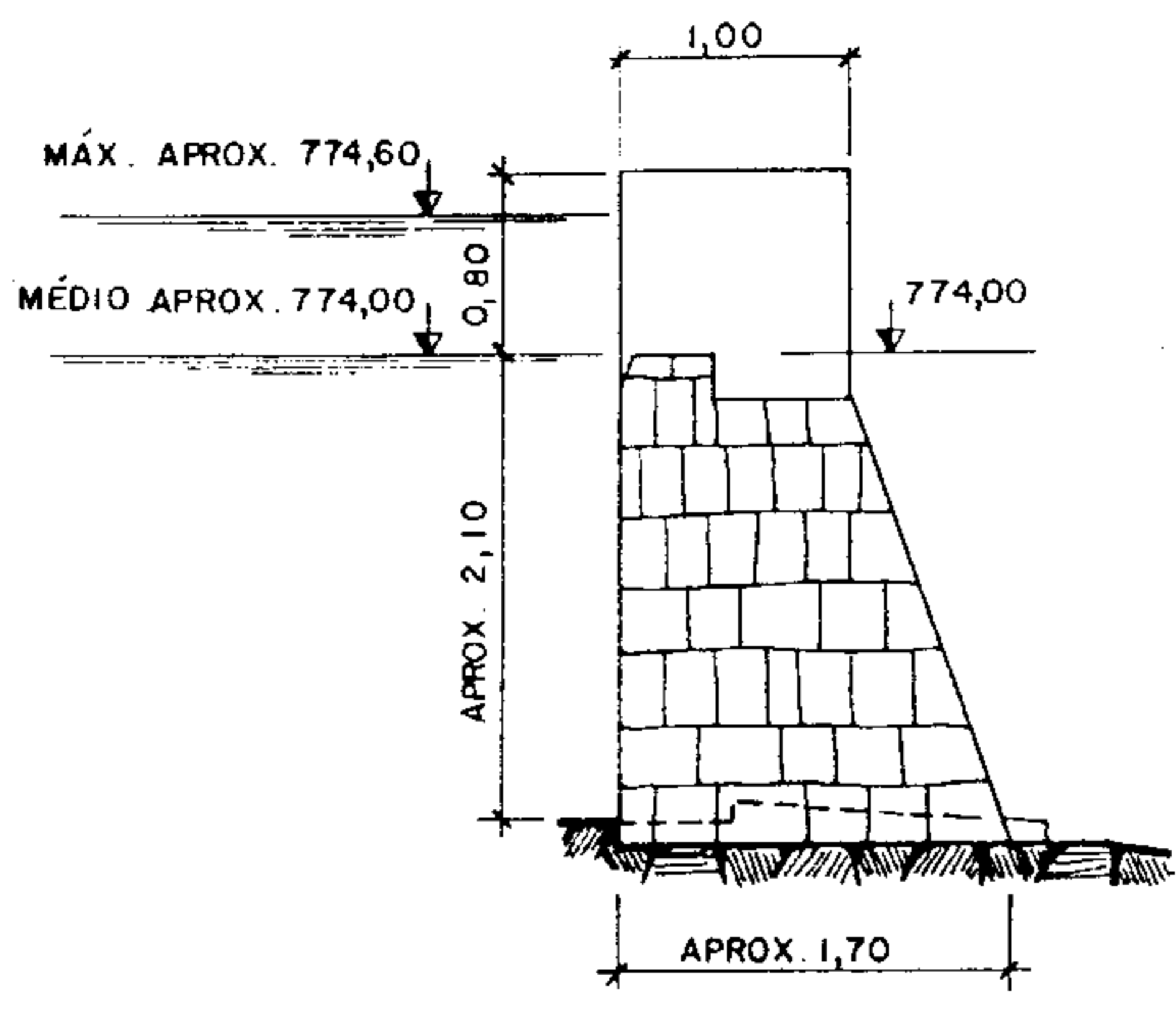


U.H.E DE PIABANHA

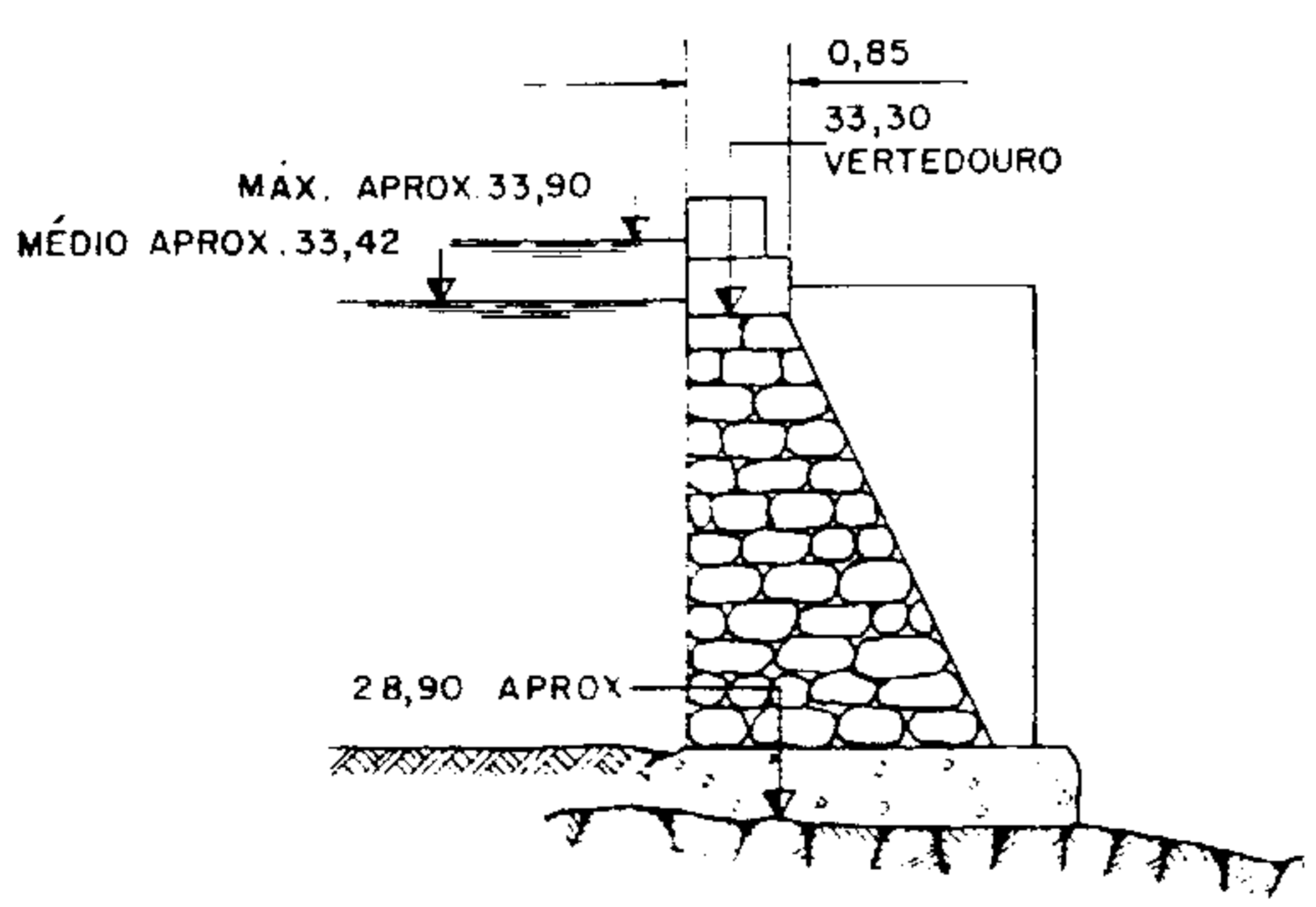
DIMENSÕES EM METRO

4.2.1.1.3/B

ANEXO



U.H.E DE BURITIS



U.H.E DE DOIS CÓRREGOS

DIMENSÕES EM METRO

#### 4.2.1.1.4 Barragem de Concreto

##### A) Considerações Sobre o Tipo

A barragem de concreto cogitada neste Manual é a do tipo gravidade, e consiste de um muro, cuja seção transversal se aproxima de um triângulo retângulo, e que resiste através do seu peso próprio à pressão da água do reservatório e à subpressão das águas que se infiltram pelas fundações. Possui um trecho central rebaixado, o vertedouro, de preferência coincidente com a parte central do vale, onde corre o rio, destinado a permitir a extravasão das águas excedentes.

Este tipo de barragem é recomendável para vales relativamente estreitos, com aproximadamente 100 m de largura, onde o represamento requer alturas próximas a 4 m, com boas fundações em rocha pouco fraturada, e onde a construção de um vertedouro lateral é problemática devido a encostas íngremes e rochosas.

A decisão de construir uma barragem de concreto deve ser tomada após uma análise conscienciosa das condições da fundação, disponibilidade de materiais e equipamentos apropriados para construção.

##### B) Adequabilidade do Local para o Aproveitamento

Para a adoção da barragem de concreto para o aproveitamento, o local deve possuir as seguintes características:

- . a largura do vale na cota da crista da barragem deve ser a mais estreita do trecho aproveitável do rio;
- . disponibilidade de pedreiras para obtenção da brita e jazidas de areia facilmente exploráveis nas proximidades do local;
- . facilidade de conseguir cimento em quantidade suficiente na região;
- . as fundações e ombreiras devem ser de rocha resistente e pouco fraturada; caso as fundações possuam uma camada superficial de aluvião, esta não deve ser muito espessa, isto é, não deve ter mais de 2 m, para não encarecer a obra com os trabalhos de remoção da mesma;
- . facilidades para construção de acessos.

##### C) Seção Típica e suas Características

A seção típica recomendada para barragens de concreto é a seguinte:

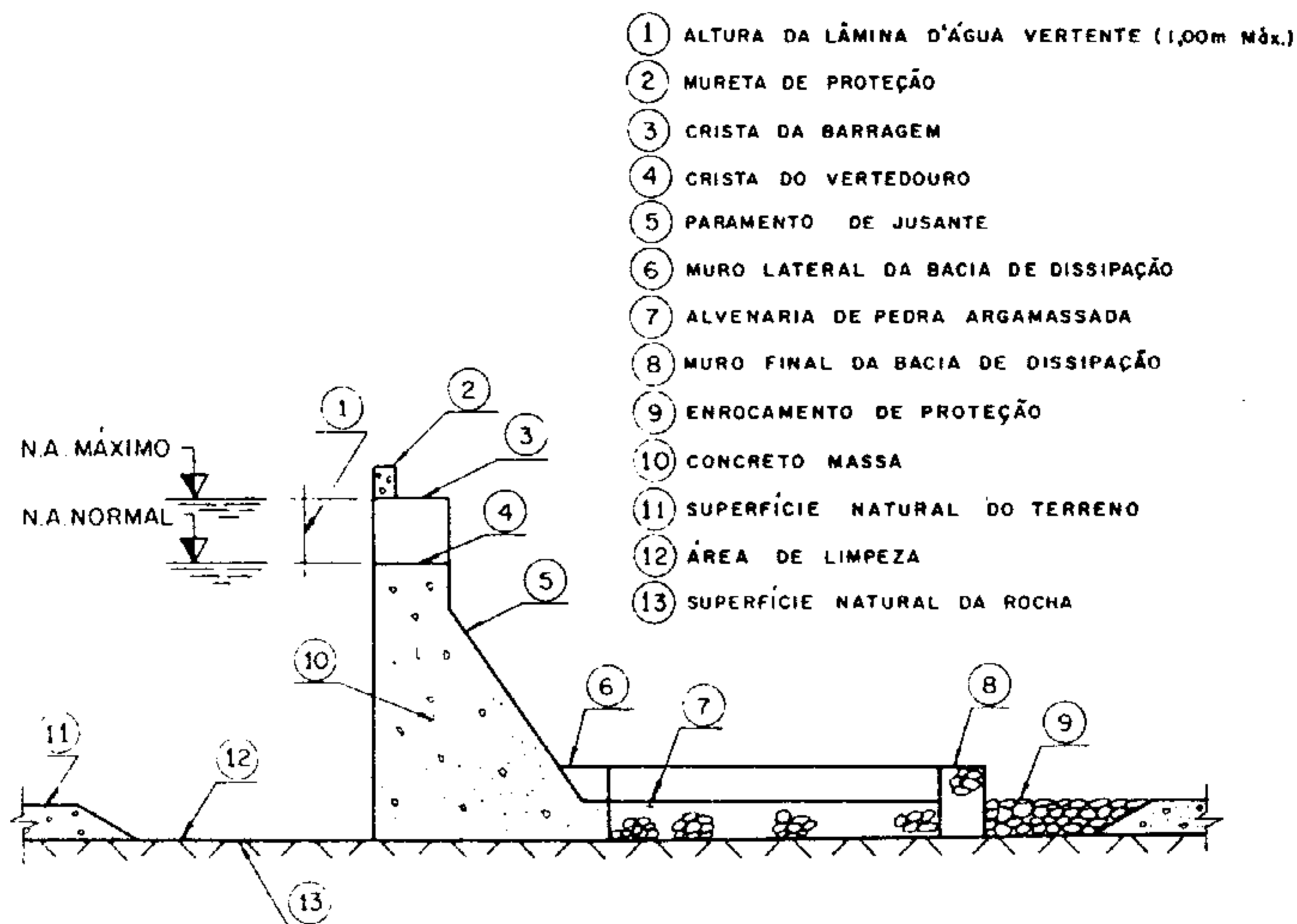


FIGURA 4.2.1.1.4/1

- . no trecho situado a jusante da barragem deverá ser feita uma bacia de dissipação ou tanque, cuja função é amortecer o impacto da água extravasada pelo trecho vertedouro; o tanque deverá ter a mesma largura do vertedouro e, no seu fundo, caso a rocha seja pouco resistente ou fraturada, deverá ser feita uma laje de alvenaria de pedra argamassada para proteger a rocha contra erosão; caso a rocha seja boa, é desnecessária a construção dessa laje para proteção do fundo da bacia de dissipação;
- . no redor do tanque, externamente, será jogada uma camada de pedra de proteção para evitar que a água que transborda do tanque danifique a superfície da rocha, principalmente quando esta não for de boa qualidade;
- . a barragem será construída em blocos, entre os quais deverão existir juntas verticais, devidamente vedadas contra vazamentos;
- . na crista da barragem, no trecho não vertedouro, deverá ser construída uma mureta de proteção contra ondas.

#### D) Dimensões Básicas

##### 1 - Cota da Crista da Barragem

A cota da crista da barragem em seu trecho de ombreiras, trecho não vertedouro, deve estar 1 m acima da cota do nível d'água normal prevista no reservatório.

Como a máxima altura da lâmina d'água admitida sobre a crista do trecho vertedouro é de 1 m, a proteção contra as eventuais ondas no reservatório, quando o nível d'água atingir o máximo previsto, será feita por uma mureta construída junto ao paramento de montante. Esta mureta deverá ter uma altura mínima de 0,3 m e largura de 0,2 m e poderá ser construída de alvenaria de tijolo maciço ou de concreto.

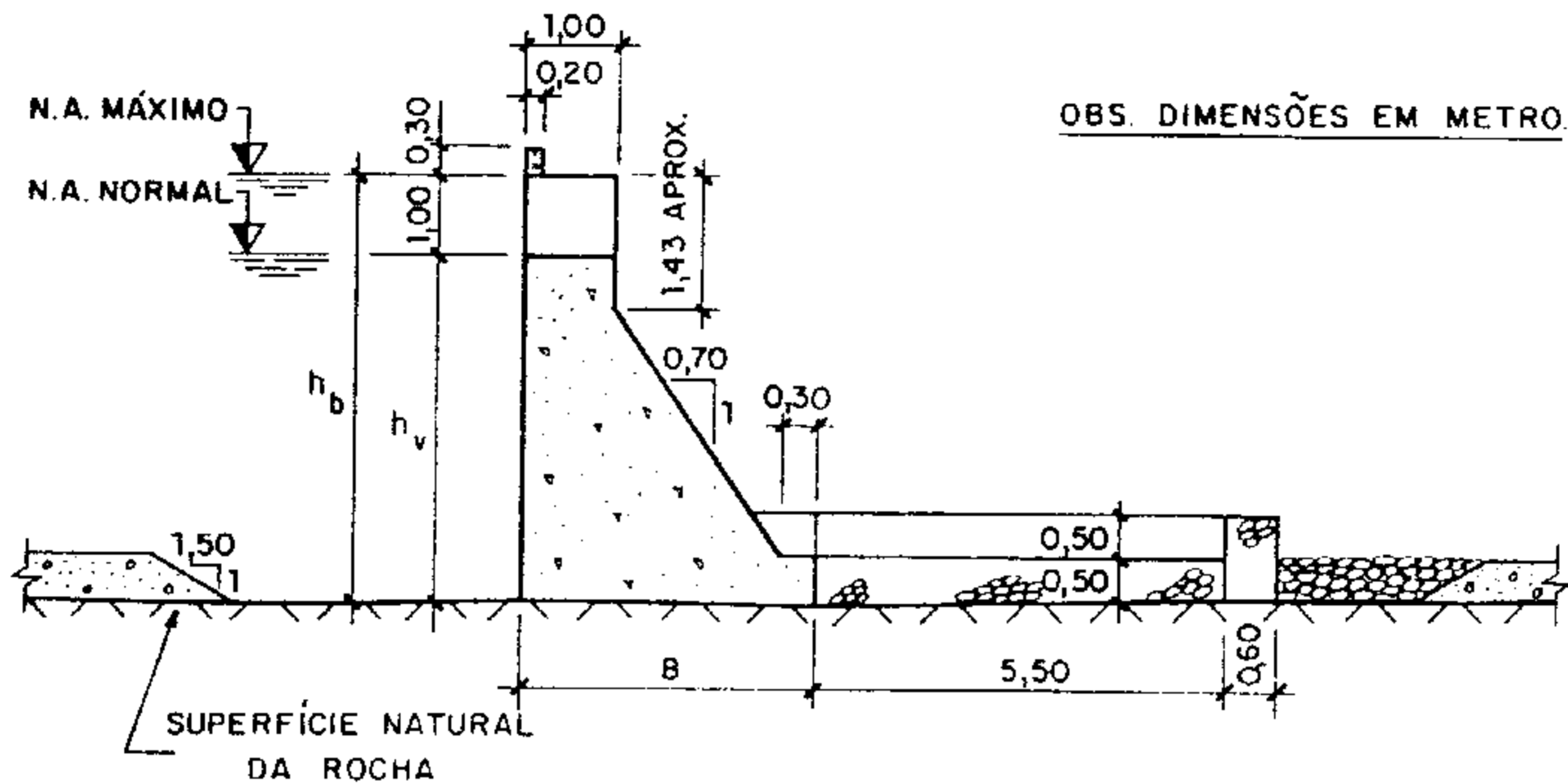


FIGURA 4.2.1.1.4/2

2 - Dimensões da Barragem, do Trecho Vertedouro e da Bacia de Dissipação

As dimensões principais das estruturas constam da tabela a baixo. A largura do trecho vertente deverá ser calculada conforme o item 4.2.1.2, sendo que os cálculos poderão indicar uma largura que ocupe toda extensão do vale, ou seja, toda a barragem será vertedoura.

TABELA 4.2.1.1.4/I

BARRAGEM DE CONCRETO - DIMENSÕES EM m		
$h_b$	$h_v$	B
2,00	1,00	1,40
2,50	1,50	1,25
3,00	2,00	2,10
3,50	2,50	2,45
4,00	3,00	2,80
4,50	3,50	3,15

### 3 - Distância entre as Juntas

As juntas entre os blocos da barragem devem ser distantes entre si no máximo 15 m, para evitar rachaduras no corpo da estrutura, através das quais possa haver vazamentos.

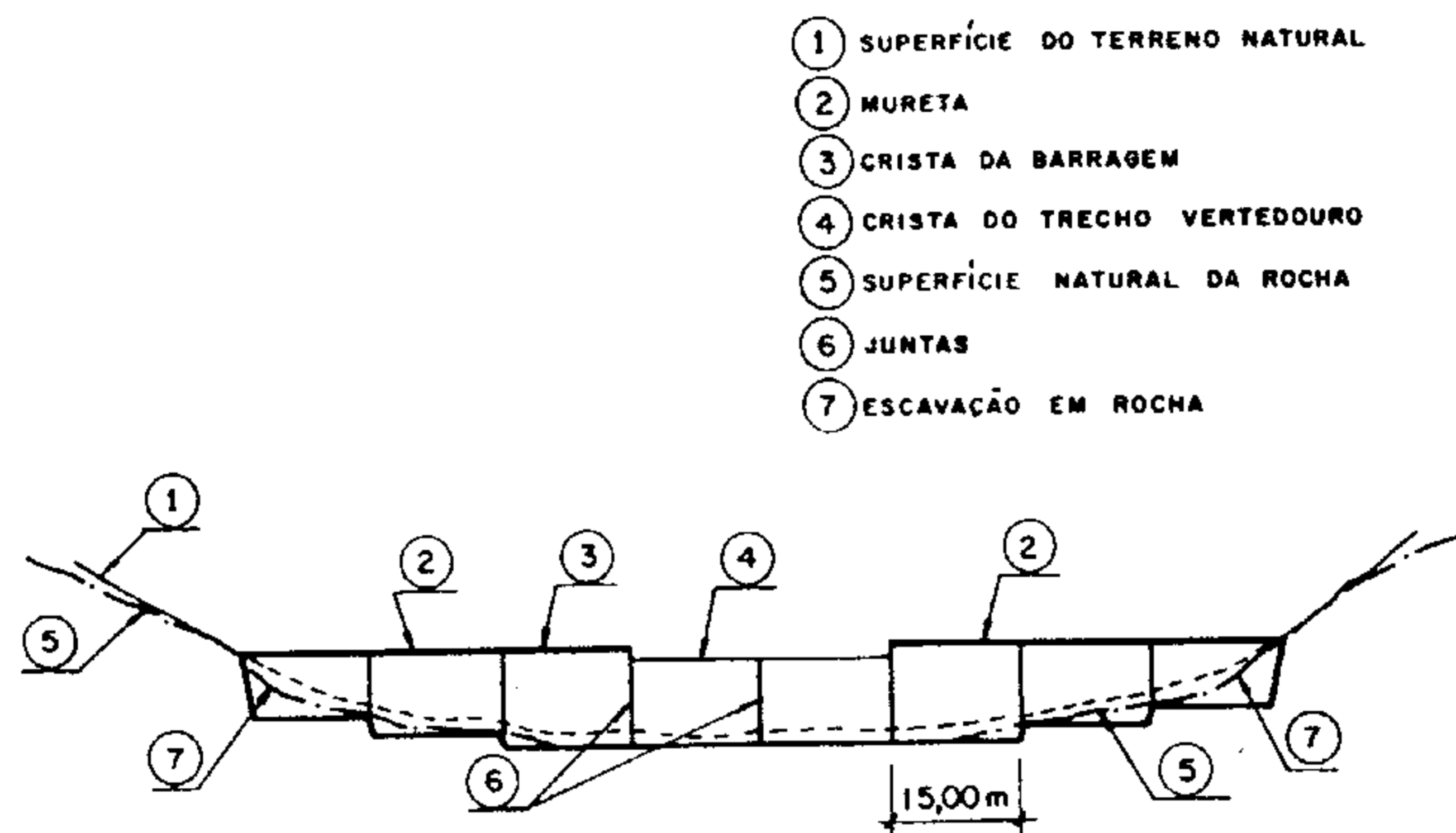


FIGURA 4.2.1.1.4/3

### E) Detalhes Construtivos Principais

#### 1 - Marcação das Obras

Os eixos de referência, alinhamentos e pontos característicos das obras deverão ser assinalados no terreno por meio de marcos cuidadosamente protegidos, de modo a ficarem bem definidos.

#### 2 - Limpeza das Áreas

Os serviços de limpeza compreenderão as operações de desmatamento, capina ou roçado e destocamento das áreas que serão ocupadas pelas construções. As áreas desmatadas e destocadas estender-se-ão por 5 m além do perímetro externo das obras permanentes.

### 3 - Escavações

Na faixa em que se assentará a barragem, deverá ser feita a remoção de todo e qualquer material terroso ou rocha decomposta, até ser atingida, em todos os pontos, a zona onde a rocha seja apropriada para fundação. Entende-se neste caso, por rocha apropriada, a rocha que apresente boas condições de impermeabilidade, ou pouco fraturamento, e possa suportar o peso da barragem sem grandes deformações.

A escavação em rocha será feita de preferência "a frio", através de cunhagem, procurando-se evitar o uso de explosivos, por se tratar de pequenos volumes de escavação, ou seja, apenas das grandes saliências.

A escavação deverá ser conduzida de tal modo que a superfície da rocha, depois de concluída a escavação, se apresente bem rugosa e plana.

Os trabalhos de escavação só deverão ser dados por concluídos depois que o local estiver limpo e desimpedido de fragmentos de rocha, lama ou detritos de qualquer natureza.

Os materiais extraídos das escavações deverão ser depositados em áreas fora do local da obra e do reservatório.

### 4 - Preparo das Fundações e Ombreiras

Deverão ser drenados os olhos d'água porventura encontrados na área das fundações, conforme especificado no item 4.2.1.1.1-E-Preparo de Fundações e Ombreiras da Barragem de Terra.

Nas ombreiras todos os matacões e pedras soltas deverão ser removidos; todas as irregularidades da superfície da rocha que formem taludes negativos ou balanços serão eliminados com remoção do material ou por enchimento com concreto.

### 5 - Concretagem das Estruturas

#### a) Materiais

O concreto será composto de cimento Portland, água e agregados, estes últimos constituídos de areia e brita ou cascalho. Os sacos de cimento deverão ser de 50 kg e serão empregados na ordem cronológica em que forem colocados na obra. Cada lote de cimento ensacado deverá ser armazenado de modo a ser facilmente determinável

sua data de chegada ao canteiro, devendo ser tomado todo o cuidado no sentido de protegê-lo da deterioração, e ser armazenado em pilhas de, no máximo, 10 sacos, durante um período nunca superior a 90 dias, em locais fechados e convenientemente ventilados.

- . A água destinada à preparação do concreto deverá ser limpa e não deverá conter sais, óleos, ácidos, álcalis e substâncias orgânicas. Caso não haja condições de verificação, deverá ser utilizada água potável.
- . A origem dos agregados graúdos deverá ser de pedreiras ou de depósitos, ou de cascalheira proveniente do leito do rio. As areias deverão ser provenientes de bancos situados no próprio leito do rio, em quantidade suficiente para permitir a execução das obras. Os agregados miúdo e graúdo deverão atender os requisitos granulométricos estabelecidos na Norma NBR-7211 para as graduações indicadas a seguir:

- areia fina, média ou grossa
- pedra 1, 2 ou 3

Os agregados deverão ser estocados em montes com um sistema de drenagem eficiente e provido de dispositivos que impeçam a introdução de materiais estranhos e misturas com modificação da granulometria.

#### b) Composição do Concreto

As quantidades de materiais, para obter 1 m<sup>3</sup> de concreto, serão as seguintes:

- . cimento = 250 kg, ou seja, 5 sacos de 50 kg cada;
- . agregados = as quantidades de areia e pedra são dadas no quadro a seguir, em litros; o número entre parênteses refere-se ao número de padiolas de 0,45 x 0,35 m de base e 0,30 m de altura;

TABELA 4.2.1.1.4/II

Areia		Pedra 1 até 19 mm	Pedra 2 até 25 mm	Pedra 3 até 38 mm
Fina até 2,4 mm	470 (10)	470 (10)	240 (5)	240 (5)
Média e grossa até 4,8 mm	710 (15)	470 (10)	240 (5)	240 (5)



. água = 120 a 150 litros, ou seja, 24 a 30 litros para cada saco de cimento.

Exemplo: para 1 m<sup>3</sup> de concreto, utilizar: 5 sacos de cimento; 15 padiolas de areia grossa; 10 padiolas de pedra 1; 5 padiolas de pedra 2; 5 padiolas de pedra 3; 120 a 150 litros de água.

c) Mistura e Transporte de Concreto

A dosagem dos materiais componentes de cada mistura será feita de acordo com o item b, isto é, o cimento medido por número inteiro de sacos; a pedra, a areia e a água, por volume.

Os componentes deverão ser introduzidos gradualmente na betoneira, podendo parte da água ser colocada depois de terminada a carga dos outros elementos da mistura.

O transporte dos componentes, já dosados, para a betoneira, deverá atender aos seguintes requisitos:

- . o cimento deverá ser colocado em recipiente separado dos agregados;
- . não deve ser permitido o contato do cimento com os agregados, a não ser na ocasião da mistura.

O tempo de mistura na betoneira não deverá ser inferior ao fornecido pela tabela seguinte.

TABELA 4.2.1.1.4/III

Capacidade de mistura da betoneira	Tempo mínimo de mistura
até 1,00 m <sup>3</sup>	1 1/2 minutos
até 2,00 m <sup>3</sup>	2 minutos

As betoneiras deverão descarregar diretamente nos recipientes de transporte do concreto.

O equipamento para transporte do concreto deverá ser do tipo que não possibilite a segregação dos agregados, perda da água de amassamento ou variação da trabalhabilidade da mistura, entre a saída da betoneira e a chegada ao local da concretagem.

#### d) Lançamento do Concreto

Todo lançamento de concreto deverá ser efetuado com dia claro. Seu lançamento, em qualquer peça da obra, só será iniciado quando puder ser completado nessas condições, a não ser que tenha sido instalada iluminação adequada. Deverá ser evitada a concretagem nos períodos quentes, quando a temperatura ambiente for maior que 32°C.

Não deverá ser lançado concreto enquanto o preparo e tratamento das fundações, as fôrmas e os escoramentos não tiverem sido acabados e inspecionados.

A colocação do concreto será contínua e conduzida de forma a não haver interrupções superiores a duas horas, sendo que todo concreto deverá ser adensado por vibração. No caso de ser necessária uma junta de construção, imprevista devido a chuvas inesperadas, defeitos de equipamentos ou outra situação anormal, as seguintes precauções devem ser tomadas:

- . deverá ser formada imediatamente uma rampa suave de, aproximadamente, 4:1 (horizontal: vertical), na camada que está sendo concretada, para escoamento da água;
- . todo agregado solto deve ser removido;
- . se o lançamento for reiniciado até 3 horas após a interrupção, nenhum tratamento para a junta será necessário; se o lançamento for reiniciado após 3 horas, a superfície deverá ser varrida intensamente com escova de aço e lavada após, para retirada do pó e dos resíduos.

O concreto não será exposto à ação de água de cura antes que tenha endurecido o suficiente, para que não seja danificado pelo umedecimento da superfície.

Todo o concreto deverá ser lançado de uma altura inferior a 2 m, para evitar segregação de seus componentes.

O concreto será lançado o mais próximo possível de sua posição final, não sendo depositado em grande quantidade em determinados pontos, para depois ser espalhado ou manipulado ao longo das fôrmas.

A concretagem do maciço será executada em lances independentes, de 1,5 m de altura. Cada lance será concretado, em princípio, por faixas de 2 m de largura, paralelas ao eixo, e em camadas de 0,5 m de altura até perfazer 1,5 m de altura.

A camada superior deverá ser densada antes que a inferior tenha endurecido. No caso de emprego de vibrador de imersão, este deverá penetrar profundamente na parte superior da camada subjacente.

As camadas que forem concluídas num dia de trabalho ou que tiverem sido concretadas pouco antes de se interromperem temporariamente as operações, serão limpas logo que a superfície tiver endurecido o suficiente, retirando-se toda nata de cimento e todos os materiais estranhos.

As superfícies de concreto deverão permanecer úmidas até os sete dias de idade. O meio empregado para a cura poderá ser a cobertura dessas superfícies com areia molhada, rega ou qualquer método que as mantenha continuamente molhadas.

As superfícies de concreto destinadas a ficarem aparentes e que não estiverem em contato com moldes durante a concretagem deverão ser alisadas enquanto o concreto ainda estiver fresco.

A superfície do concreto será protegida adequadamente da ação direta do sol e da chuva, de águas em movimento e de agentes mecânicos, e deverá ser mantida úmida desde o lançamento até pelo menos 7 dias após. A água utilizada para cura deverá ser potável. As fôrmas de madeira que permaneçam no local deverão ser mantidas úmidas até o final da cura, para evitar ressecamento da superfície de concreto.

Quando a concretagem for suspensa por períodos de tempo superior àquele em que se iniciou a pega, o ponto onde tiver sido suspensa será considerado uma junta de concretagem. A localização das juntas de concretagem deverá ser planejada antecipadamente e a concretagem será contínua, de junta a junta.

No caso de se ter juntas de concretagem, a superfície que servirá de junta deverá ser varrida intensamente com escova de aço, no período de 3 a 6 horas após a concretagem.

Para unir concreto fresco com outro já endurecido, a superfície da parte já endurecida deverá ser raspada para retirar a argamassa superficial, o material solto e os corpos estranhos. Esta superfície, lavada e limpa com escovas de aço, deverá ser molhada e conservada assim até o reinício da concretagem.

As juntas verticais entre os blocos serão do tipo "junta seca" e deverão ser construídas de modo a permitir absoluta liberdade de movimento entre os blocos.

Para minimizar as perdas de água pelas juntas de contração, está prevista uma vedação entre os blocos, de acordo com a figura abaixo.

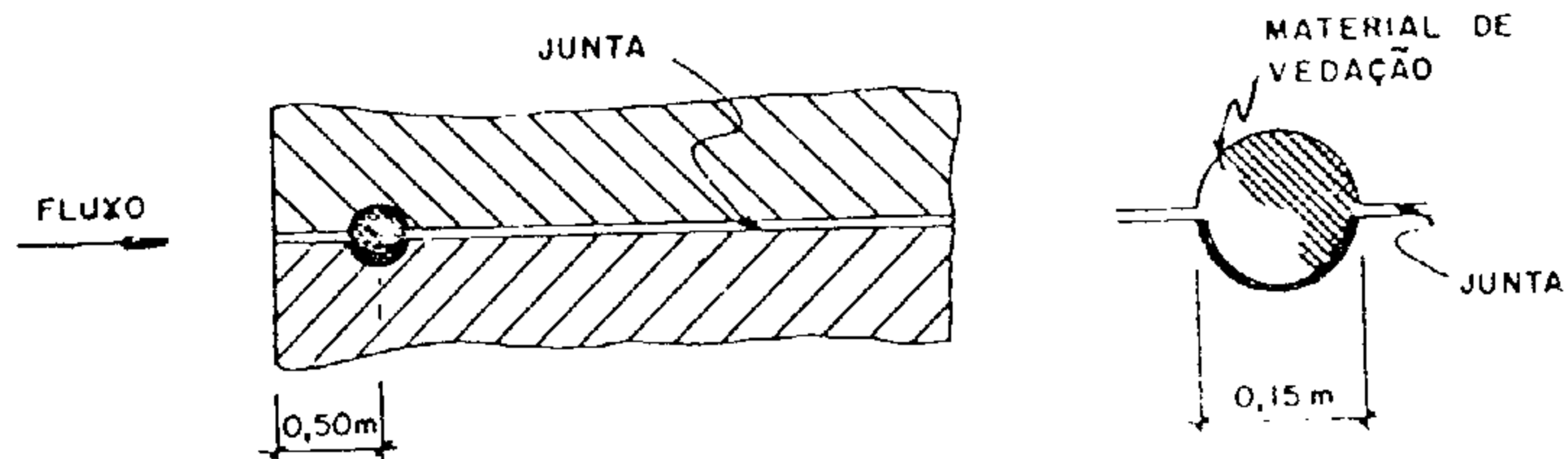


FIGURA 4.2.1.1.4/4

Para construção da ranhura será utilizada meia cana de tubo PVC de diâmetro mínimo de 15 cm.

Após a concretagem do primeiro bloco, a meia cana poderá ser retirada, ficando, entretanto, perdida na concretagem do bloco adjacente.

Como material de vedação será utilizada uma mistura plástica, moldável com a mão, de argila com pó de serragem, convenientemente homogeneizada. Alternativamente, poderá ser utilizado asfalto para preenchimento do orifício de vedação da junta.

O material deverá ser colocado na ranhura em camadas de aproximadamente 20 cm, recebendo uma leve compactação superficial. Antes de seu enchimento, a ranhura deverá ser umedecida.

Toda a madeira empregada nas fôrmas será isenta de furros, nós, fendas, curvaturas e outros defeitos que prejudiquem a sua resistência ou a aparência da superfície terminada do concreto; a madeira empregada na construção de fôrmas, depois de aparelhada, deverá ter pelo menos 2 cm de espessura.

As fôrmas de madeira serão molhadas até a saturação, antes do lançamento do concreto.

As fôrmas só deverão ser retiradas depois de 14 dias, sendo que a retirada dos suportes será feita lentamente, usando-se cunhas ou outros dispositivos, para que as cargas não sejam apoiadas bruscamente sobre peças novas.

## 6 - Construção da Bacia de Dissipação

Os serviços de alvenaria de pedra argamassada serão executados com pedra extraída de pedreira e/ou com material proveniente de escavação da rocha de fundação, ou ainda, pedras existentes no leito do rio. As pedras deverão ter uma dimensão máxima de 30 cm e deverão ser colocadas cuidadosamente em camadas, de tal forma que cada pedra seja envolvida completamente pela argamassa a ser utilizada, cujo traço, dosado em volume, será de 1:4. Antes da colocação final, as pedras serão prévia e fortemente molhadas.

A alvenaria será executada em camadas respaldadas, horizontalmente, com o necessário travamento, formando um todo maciço sem vazios. A primeira fiada será constituída de pedras grandes cuidadosamente escolhidas, colocadas sobre um leito de concreto magro.

Ao redor da bacia de dissipação, externamente, deverá ser lançada uma camada de pedras com 0,5 m de espessura, e dimensões de pedra igual ou superior a 20 cm. O lançamento será feito em uma faixa de 2 m de largura.

## 7 - Utilização de Concreto Ciclópic

Alternativamente, para construção de barragem, poderá ser usado concreto ciclópico, que é um tipo de concreto que consiste na introdução, no concreto normal, de pedras de mão ou rachões com o objetivo de reduzir o consumo de cimento.

O concreto normal deve ser o concreto com agregado de diâmetro máximo 25 mm (pedra 2), obedecendo o seguinte traço, expresso em quantidade de material por m<sup>3</sup> de concreto.

- . cimento = 300 kg, ou seja, 6 sacos de 50 kg cada.
- . agregados = as quantidades de areia e pedra são dadas no quadro a seguir, em litros

TABELA 4.2.1.1.4/IV

Areia		Pedra 1 até 19 mm	Pedra 2 até 25 mm
Fina até 2,4 mm	560 (12)	560 (12)	560 (12)
Grossa até 4,8 mm	850 (18)	560 (12)	560 (12)

. água = 140 a 180 litros, ou seja, 24 a 30 litros para cada saco de cimento;

. os números entre parênteses referem-se ao número de pedras de 0,45 x 0,35 m e 0,30 m de altura.

A pedra de mão ou rachão deve ter tamanho não superior a aproximadamente 350 mm.

Na execução do concreto ciclópico deve-se inicialmente lançar e adensar uma camada de concreto normal, com espessura aproximada de 10 cm, sobre a qual serão colocadas as pedras de mão, devidamente lavadas e dispostas de forma a que haja entre elas um espaçamento de 20 cm.

A seguir, lança-se o concreto normal no espaço compreendido entre os rachões e sobre os mesmos, de forma a se ter uma cobertura com espessura de 5 a 10 cm, após o que realiza-se a operação de adensamento.

Deve-se tomar cuidado para evitar o aparecimento de rachões salientes no topo da última camada que irá se constituir na junta de concretagem.

Os cuidados para cura do concreto ciclópico e para as juntas de construção deverão ser os mesmos anteriormente descritos para o concreto comum.

#### 4.2.1.1.5 Barragem Ambursen

##### A) Considerações Sobre o Tipo

A barragem tipo Ambursen consiste de uma estrutura aliviada, em que a estabilidade é assegurada pelo peso da água sobre o paramento inclinado, de madeira ou eventualmente de peças pré-moldadas de concreto armado, que transmite os esforços à fundação através dos contrafortes de concreto ou alvenaria de pedra argamassada.

As pranchas de madeira são encaixadas em ranhuras existentes nas faces laterais dos contrafortes.

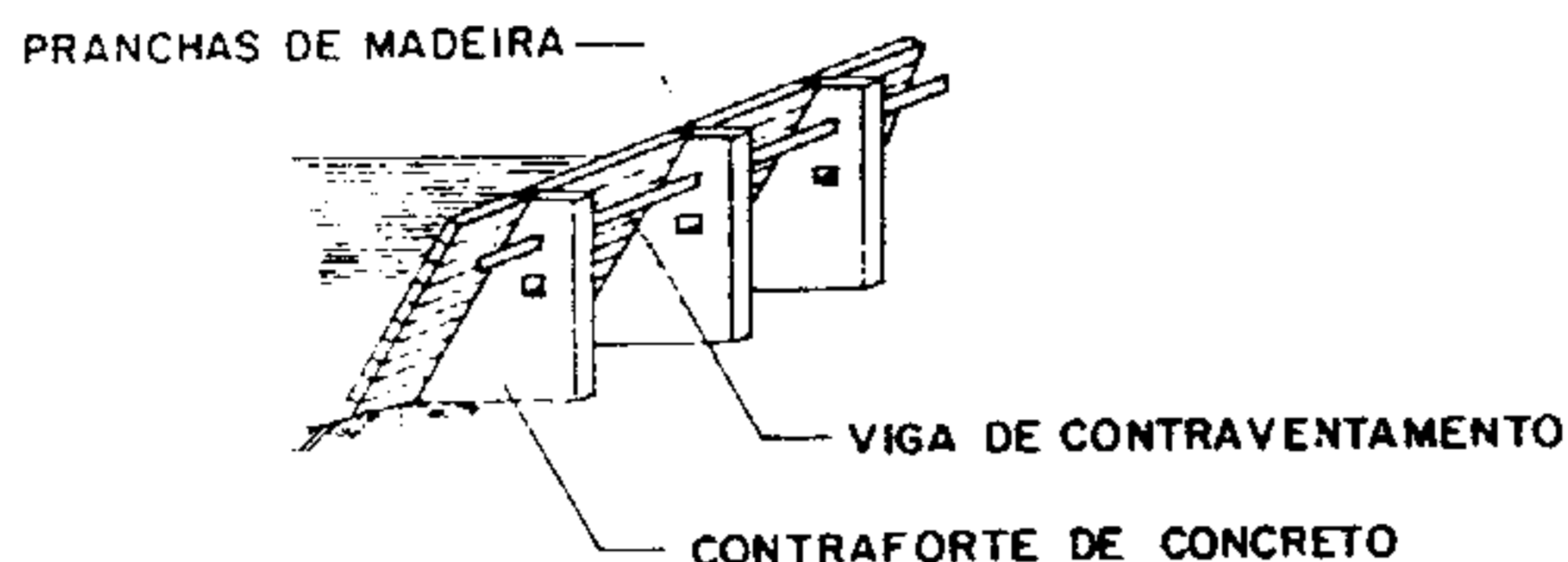


FIGURA 4.2.1.1.5/1

Possui um trecho central rebaixado, o vertedouro, geralmente coincidente com a parte central da calha do rio, destinado a permitir a passagem das águas excedentes do reservatório.

Este tipo de barragem é recomendável para vales relativamente estreitos, com cerca de 100 m, onde o represamento requer alturas em torno de 5 m, com boas fundações em rocha pouco fraturada, e onde a construção de um canal extravasor lateral é problemática devido a encostas íngremes e rochosas.

As principais vantagens deste tipo de barragem em relação à barragem de concreto são:

- . volume de concreto cerca de 4 a 5 vezes menor;
- . maiores facilidades no desvio do rio;
- . a subpressão ou pressão das águas de percolação é praticamente eliminada;
- . as pressões transmitidas à fundação são mínimas;

- . a própria água contribui para a estabilidade da estrutura;
- . em caso de necessidade, permite a restituição do rio à sua situação original, através da retirada das pranchas de madeira do paramento de montante.

Os principais inconvenientes deste tipo de barragem são:

- . vida útil reduzida das pranchas de madeira do paramento de montante, embora em certos casos, para alturas maiores e vales com larguras reduzidas, possam ser usados pranchões de concreto armado, pré-moldados;
- . perda significativa de volume pela passagem de água entre as junções dos pranchões que constituem o paramento de montante.

#### B) Adequabilidade do Local do Aproveitamento

Para ser viável a adoção da barragem Ambursen, o local escolhido para o aproveitamento deve ter as seguintes características:

- . a largura do vale, na cota da crista da barragem, deve ser a mais estreita do trecho aproveitável do rio;
- . no caso de trechos com corredeiras, o barramento deve ser feito no topo ou início da corredeira;
- . disponibilidade, nas proximidades do local, de pedreiras para obtenção da brita, jazidas de areia facilmente exploráveis e madeira de lei para fabricação das pranchas;
- . facilidade de conseguir, na região, cimento em quantidade suficiente;
- . as fundações e ombreiras ou encostas, no local da barragem, devem ser de rocha resistente, pouco fraturada. Se as fundações ícrem recobertas por uma camada de aluvião, esta não deve ser muito espessa, não atingindo mais de 2 m, para não encarecer a obra com os trabalhos de remoção da mesma.

#### C) Seção Típica e suas Características

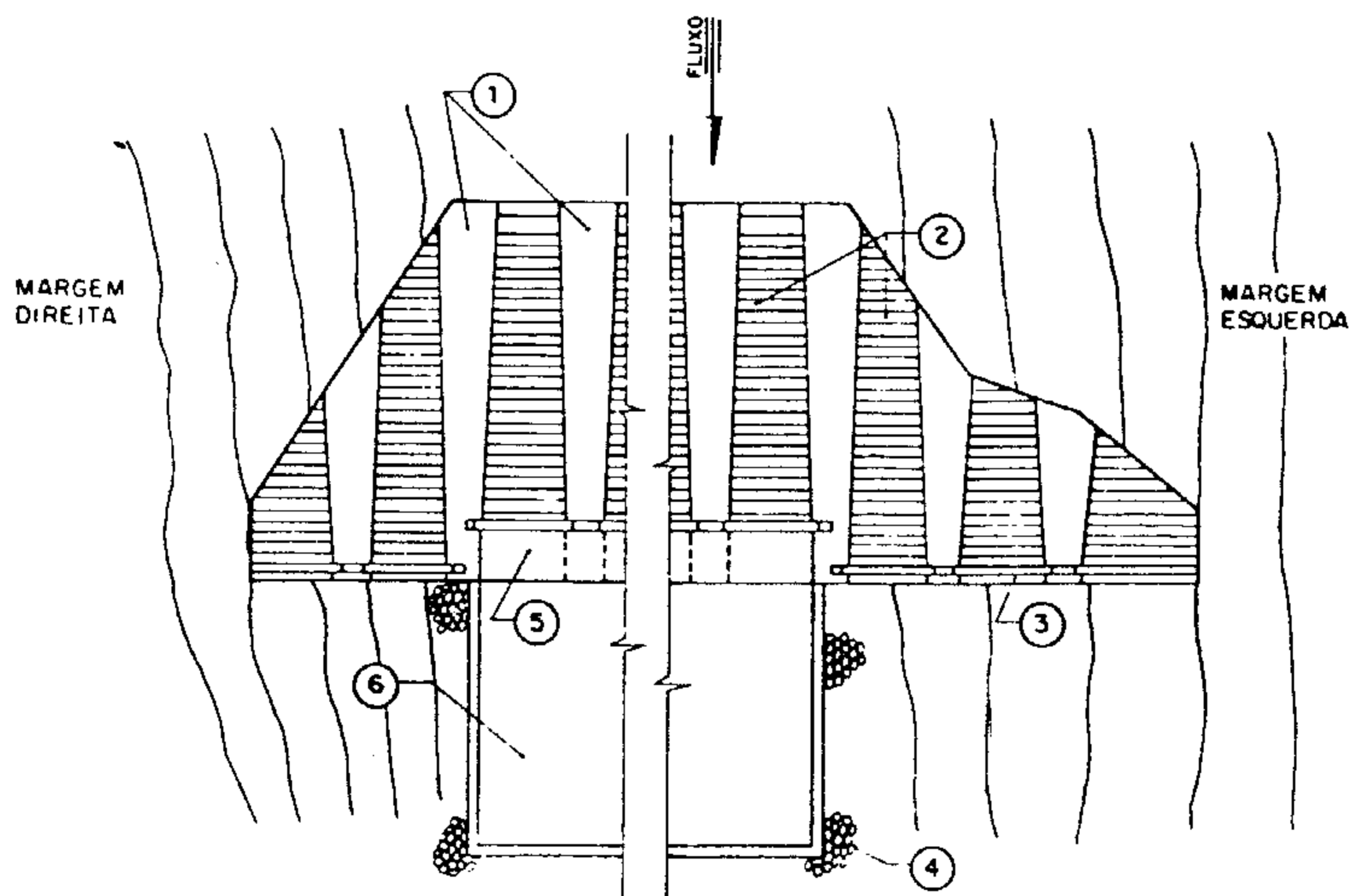
- . a seção típica recomendada para as barragens tipo Ambursen consta dos ANEXOS 4.2.1.1.5/A e 4.2.1.1.5/B.
- . neste tipo de barragem, os contrafortes deverão estar assentados em rocha sã, livre de defeitos, fraturas, etc. Caso a superfície da rocha seja boa, plana, ou em aclave de montante para jusante, o engaste torna-se desnecessário, devendo ser apicoada a superfície da rocha para torná-la áspera e satisfatória para a aderência do concreto;



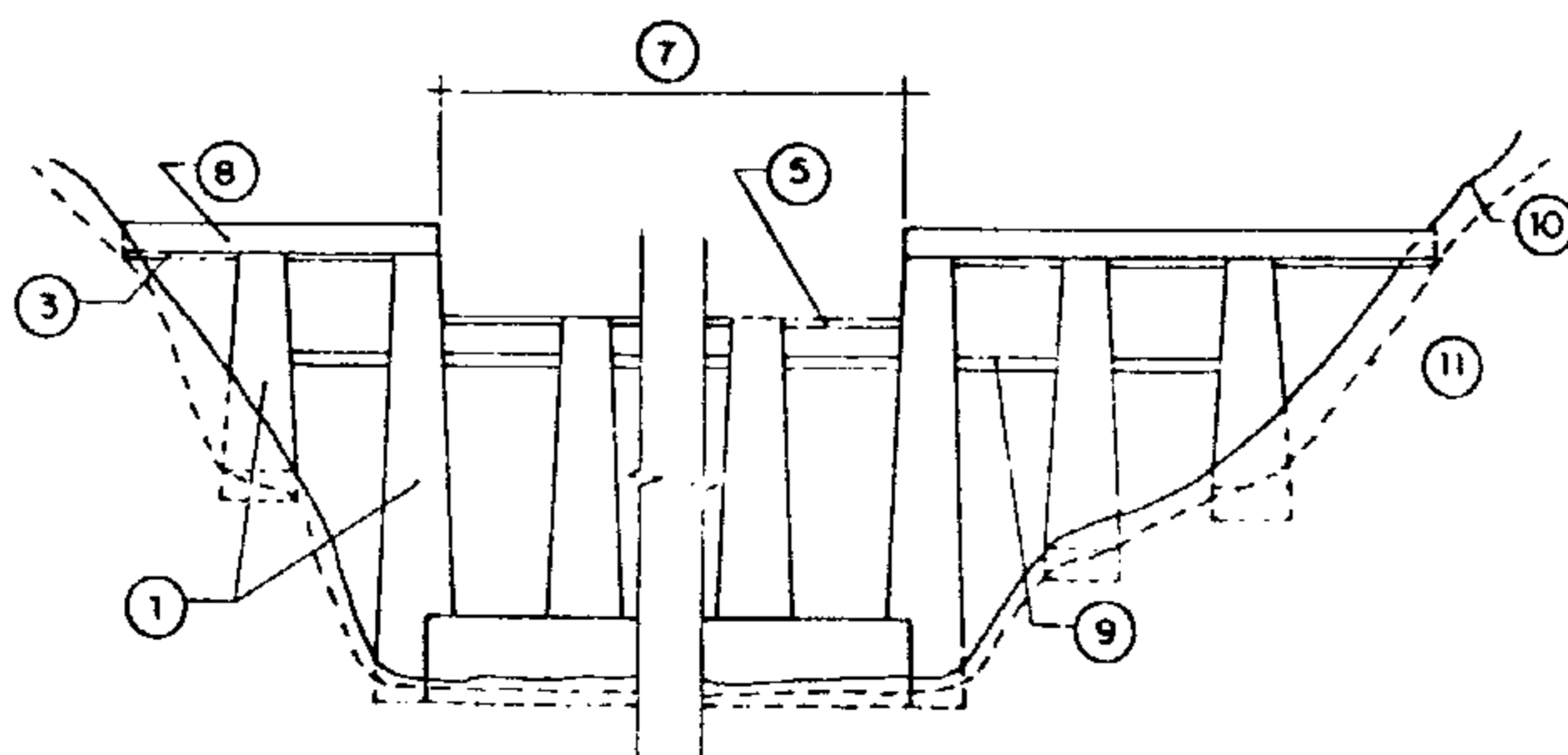
- . no trecho situado a jusante da barragem deverá ser feita uma bacia de dissipação, ou tanque, cuja função é amortecer o impacto da água que cai pela crista do trecho rebaixado. O tanque deverá ter a mesma largura do vertedouro, e no seu fundo deverá ser feita uma laje de alvenaria de pedra argamassada, para proteger a rocha contra erosões. Ao redor do tanque será jogada uma camada de pedra de proteção para evitar que a água que transborda do tanque danifique a superfície da rocha;
- . na crista do trecho não vertente deverá ser construída uma mureta de proteção contra ondas, em concreto ou alvenaria de tijolos maciços;
- . os contrafortes serão contraventados através de vigas de concreto armado, e possuirão ainda aberturas para aeração a fim de evitar a rarefação no interior da estrutura;
- . na crista do vertedouro será executada uma laje em concreto armado e no trecho não vertente da barragem deverá ser construída uma passarela, também em concreto armado.

Legenda:

- |                                     |                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ① - Contraforte de concreto         | ⑦ - vertedouro                    |
| ② - Pranchas de madeira             | ⑧ - Mureta                        |
| ③ - Passarela da crista da barragem | ⑨ - viga de contraventamento      |
| ④ - Enrocamento da proteção         | ⑩ - Superfície natural do terreno |
| ⑤ - Laje da crista do vertedouro    | ⑪ - Superfície natural da rocha   |
| ⑥ - Bacia de dissipação             |                                   |



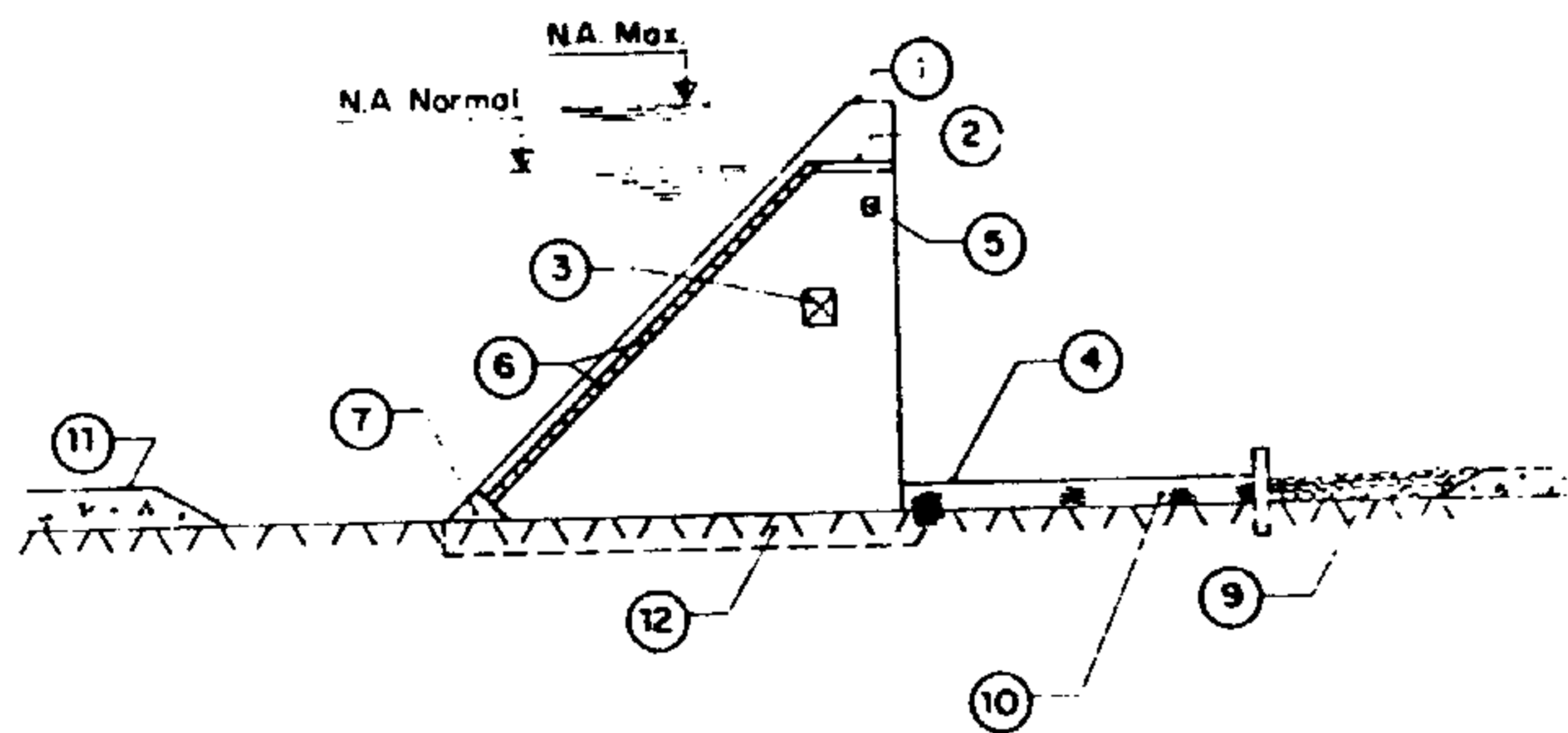
PLANTA



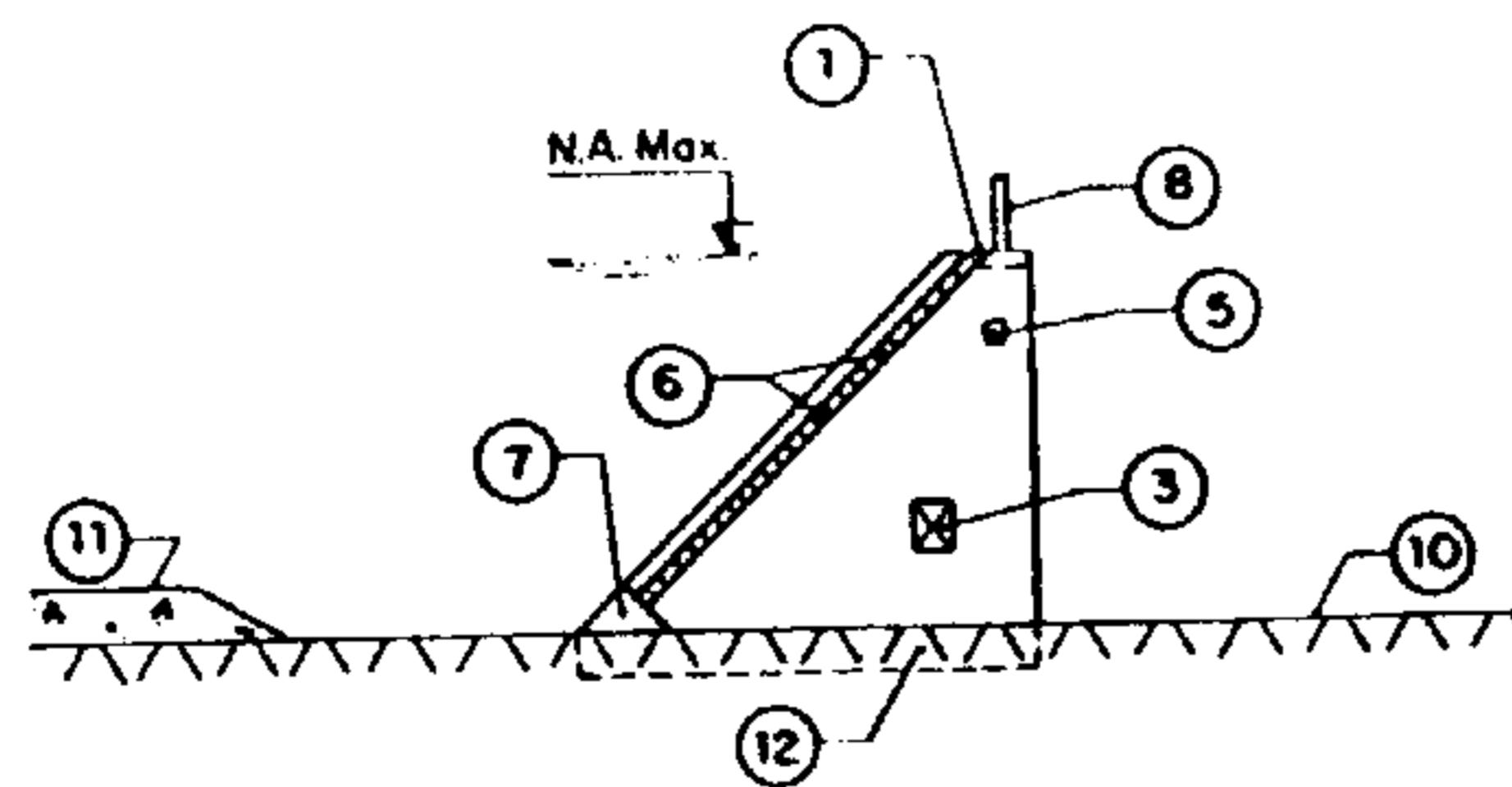
VISTA DE JUSANTE

## Legenda:

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| ① - Crista da barragem       | ⑦ - Cunho de apoio das pranchas                              |
| ② - Crista do vertedouro     | ⑧ - Mureta de proteção                                       |
| ③ - Abertura de aeração      | ⑨ - Enrocamento de proteção                                  |
| ④ - Bacia de dissipação      | ⑩ - Superfície natural da rocha                              |
| ⑤ - Viga de contraventamento | ⑪ - Superfície natural do terreno                            |
| ⑥ - Pranchas de madeira      | ⑫ - Engaste do contraforte na fundação do terreno (eventual) |



CORTE PELO VERTEDOURO



CORTE PELA BARRAGEM

#### D) Dimensões Básicas

##### 1 - Cota da Crista da Barragem

A cota da crista da barragem e as dimensões da mureta de proteção deverão ser estipuladas da mesma forma que para a barragem de concreto (ver item 4.2.1.1.4.D.1).

##### 2 - Dimensões da Barragem, do Trecho Vertedouro e da Bacia de Dissipação

As dimensões da barragem, do trecho vertedouro e das pranchas de madeira encontram-se tabeladas a seguir. As letras correspondentes às dimensões estão consignadas nos desenhos em anexo, bem como as dimensões fixas independentes da altura da barragem.

As dimensões da bacia de dissipação deverão ser estipuladas da mesma forma que para a barragem de alvenaria de pedra argamassada (ver item 4.2.1.1.3.D).

TABELA 4.2.1.1.5/I

#### BARRAGEM TIPO AMBURSEN

#### DIMENSÕES BÁSICAS

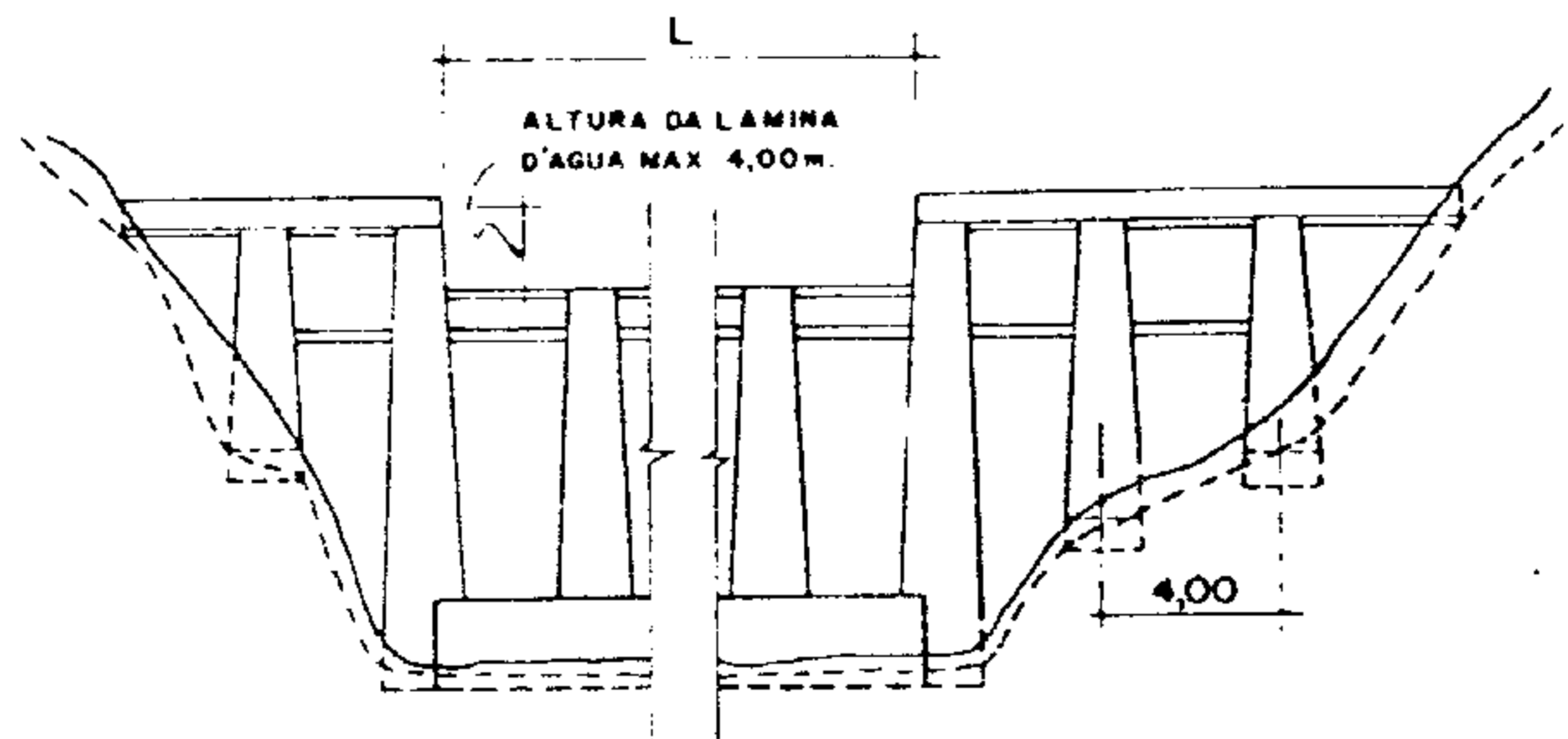
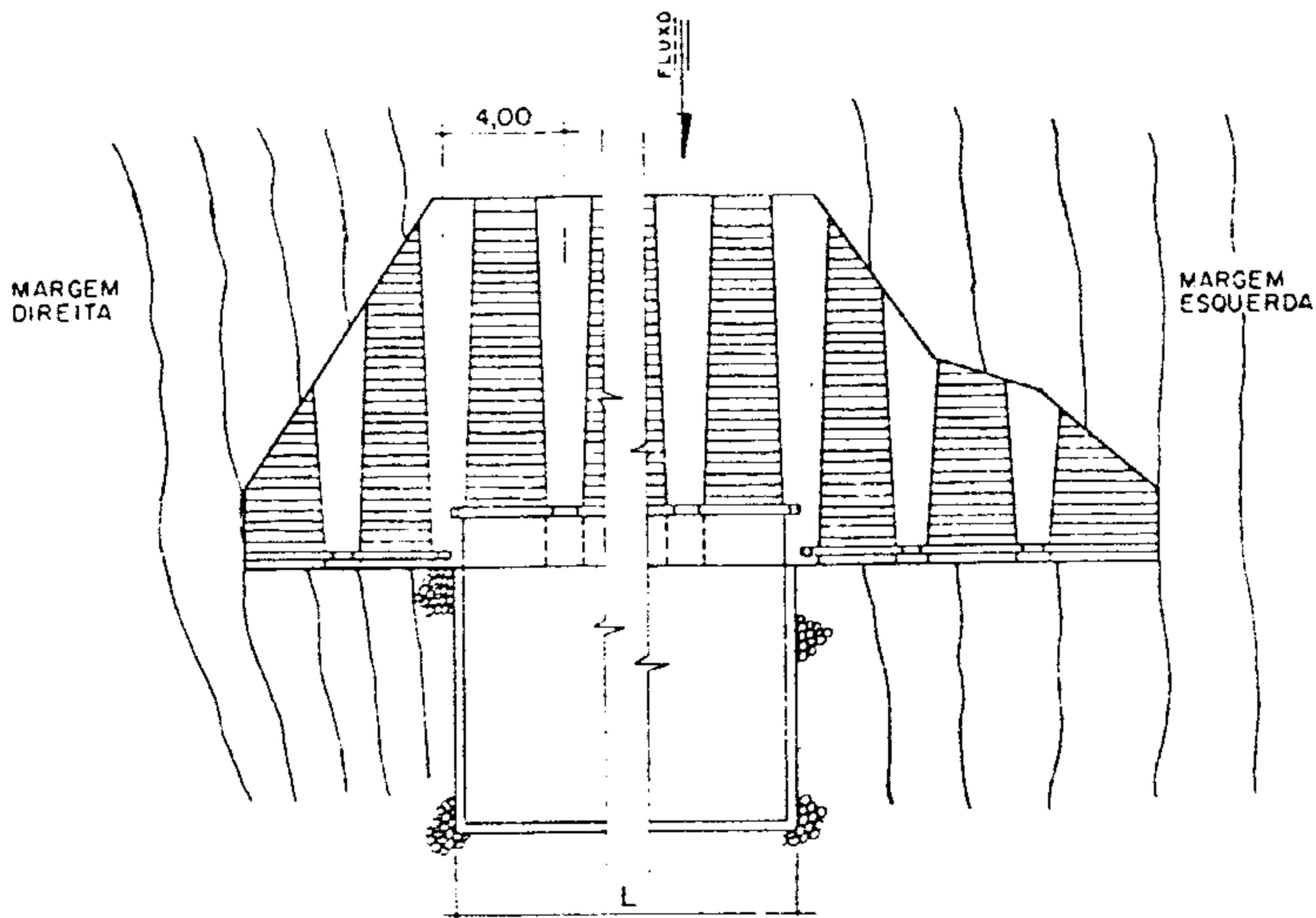
Altura da barragem (h <sub>b</sub> )	Altura do vertedouro (P)	Largura da base (B)	Espessura inferior do contraforte (T)	Seção da prancha de madeira	Posição do eixo da viga de contravent. (K)
(m)	(m)	(m)	(m)	(m) x (m)	(m)
4	3	4,80			
5	4	5,80	1,10	0,20 x 0,20	0,50
6	5	6,80			

#### E) Detalhes Construtivos

Os detalhes construtivos referentes a marcação das obras, limpeza das áreas, escavação, preparo de fundação e ombreiras, concretagem dos contrafortes e construção da bacia de dissipação são os mesmos descritos no item 4.2.1.1.4.E - Barragem de Concreto, com as devidas adaptações aos contrafortes, com exceção dos parágrafos relativos a juntas de dilatação. Os detalhes construtivos específicos da barragem tipo Ambursen são descritos a seguir.

4.2.1.1.5/C

ANEXO



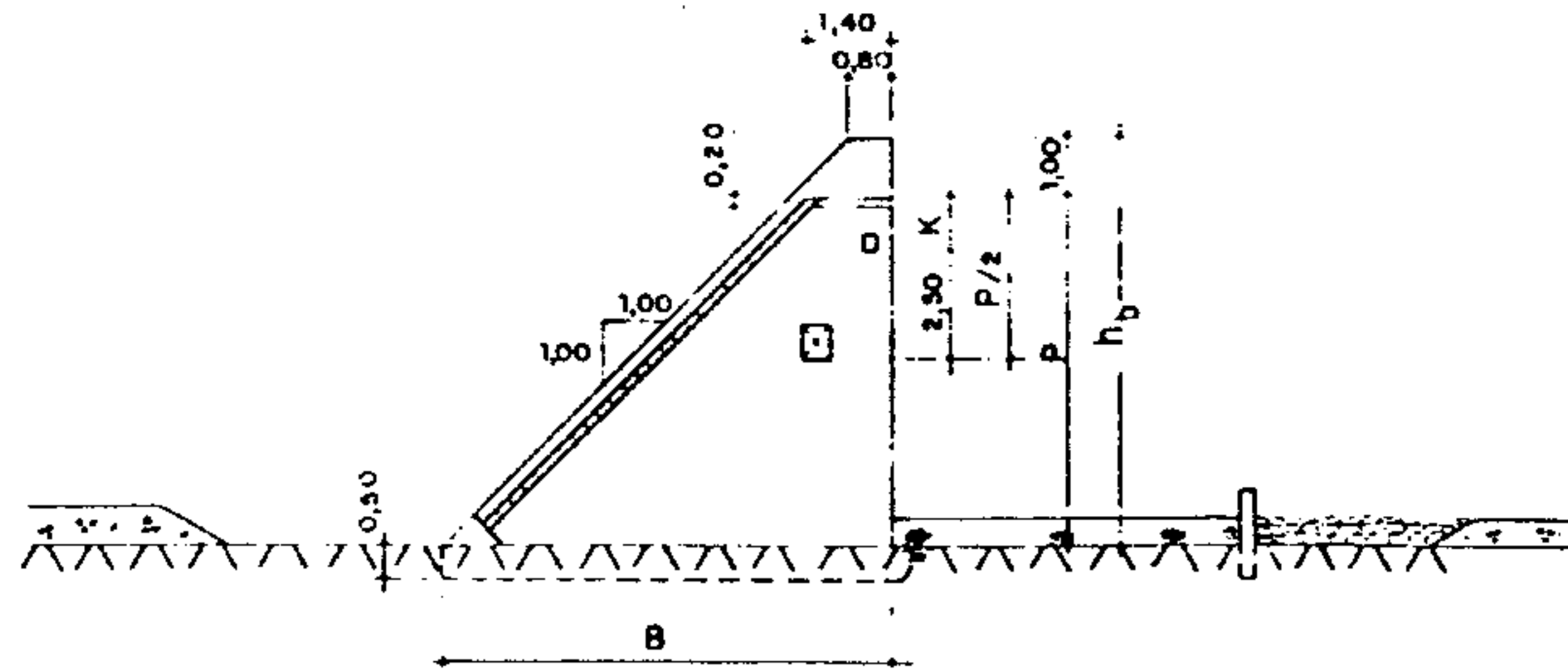
VISTA DE JUSANTE

Notas:

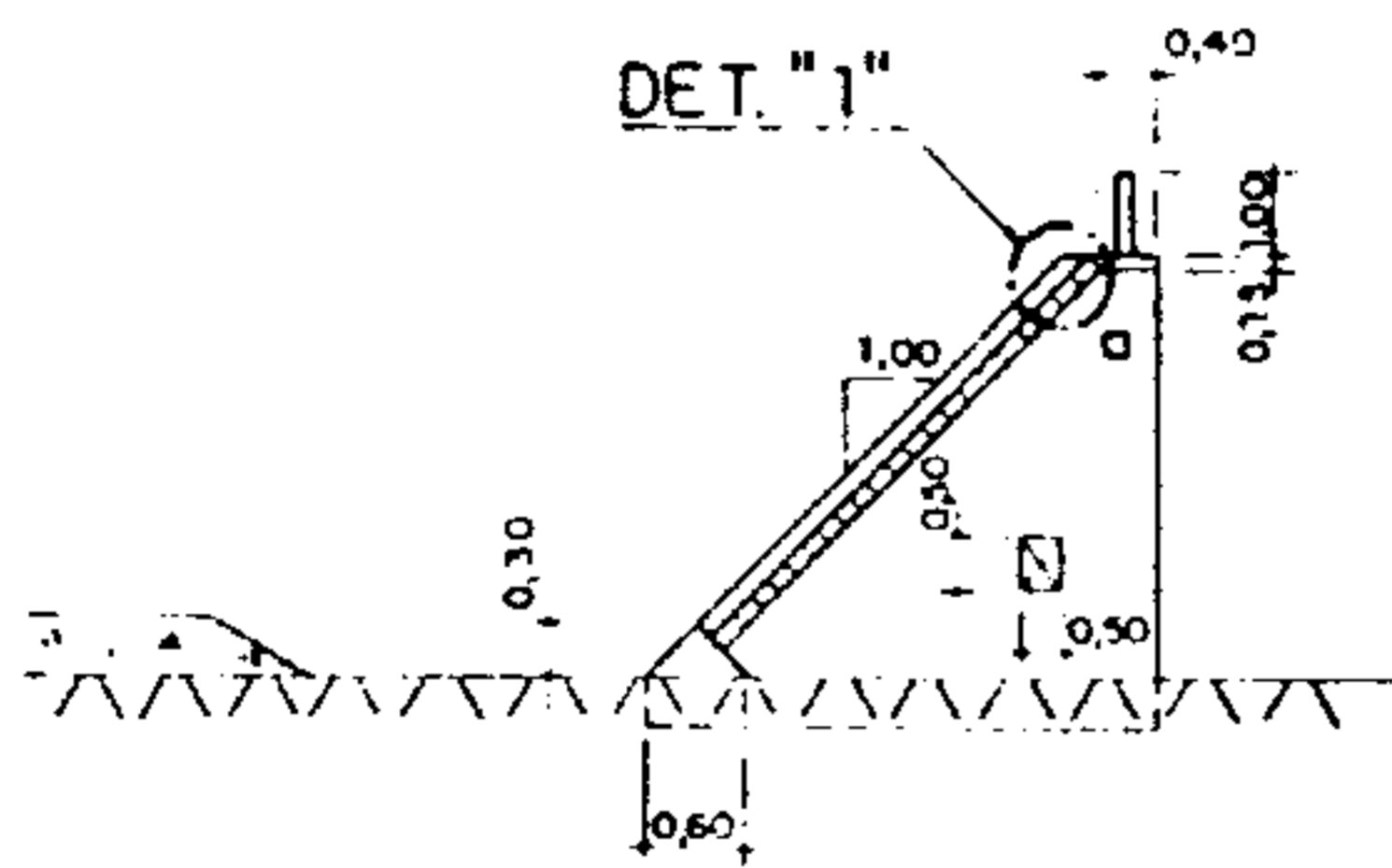
- 1- As dimensões estão em metro.
- 2- A largura do vertedouro "L", deverá ser calculada conforme item 4.2.1.2 - vertedouro.

Nota:

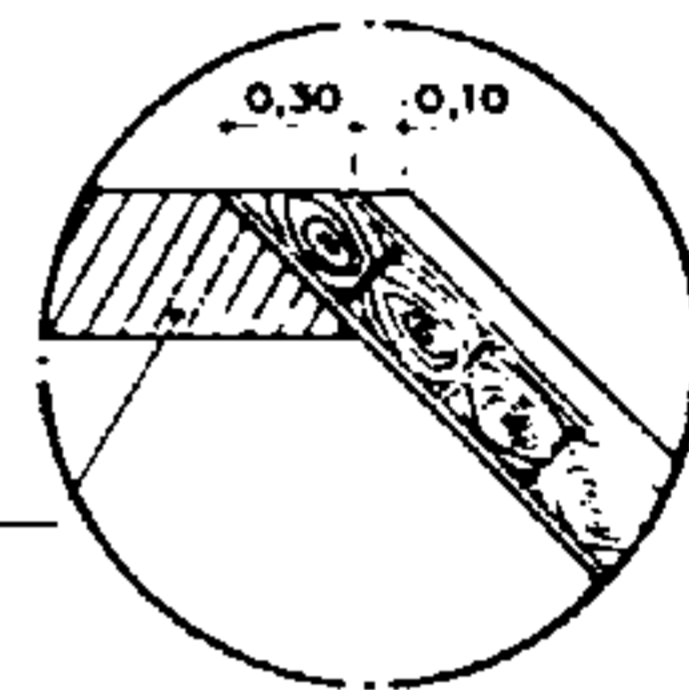
1- As dimensões estão em metro.



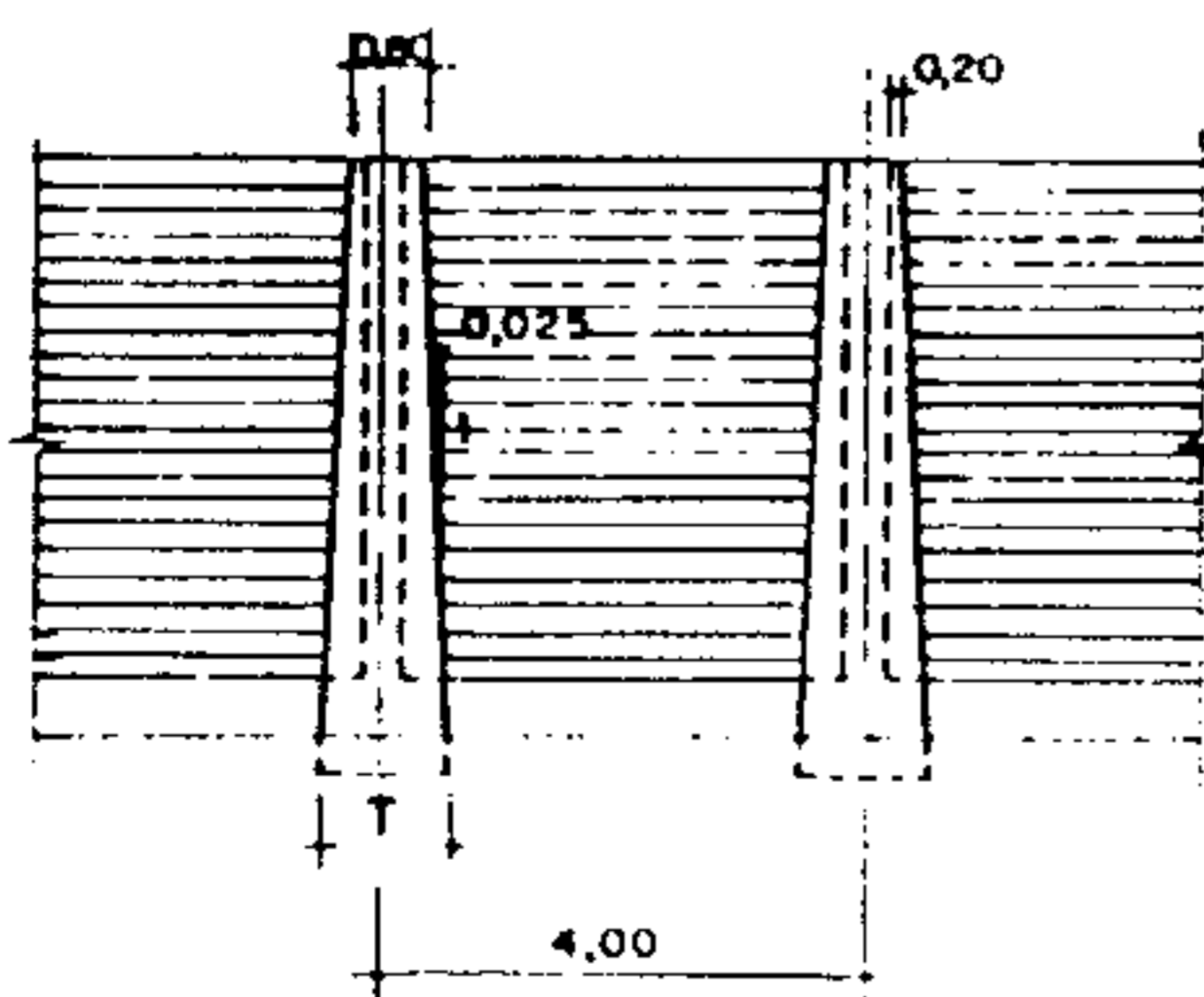
CORTE PELO VERTEDOIRO



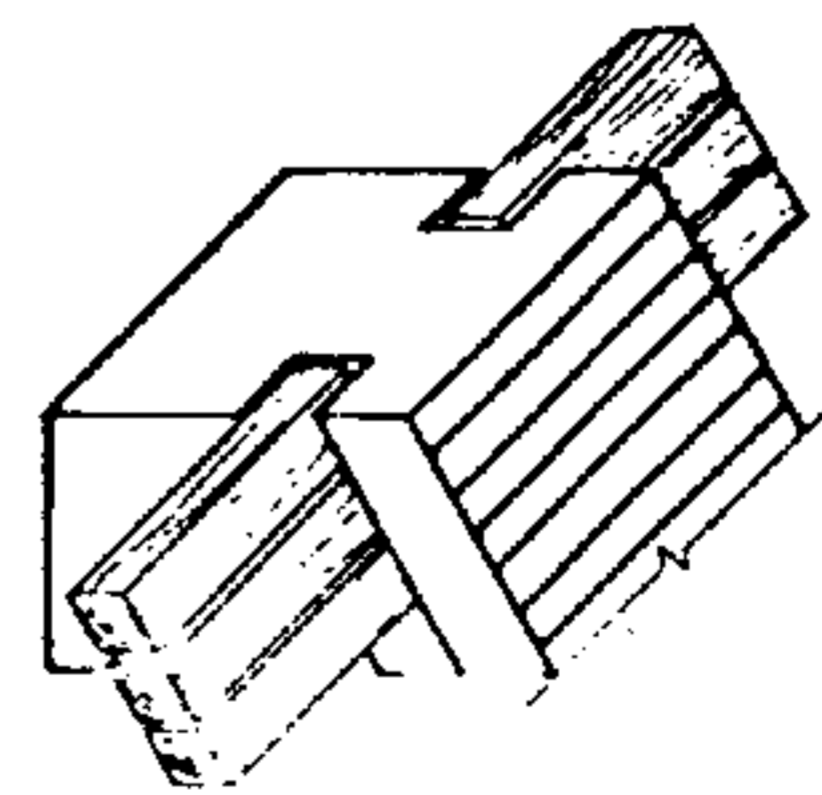
CORTE PELA BARRAGEM



DETALHE "1"



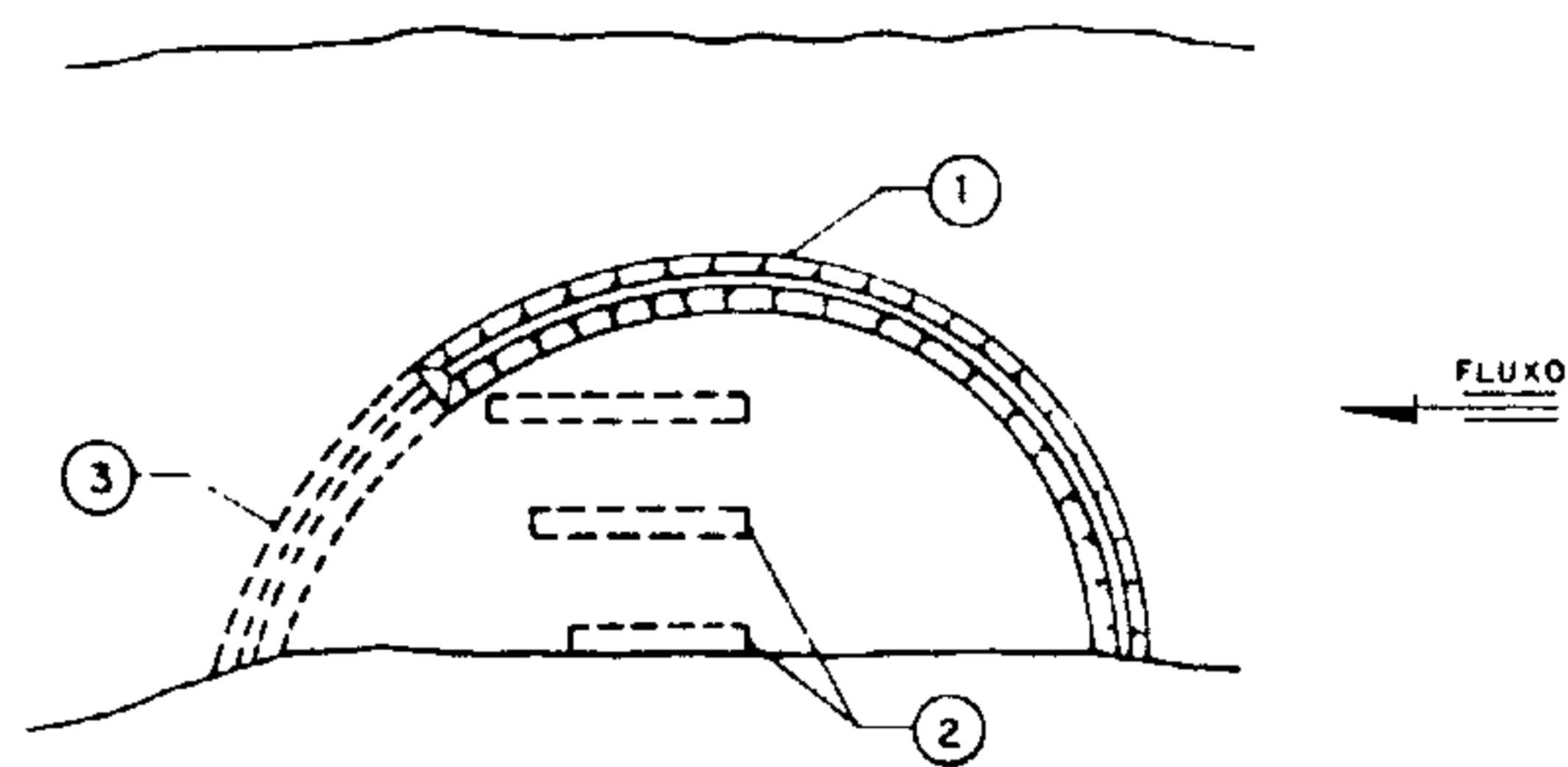
DIMENSÕES DO CONTRAFORTE



PERSPECTIVA DO ENCAIXE DAS PRANCHAS NAS RANHURAS DOS CONTRAFORTES

## 1 - Desvio do Rio

O desvio do rio é feito normalmente em duas fases. Na 1ª fase a ensecadaeira estreita parcialmente o rio e são construídos os primeiros contrafortes. Caso a barragem seja prevista no topo de uma corredeira, a ensecadaeira de jusante é desnecessária, se houver um desnível suficiente. Em um dos vãos, entre os contrafortes construídos, de preferência na parte mais profunda do vale, deverá ser deixada uma passagem para a água escoar na época do fechamento dos vãos. A passagem deverá estar abaixo do nível previsto para assentar a la. prancha do referido vão.



DESVIO 1ª FASE

Legenda:

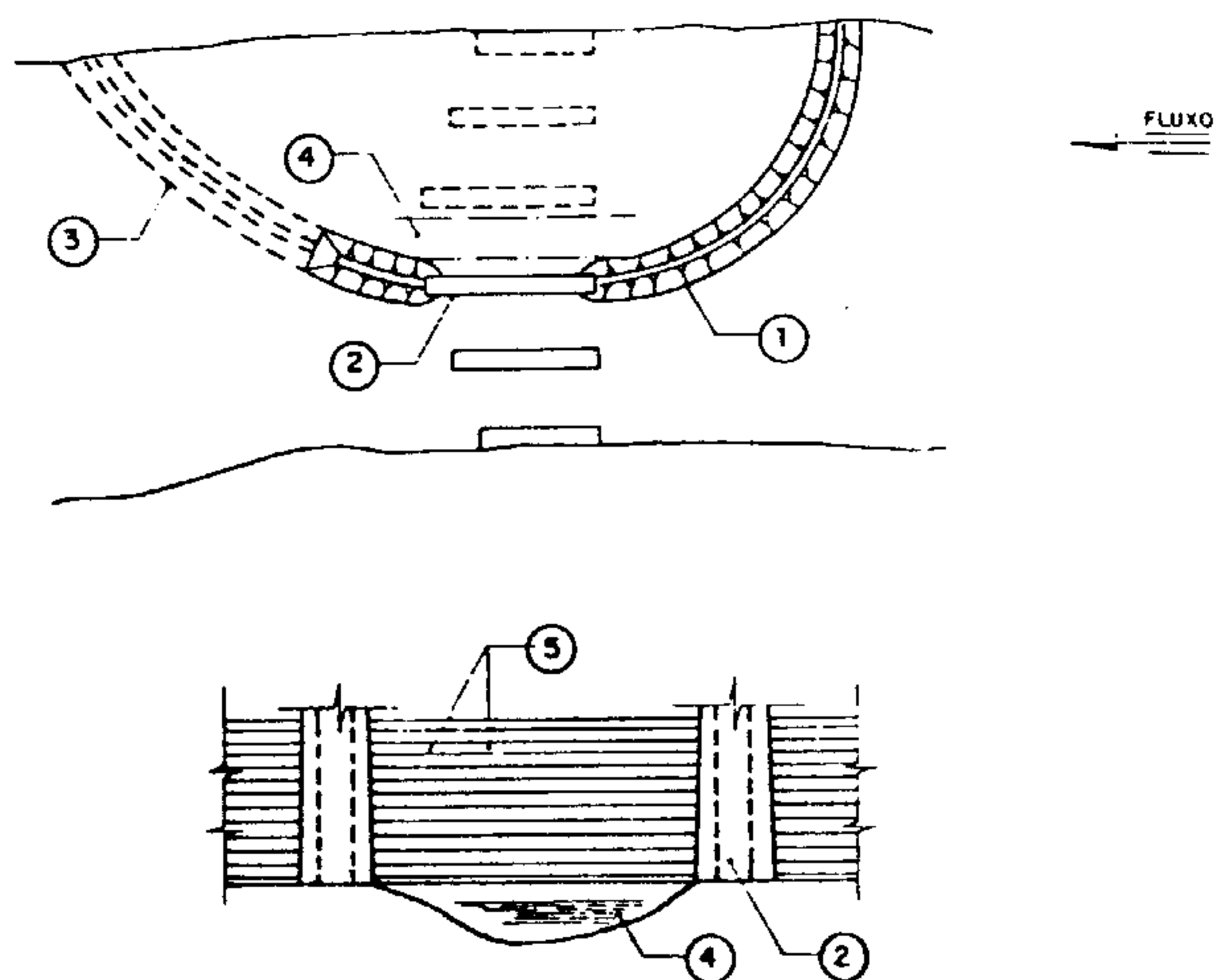
① - Ensecadaeira

③ - Trecho de jusante (eventual)

② - Contraforte

FIGURA 4.2.1.1.5/2

Na 2a. fase, a ensecadeira é removida e reconstruída no trecho restante, passando a água entre os contrafortes já construídos. Após terminados os contrafortes, a ensecadeira é removida, e tem início a colocação a seco das pranchas de madeira, passando a água pela passagem deixada na 1a. fase. Após a colocação das pranchas, a passagem será fechada através de entulho pelo lado de montante e concreto pelo lado de jusante.



DESVIO 2ª FASE

**Legenda:**

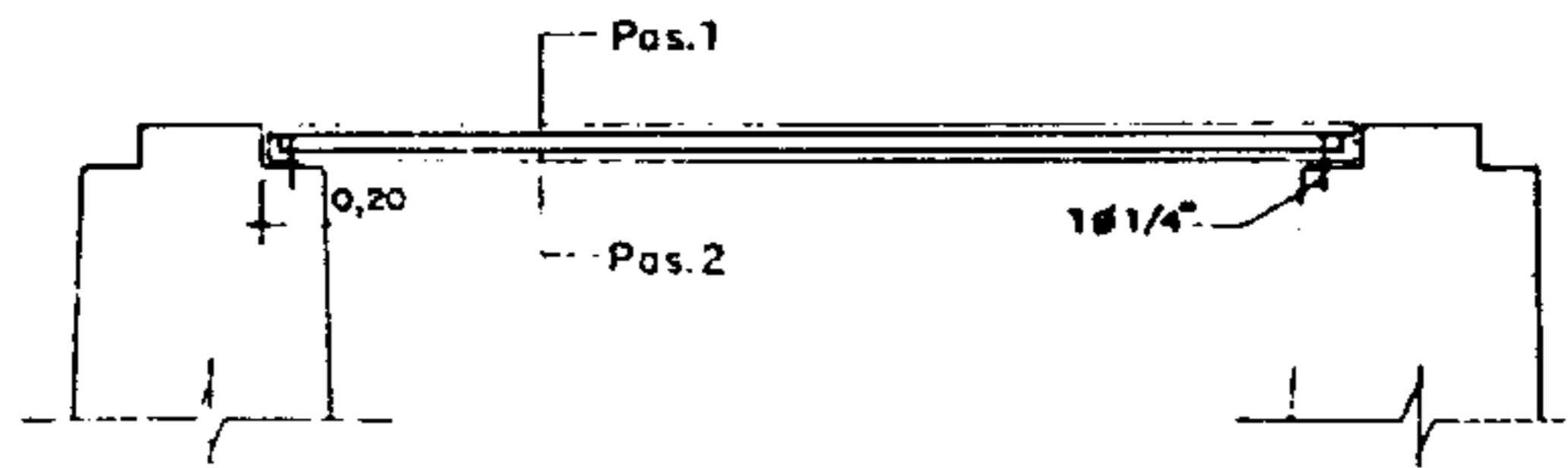
- |                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| ① - Ensecadeira                  | ④ - Passagem temporária para água |
| ② - Contraforte                  | ⑤ - Pranchas de madeira           |
| ③ - Trecho de jusante (eventual) |                                   |

FIGURA 4.2.1.1.5/3

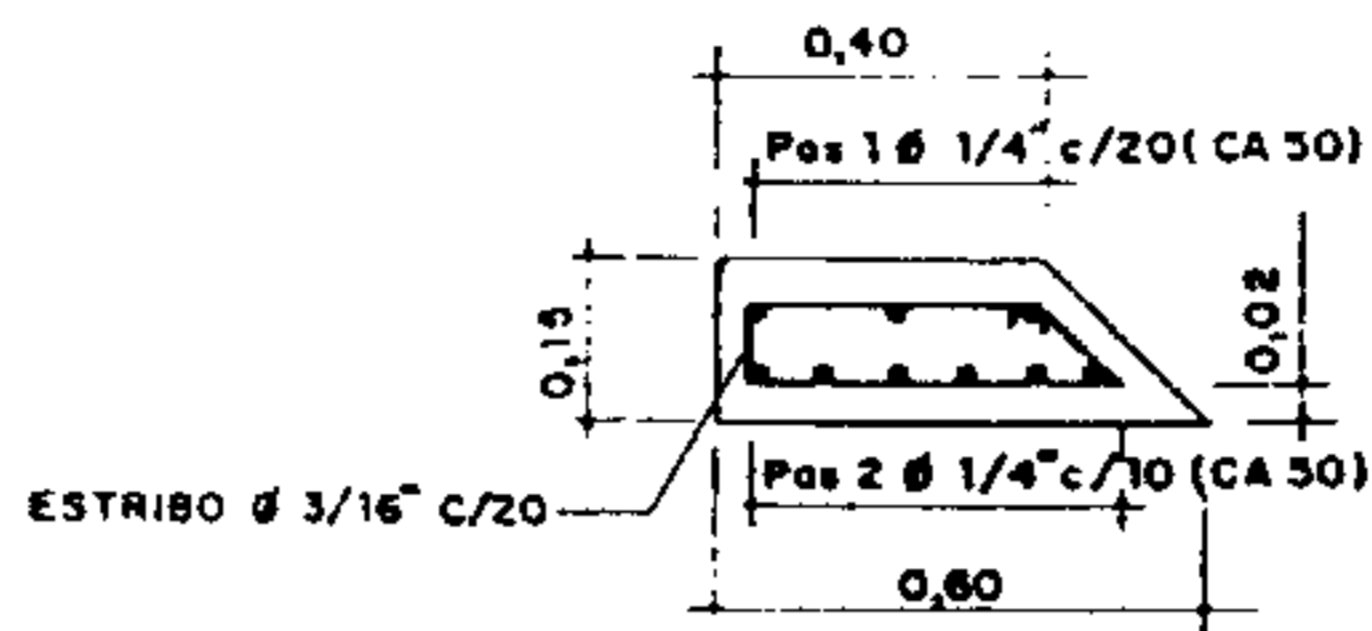
**2 - Armação das Lajes da Passarela**

As lajes da passarela deverão ser armadas conforme detalhes a seguir:





SEÇÃO LONGITUDINAL



SEÇÃO TRANSVERSAL

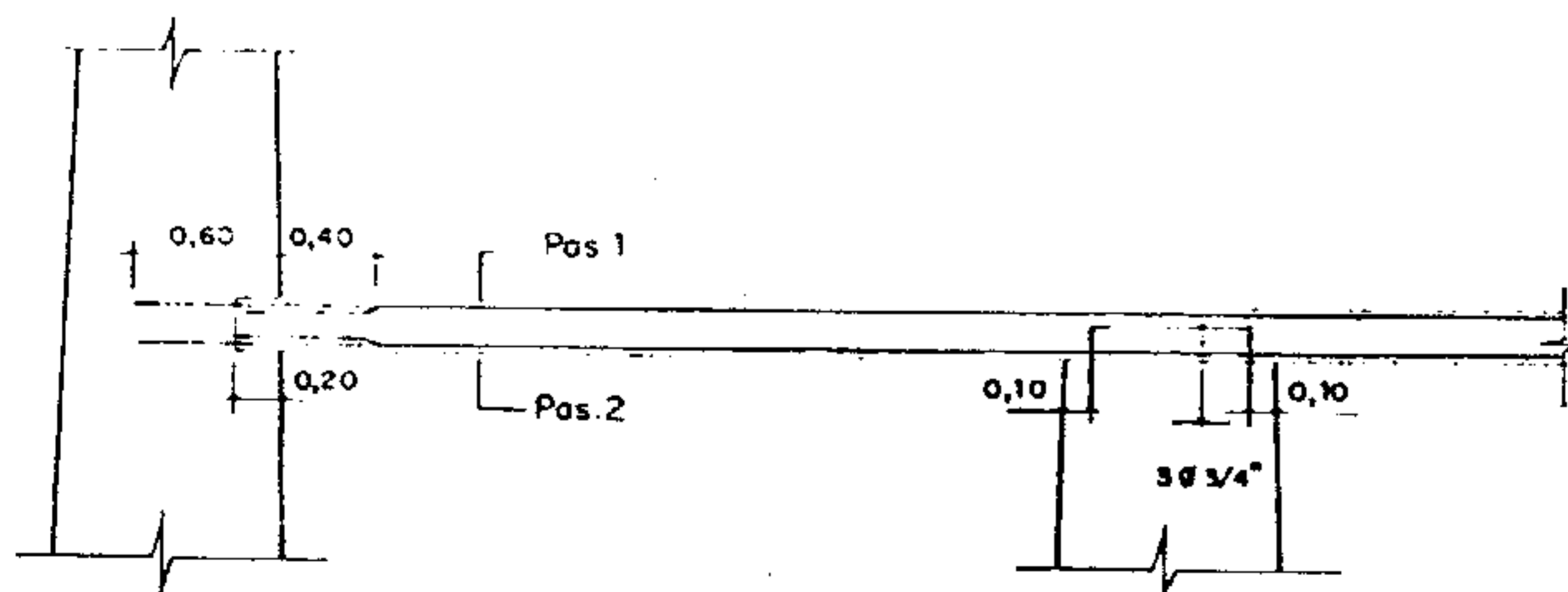
Nota:

1-As dimensões estão em metro,exceto onde indicado de outra forma.

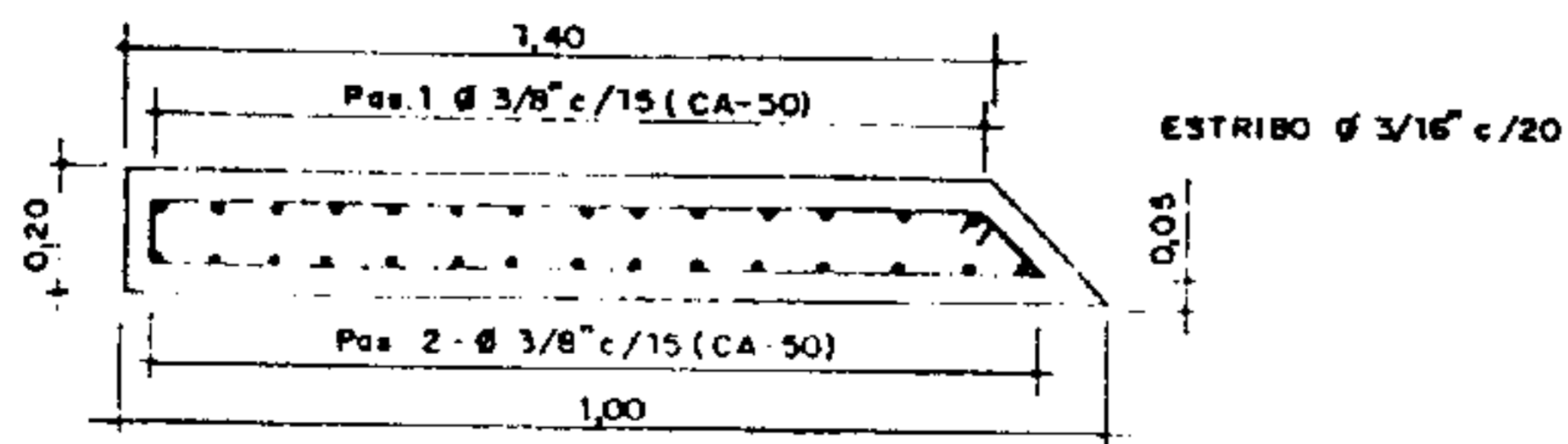
FIGURA 4.2.1.1.5/4

### 3 - Armação das Lajes na Crista do Vertedouro

As lajes da crista do vertedouro deverão ser armadas conforme detalhe abaixo:



SEÇÃO LONGITUDINAL



SEÇÃO TRANSVERSAL

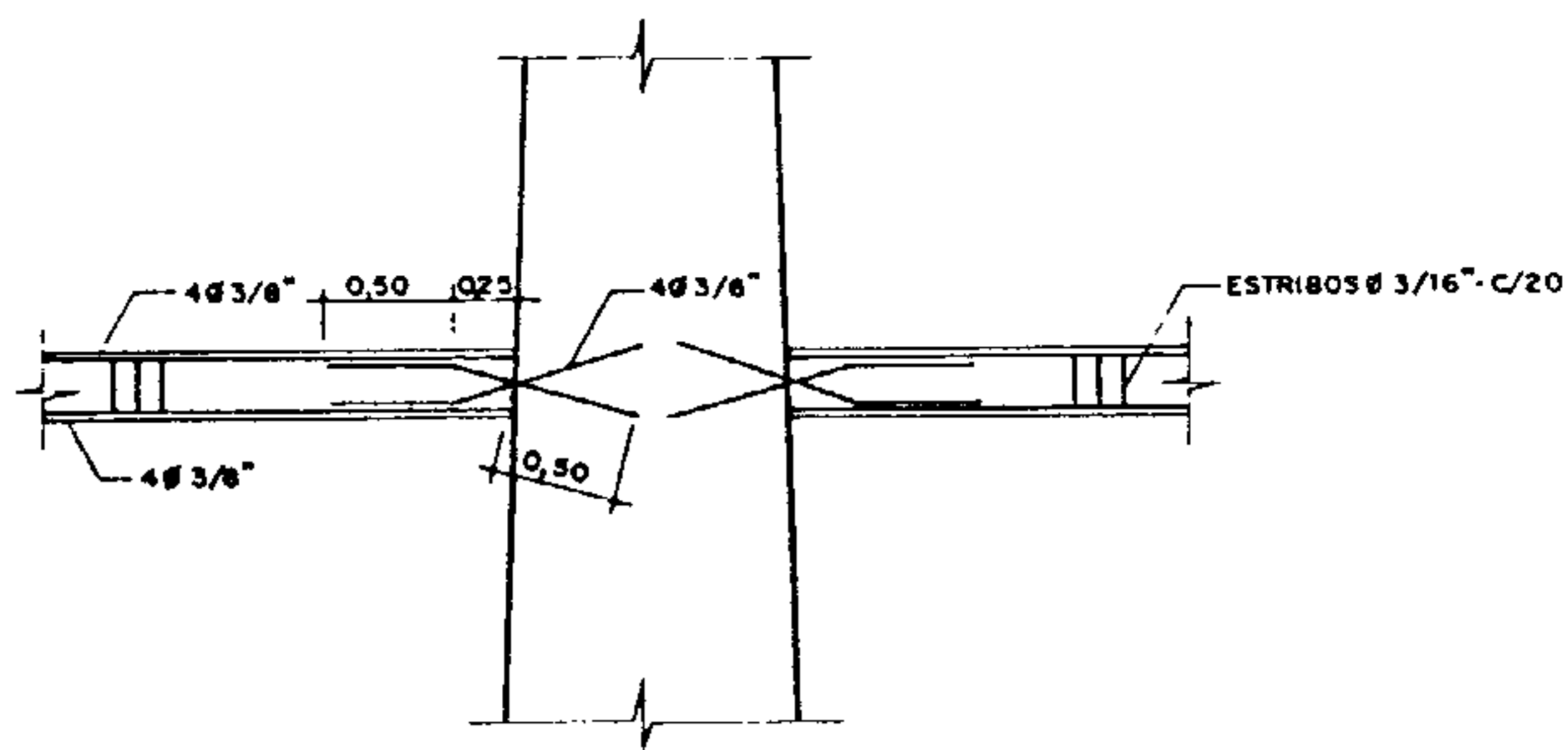
Nota:

1-As dimensões estão em metro,exceto onde indicado de outra forma.

FIGURA 4.2.1.1.5/5

#### 4 - Armação das Vigas de Contraventamento

As vigas de contraventamento deverão ser armadas conforme de talhes abaixo.



SEÇÃO LONGITUDINAL

#### Nota:

1-As dimensões estão em metro, exceto onde indicado de outra forma.

FIGURA 4.2.1.1.5/6

#### 5 - Composição do Concreto para Fabricação das Lajes e Vigas de Contraventamento

As quantidades de materiais, para obter 1 metro cúbico de concreto, são as seguintes:

. Cimento: 250 kg, ou seja, 5 sacos de 50 kg cada

. Agregados: as quantidades de areia e brita são dadas no quadro a seguir. Para areias finas, médias ou grossas, são fornecidas as quantidades em litros de brita 1 ou brita 2. O número entre parêntesis refere-se ao número de padiolas (0,50 m x 0,35 m x 0,30 m) para obter 1 metro cúbico de concreto.

TABELA 4.2.1.1.5/II

Areias		Pedra 1 atê 19 mm	Pedra 2 atê 25 mm
Fina atê 2,4 mm	470 (10)	470 (10)	470 (10)
Mêdia e grossa atê 4,8 mm	710 (15)	470 (10)	470 (10)

- . Água = 120 a 150 litros por m<sup>3</sup> de concreto, ou seja, 24 a 30 litros para cada saco de cimento.
- . Exemplo: para 1 m<sup>3</sup> de concreto, utilizar 5 sacos de cimento, 15 padiolas de areia grossa, 10 padiolas de pedra 1, 10 padiolas de pedra 2 e 120 a 150 litros de água.

#### 6 - Preparo e Colocação das Pranchas de Madeira

As pranchas devem ser preferencialmente de madeira resistente e pouco deformável, como ipê tabaco, ipê amarelo, ipê roxo, ipê preto, gonçalo alves, arueira do sertão, ou outros tipos similares.

A madeira deve ser homogênea, sem nós e sem alburnos, ou seja, sem a camada externa, mais nova e mole da madeira.

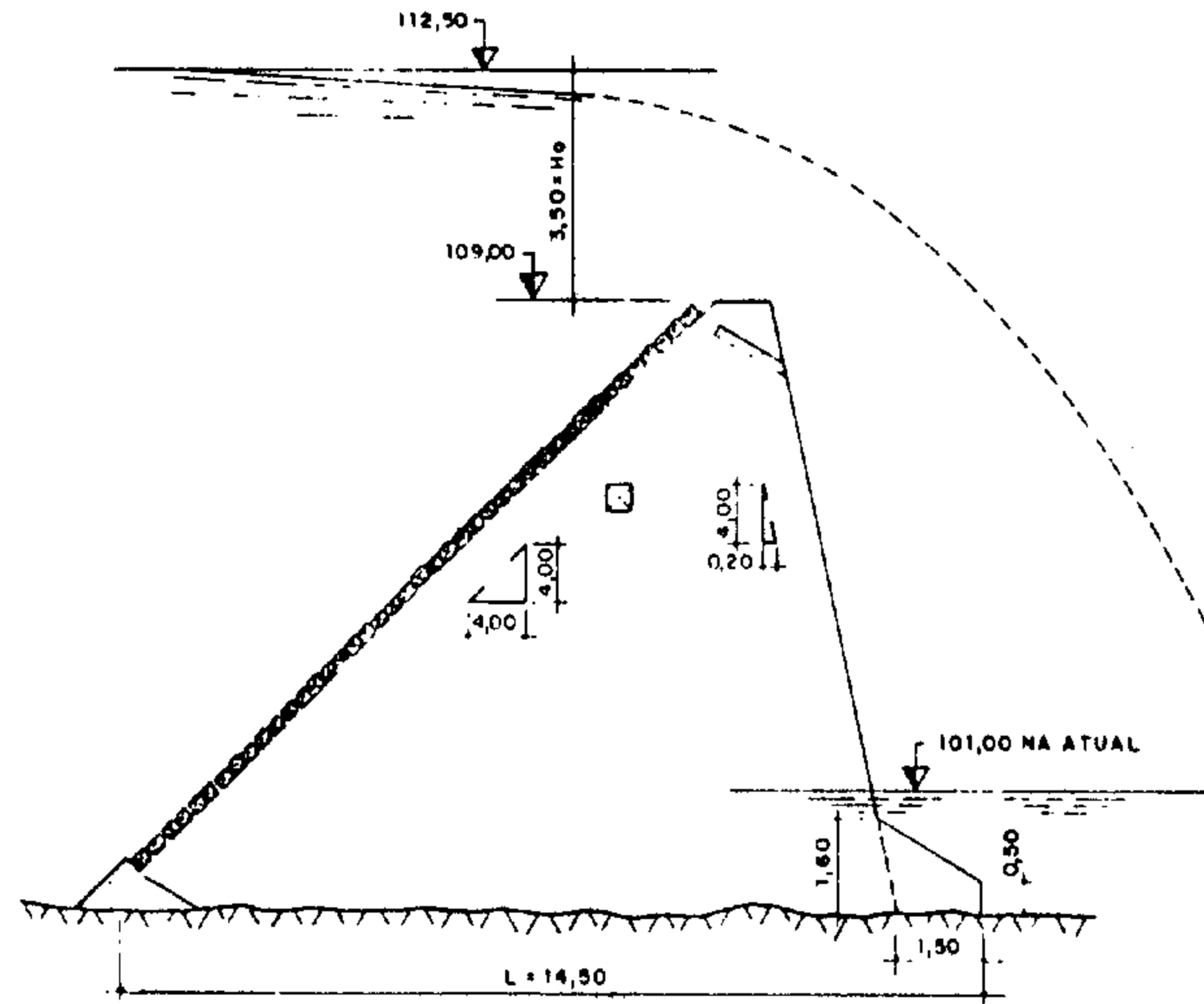
Antes da colocação das pranchas, as ranhuras devem ser lubrificadas com graxa ou óleo queimado para facilitar a descida das mesmas.

Junto às ombreiras, nos trechos inclinados, o contato da madeira com a rocha deve ser rejuntado com argamassa de cimento e areia, desde o lado de jusante.

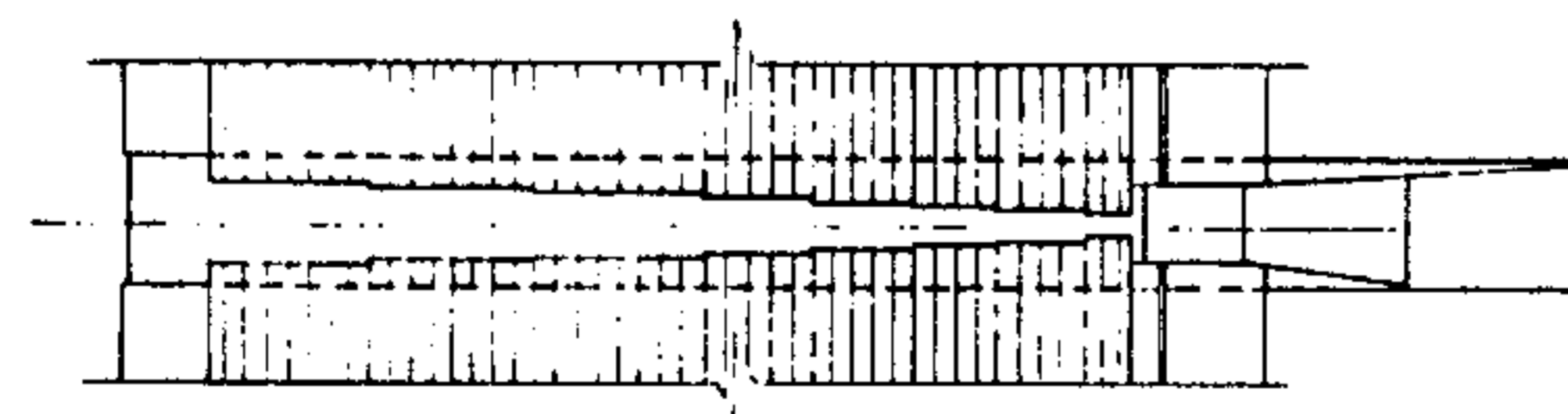
#### F) Exemplo

No desenho a seguir é apresentado exemplo de barragem tipo Ambursen executada no Paraná, e que tem características semelhantes às das obras a que se refere este item.

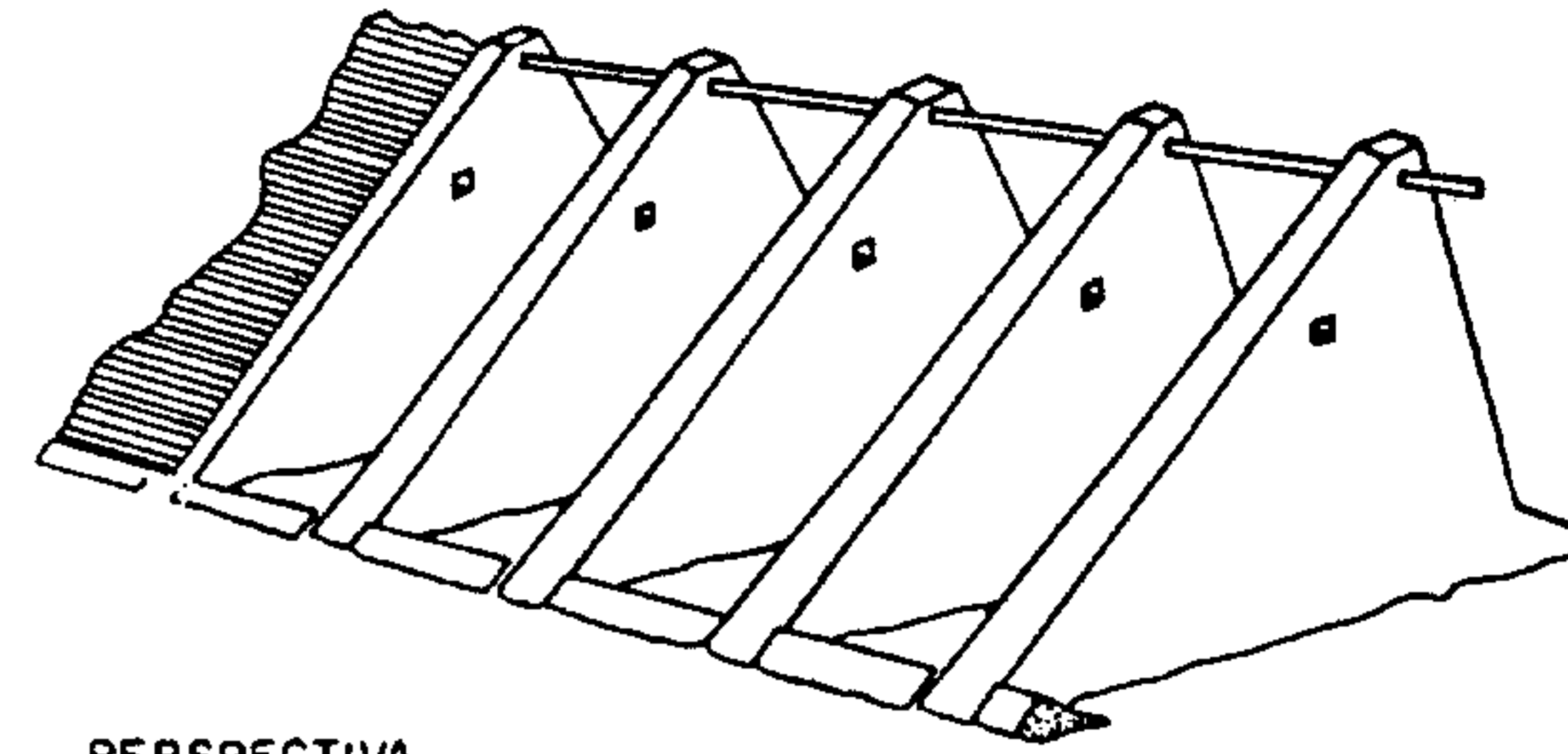
Usina Hidrelétrica Tapirapuam  
Barragem Vertedouro



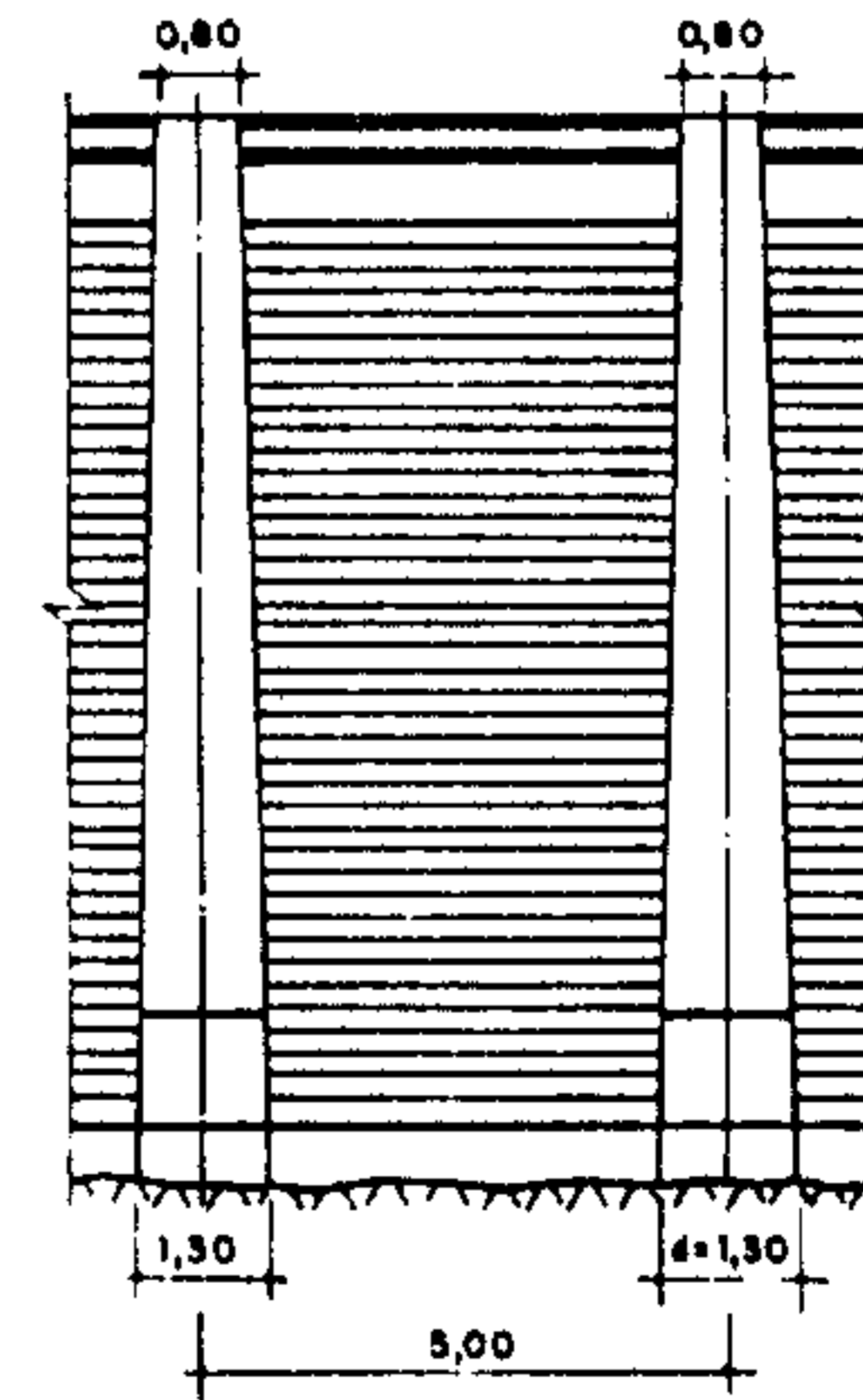
PERFIL TIPICO DO PILAR DA BARRAGEM VERTEDOURO



PLANTA DO PILAR



PERSPECTIVA



VISTA DE JUSANTE

ANEXO

4.2.1.1.5/E

#### 4.2.1.2 Vertedouro

##### 4.2.1.2.1 Escolha do Tipo de Vertedouro

De forma geral, dependendo do porte da obra, podem ser definidos dois tipos básicos de solução para o extravasamento do excesso de água afluente ao local do aproveitamento:

- a) extravasamento por um canal lateral, com o fundo situado em cota mais elevada em relação ao leito natural do rio;
- b) extravasamento por sobre o próprio corpo da barragem, ao longo de toda a crista ou parte dela.

A melhor solução, naturalmente, será função dos materiais disponíveis para a construção da barragem e da topogeologia local. Pode-se, todavia, fixar algumas regras gerais, a fim de nortear o encaminhamento dos estudos para a escolha da solução:

- . deverá ser cogitada sempre de início a possibilidade de utilização de um canal lateral extravasador, sem revestimento;
- . caso não se possa construir um canal com largura adequada, deve-se insistir com a alternativa de um canal extravasador, estudando-se a proteção do fundo e dos taludes das margens contra a erosão;
- . paralelamente, deverão ser estudadas alternativas com a solução de extravasamento por sobre o próprio corpo da barragem.

São apresentados a seguir, croquis onde se procura exemplificar a aplicação dos tipos de vertedouro descritos:

Canal extravasador lateral com largura adequada

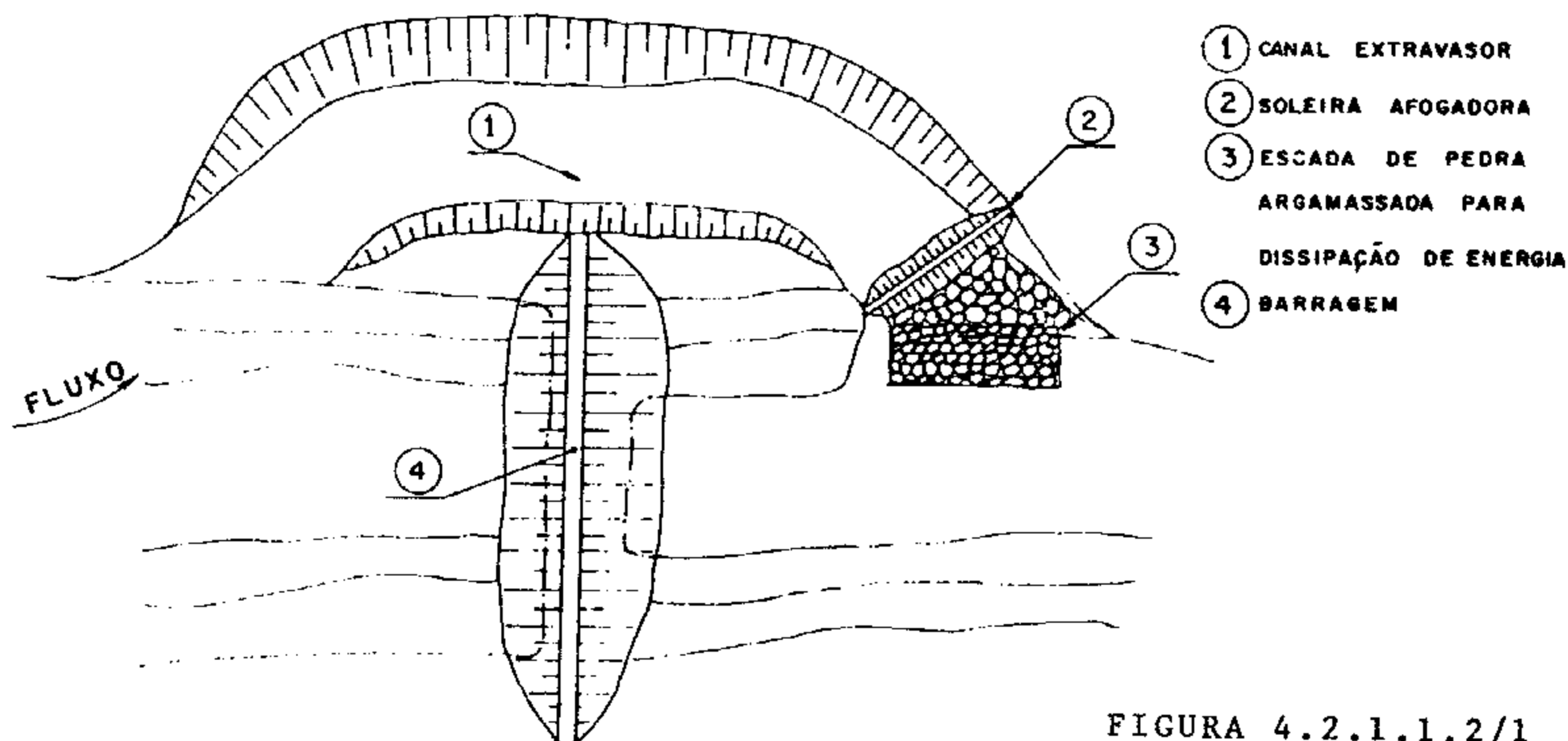


FIGURA 4.2.1.1.2/1

Alternativa de extravasamento por sobre  
o próprio corpo da barragem

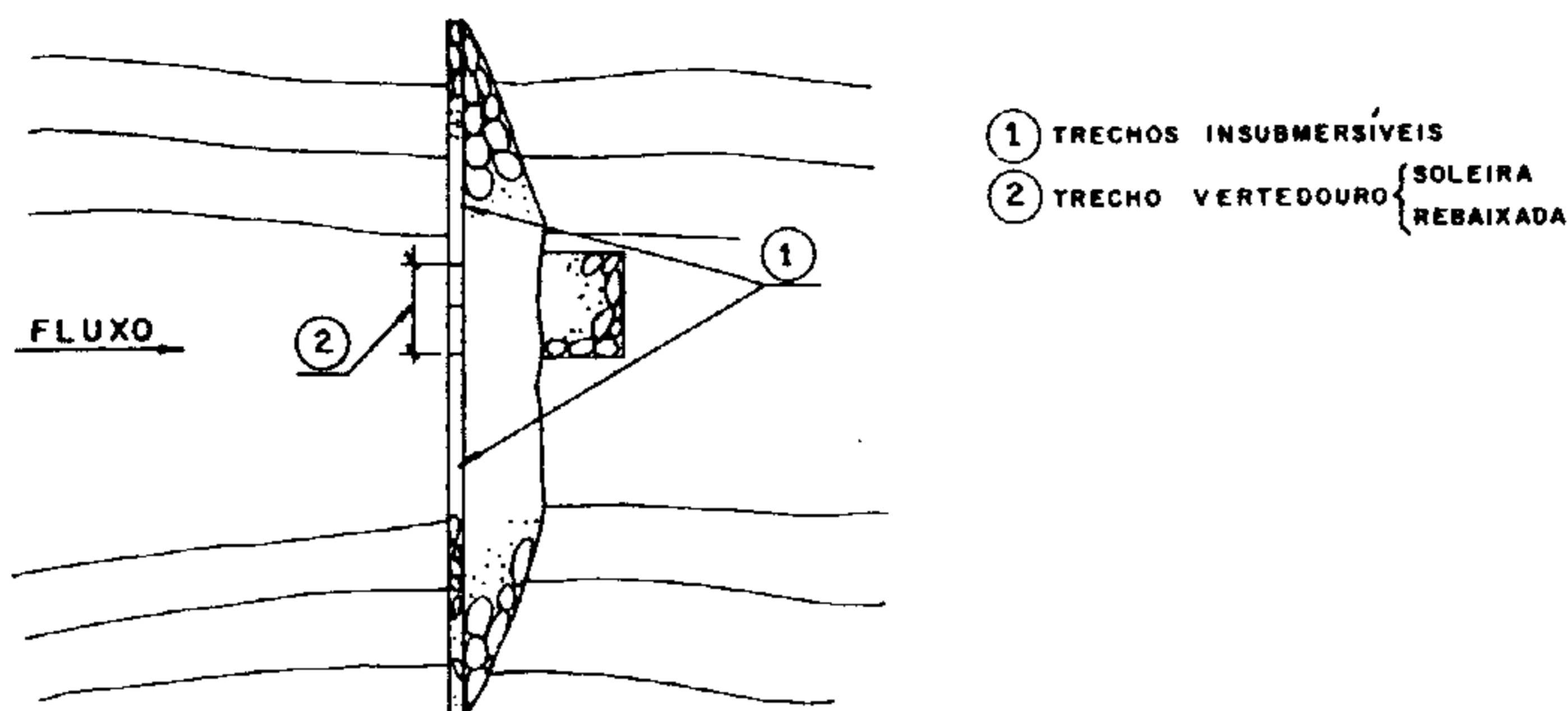


FIGURA 4.2.1.2/2

Deve ser ressaltado que podem ser aventadas hipóteses de soluções mistas, em que exista mais de um órgão responsável pelo extravasamento, como por exemplo, adoção de um canal extravasor lateral, prevendo-se ainda que a água possa verter por sobre a barragem.

4.2.1.2.2 Descarga de Projeto do Vertedouro

O vertedouro deverá ser dimensionado para a passagem de uma enchente com tempo de recorrência estimado de acordo com as recomendações do item 4.1.4 - Estudos Hidrológicos.

4.2.1.2.3 Dimensionamento do Vertedouro

A) Canal Extravasor

O dimensionamento do vertedouro, inicialmente cogitado como um canal extravasor, deverá ser desenvolvido, considerando dois parâmetros básicos:

- . descarga máxima prevista de extravasamento ( $Q_{max}$ ).
- . características do material natural no local onde se pretende construir o canal extravasor.

A seguinte seqüência básica de cálculo deverá ser utilizada para o dimensionamento do vertedouro:

- a) Fixar como cota de fundo do canal extravasor a do N.A. normal do reservatório.
- b) A partir das características do terreno natural no local onde se pretende construir o canal extravasor, fixar uma inclinação para os taludes que garanta a estabilidade das margens (ver TABELA 4.2.1.2/II).
- c) Fixar a lâmina de água máxima do canal extravasor, inicialmente, em 1 m.
- d) Fixar a velocidade máxima admissível no canal extravasor para o escoamento com o tirante de referência de 1 m, a partir das características do material natural formador do leito (ver TABELA 4.2.1.2/III e IV).
- e) Determinar a largura necessária ao canal extravasor, a partir da descarga máxima prevista a ser extravasada, da velocidade máxima admissível, da lâmina de água máxima igual a 1 m, prevista para o escoamento pelo canal e da inclinação dos taludes.

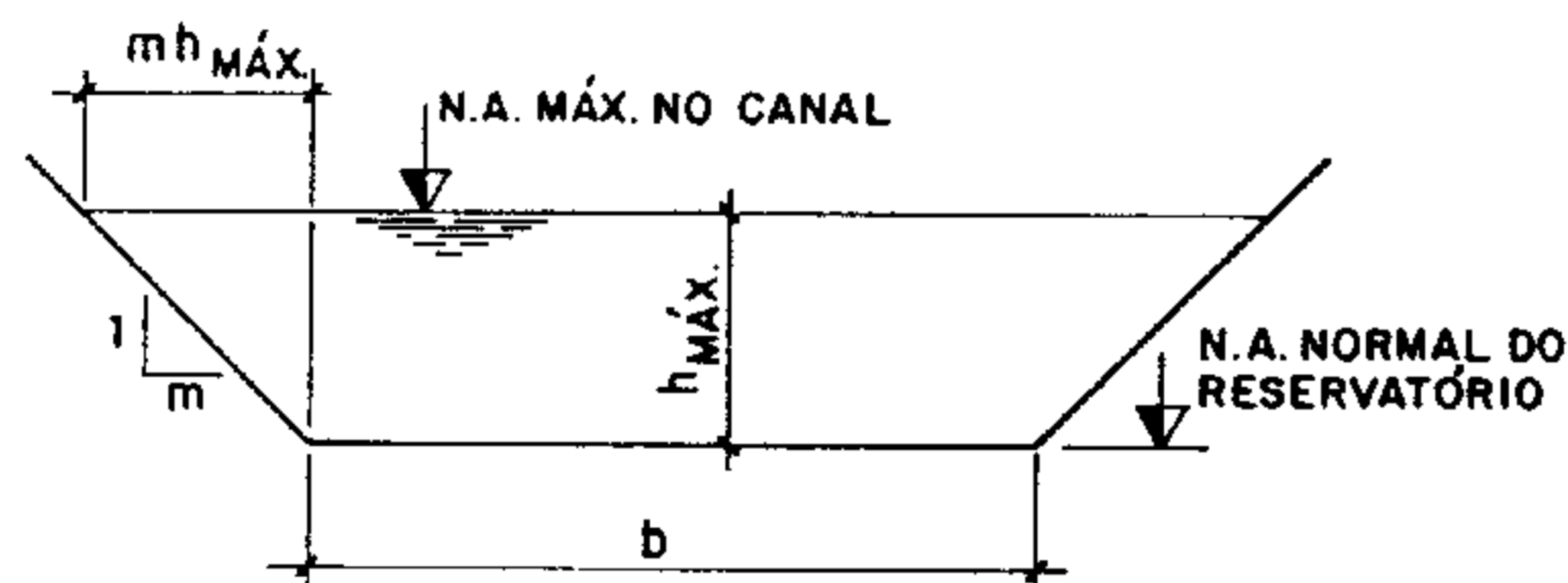


FIGURA 4.2.1.2/3

$$b = \frac{Q_{\max}}{v_{\max} \cdot h_{\max}} - m \cdot h_{\max}$$

- f) Verificar a viabilidade da execução do canal extravasor com a largura necessária calculada. Caso a largura necessária do canal se revele excessiva ou caso as condições topogeológicas não sejam favoráveis à execução do canal com tal largura, passa-se a cogitar das seguintes alternativas de solução na ordem a seguir:
  - . verificação da possibilidade de se aumentar a lâmina de água máxima prevista no canal extravasor e assim diminuir a largura necessária, repetindo-se a seqüência de cálculo descrita para  $h_{\max} = 1$  m, tendo-se o cuidado de corrigir a velocidade máxima pelas TABELAS 4.2.1.2/V e VI.

De uma forma geral,  $h_{\max}$  não deve ser superior a 2 m.

- verificação de hipóteses de usar larguras menores para o canal extravasador, procedendo-se então ao seu adequado revestimento com material compatível com as velocidades máximas esperadas, isto é, fixar hipótese de largura para o canal menor do que o valor anteriormente calculado, reavaliar a nova velocidade máxima prevista para o canal, com auxílio da expressão:

$$v_{\max} = \frac{Q_{\max}}{h_{\max} \cdot b + m \cdot h_{\max}^2}$$

e, em seguida, verificar através da mesma TABELA 4.2.1.2/III, qual o material estável para o revestimento do canal.

- verificação de outras hipóteses, incluindo-se o extravasamento do excesso das descargas por sobre o próprio corpo da barragem, o que está detalhado adiante.

#### B) Soleira Afogadora e Escada de Dissipação de Energia

Uma vez verificada a possibilidade de adoção da solução do extravasamento do excesso de descarga através de um canal lateral com uma determinada largura, é necessário proteger o local de restituição das águas vertidas ao rio. Esta proteção deverá ser realizada por uma soleira afogadora ao final do canal, seguida de uma escada de dissipação de energia construída em alvenaria de pedra argamassada.

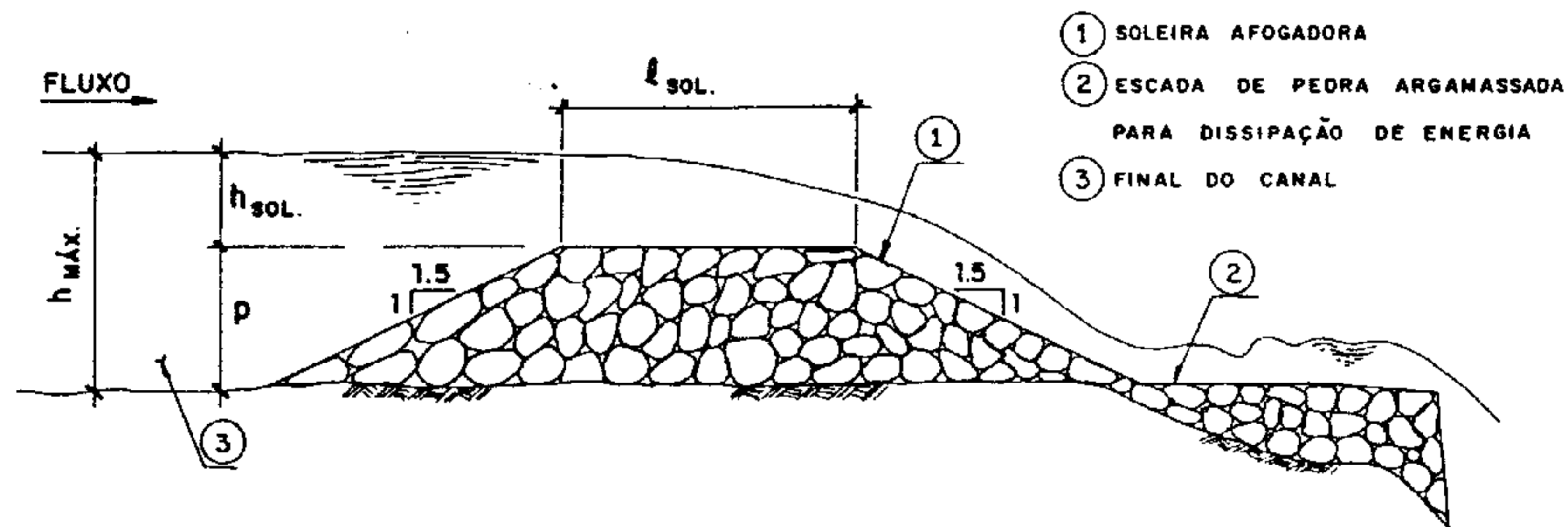


FIGURA 4.2.1.2/4



A altura da soleira pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$p = h_{\max} - h_{\text{sol}}$$

onde:

$$h_{\text{sol}} = \left( \frac{Q_{\max}}{1,7 \times b} \right)^{2/3}$$

$p$ ,  $h_{\max}$ ,  $h_{\text{sol}}$  e  $b$  em m e  $Q_{\max}$  em  $\text{m}^3/\text{s}$ ,

Deve ser adotado para  $p$  um valor mínimo de 0,5 m

O comprimento da soleira (ver FIGURA 4.2.1.2/4) pode ser estimado por:

$$l_{\text{sol}} = 2,5 h_{\text{sol}} \quad (l_{\text{sol}} \text{ e } h_{\text{sol}} \text{ em m})$$

O material para a construção da soleira deve ser determinado considerando-se a velocidade média do escoamento por sobre a mesma,

$$v_{\text{sol}} = \frac{Q_{\max}}{h_{\text{sol}} \times b},$$

$v_{\text{sol}}$  em m/s,  $Q_{\max}$  em  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $h_{\text{sol}}$  e  $b$  em m,

e utilizando-se a mesma TABELA 4.2.1.2/III para materiais não coesivos.

Faz-se notar que a soleira afogadora é permeável, uma vez que é construída com pedras soltas. Por esta razão, a cota de fundo do canal corresponde ao nível de água normal do reservatório.

Para o dimensionamento dos degraus da escada de dissipação de energia para proteção do local de restituição das águas vertidas para o rio, recomenda-se que o comprimento de cada degrau seja no mínimo igual ao dobro da altura do mesmo. Essa proteção deve acompanhar a topografia do terreno natural conforme está mostrado nas FIGURAS 4.2.1.2/5 e 6.

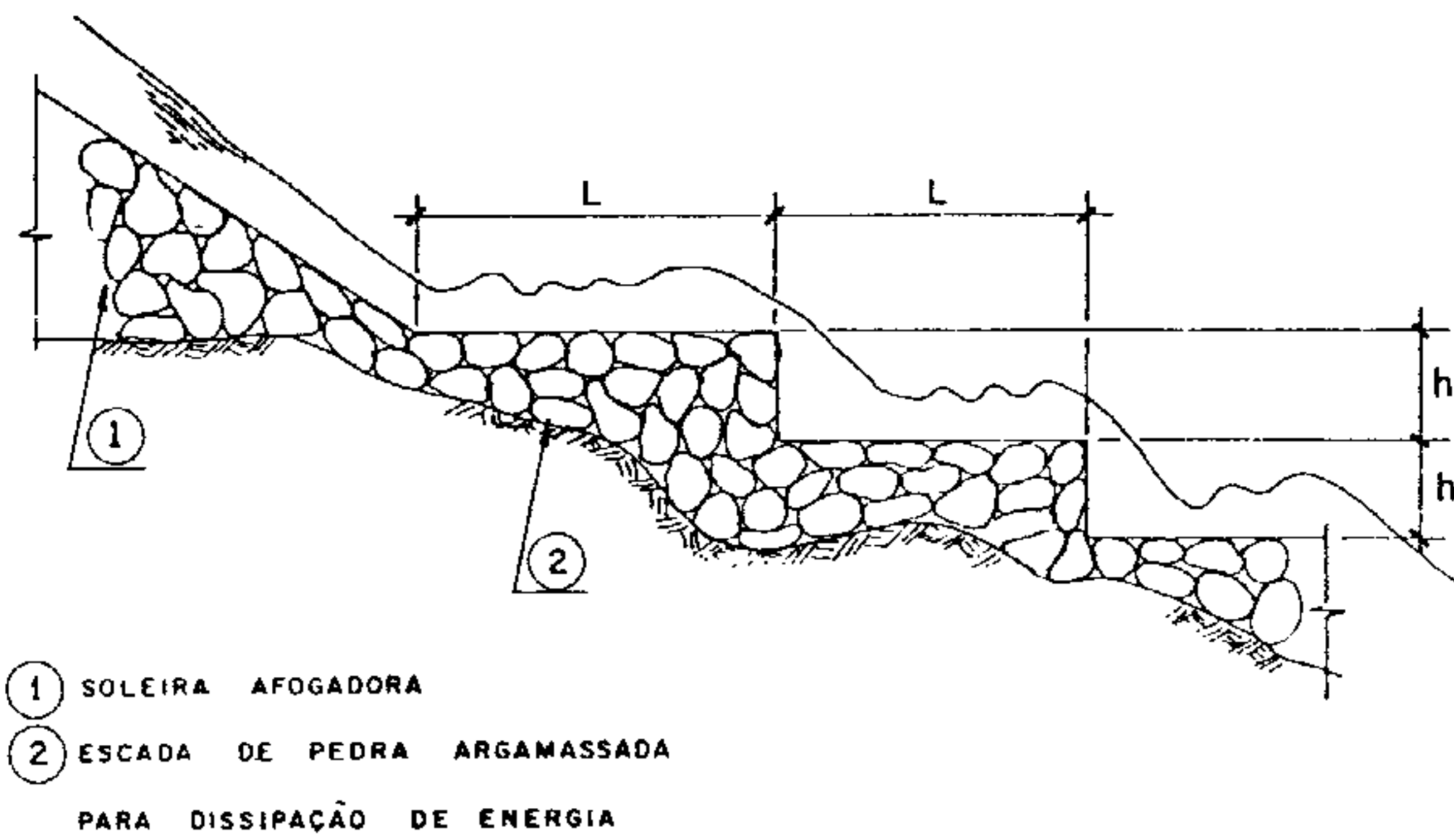


FIGURA 4.2.1.2/5

A escada deve ter no mínimo a mesma largura do canal extravasor, devendo ser disposta de modo a se desenvolver desde o final dele até a calha do rio, protegendo o talude da margem contra erosão. Os degraus da escada devem ser construídos em alvenaria de pedra argamassada, podendo ser cogitada a utilização de gabiões.

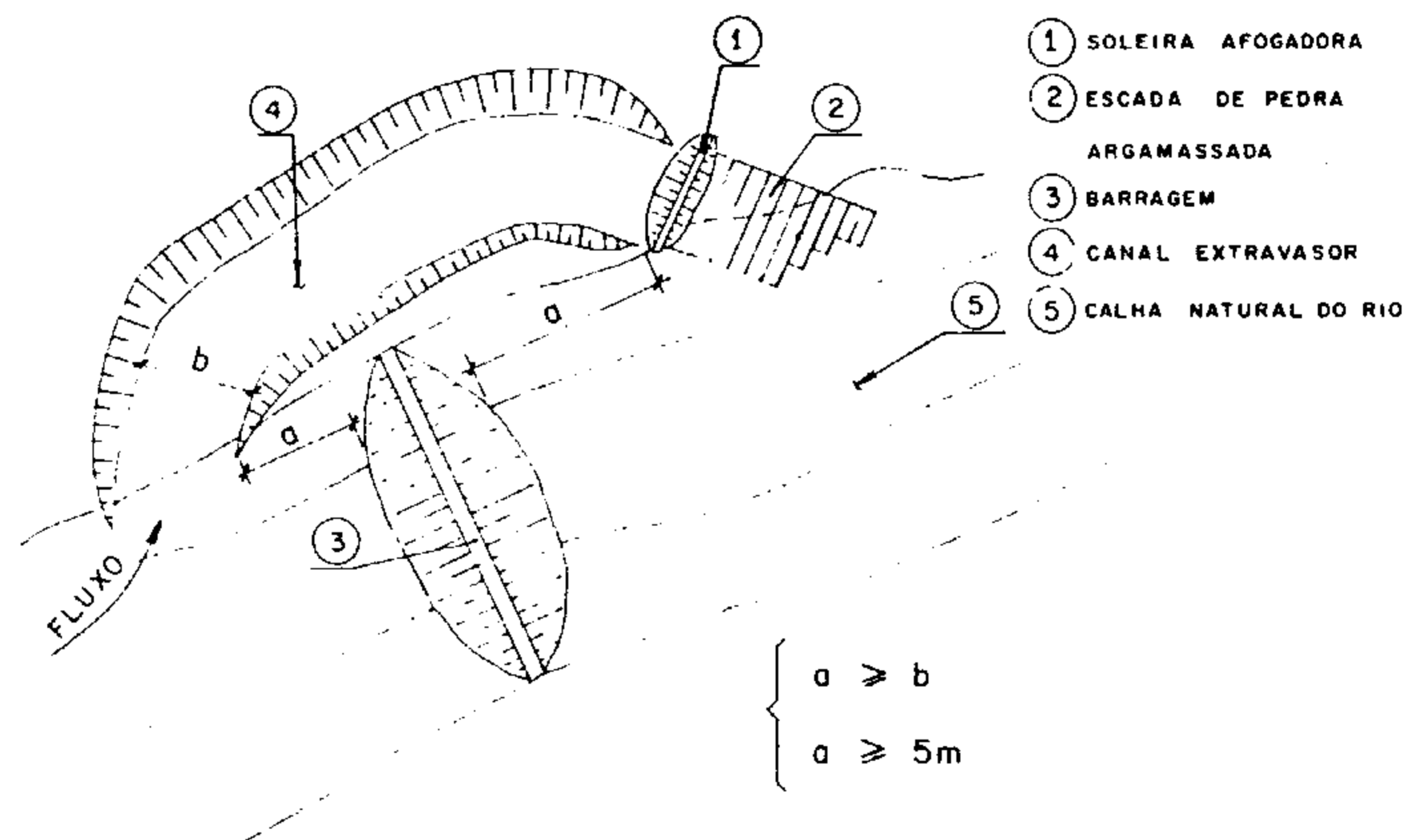


FIGURA 4.2.1.2/6

O canal extravasor deve ser construído sempre sem declividade, sendo que os afastamentos das bocas de entrada e de saída do canal, em relação à barragem, deverão situar-se em torno de uma vez a largura do canal, recomendando-se um mínimo de 5 m.

Em alguns casos, por necessidades construtivas, pode ser possível a utilização de escadas separando o canal extravasor em dois ou mais planos, devendo-se considerar nos cálculos as mesmas premissas adotadas anteriormente, localizando-se ao final de cada plano do canal extravasor uma soleira afogadora e a escada para mudança de plano.

Exemplo de Cálculo:

$$Q_{\max} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

material do local: solo muito compactado, com grande quantidade de argila.

. Definição da geometria do canal.

- Da TABELA 4.2.1.2/II, pode-se fixar  $m = 0,75$
- Da TABELA 4.2.1.2/IV, considerando-se  $h_{\max} = 1 \text{ m}$ , admite-se  $v_{\max} = 1,7 \text{ m/s}$

daí:

$$b = \frac{Q_{\max}}{v_{\max} \cdot h_{\max}} - m \cdot h_{\max}$$

$$b = \frac{30}{1,7 \times 1} - 0,75 \times 1 = 16,9 \text{ m}$$

Assim, a largura de fundo  $b = 16,9 \text{ m}$  é adequada para o canal sem revestimento.

- Supondo que a largura calculada, por uma razão qualquer, seja excessiva para a situação local e, por exemplo, admitindo-se que a largura máxima seja 10 m, estudar-se-ia o aumento da lâmina prevista para o canal.

Experimenta-se então um  $h_{\max} = 1,5 \text{ m}$ .

Da TABELA 4.2.1.2/V tem-se o valor de 1,1 para a correção da velocidade admissível no canal (tendo em conta o tirante de 1,5 m).

Assim:

$$v_{\max} = 1,7 \times 1,1 = 1,87 \text{ m/s}.$$

Daí:

$$b = \frac{30}{1,87 \times 1,5} - 0,75 \times 1,5 = 9,6 \approx 10 \text{ m}$$

Observa-se assim, que o canal com 10 m de largura e tirante de 1,5 m atende às condições de estabilidade do material de fundo.

- Como alternativa pode-se verificar as condições de funcionamento do canal com largura de 10 m e tirante máximo de 1 m.

$$v'_{\max} = \frac{Q_{\max}}{h_{\max} \cdot b' + m \cdot h_{\max}^2} = \frac{30}{1 \times 10 + 0,75 \times 1^2}$$

$$\therefore v'_{\max} = 2,79 \text{ m/s}$$

Pela TABELA 4.2.1.2/III, o canal seria estável se fosse revestido com pedras de 100 a 150 mm.

. Proteção do canal de restituição das águas vertidas ao rio.

Supondo-se que se adote a solução  $b = 10 \text{ m}$ ,  $h_{\max} = 1,5 \text{ m}$ , dimensiona-se a soleira afogadora ao final do canal extravasor:

Altura de água sobre a soleira:

$$h_{\text{sol}} = \left( \frac{Q_{\max}}{1,7 \times b} \right)^{2/3} = \left( \frac{30}{1,7 \times 10} \right)^{2/3}$$

$$h_{\text{sol}} = 1,46 \text{ m}$$

Altura da soleira:

$$p = h_{\max} - h_{\text{sol}} = 1,50 - 1,46 = 0,04 \text{ m}$$

Adota-se o valor mínimo  $p = 0,5 \text{ m}$  e o canal terá o tirante máximo igual a:

$$h_{\max} = p + h_{\text{sol}} = 0,50 + 1,46 = 1,96 \text{ m}$$

Extensão da soleira:

$$l_{sol} = 2,5 h_{sol} = 2,5 \times 1,46 = 3,65 \text{ m}$$

Velocidade de escoamento sobre a soleira:

$$v_{sol} = \frac{Q_{max}}{h_{sol} \times b} = \frac{30}{1,46 \times 10} = 2,05 \text{ m/s}$$

Pela TABELA 4.2.1.2/III, verifica-se que o material adequado para a construção da soleira é cascalho grosso com diâmetro de 40 a 75 mm.

Note-se que, neste caso, ter-se-ia que recalcular o canal extravasor, partindo-se de  $h_{max} = 1,96 \text{ m}$ .

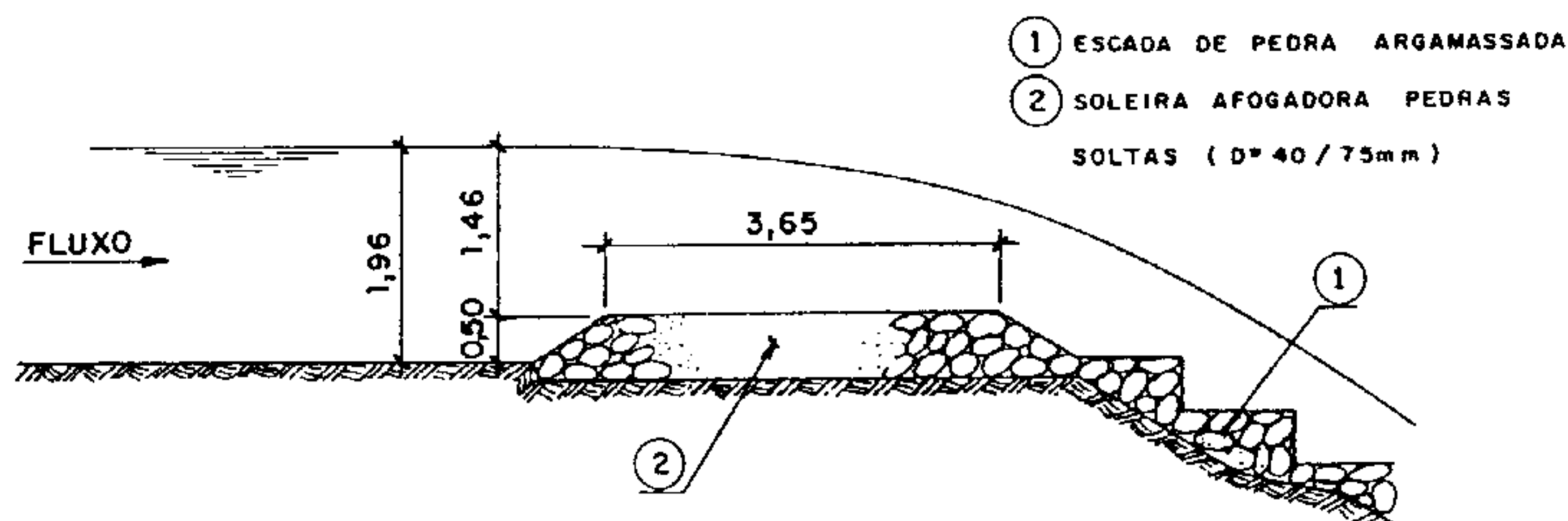


FIGURA 4.2.1.2/7

### C) Barragem Vertedoura

Três tipos de soluções se apresentam:

Tipo 1 - Construção da barragem em alvenaria de pedra argamassada, com um trecho vertedouro para extravasamento das descargas.

Tipo 2 - Construção da barragem em concreto, com um trecho vertedouro para extravasamento das descargas.

Tipo 3 - Construção da barragem de enrocamento com talude de jusante suave (1V:8H), com o extravasamento das descargas por sobre toda a extensão da crista.

A escolha definitiva de um dos tipos deverá ser feita no final, através de confronto de custos, e dependerá basicamente da quantidade de pedra disponível no local.

Tipo 1 - O primeiro tipo de solução resume-se basicamente na construção de uma barragem de alvenaria de pedra argamassada, onde se permite o extravasamento das descargas através de uma soleira rebaixada.

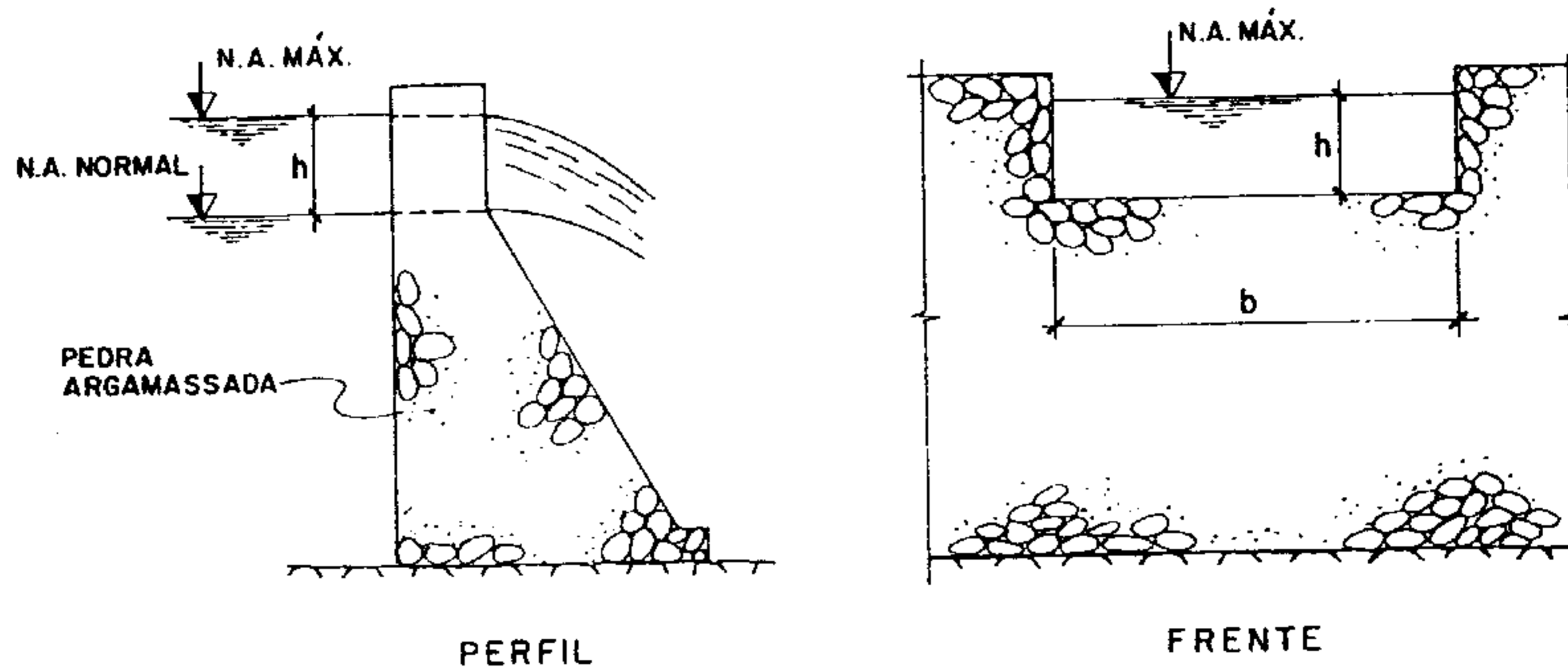


FIGURA 4.2.1.2/8

A largura do vertedouro pode ser calculada pela fórmula:

$$b = \frac{Q_{\max}}{1,7 \times h^{3/2}}$$

onde:

$b$  = largura do vertedouro, em m

$Q_{\max}$  = descarga em  $m^3/s$

$h$  = altura da lâmina d'água, em m, que será fixada com base no cotejo entre os vários pares de valores de  $h$  e  $b$ .

Recomenda-se que o valor de  $h$  não ultrapasse 1 m.

Para barragens de altura acima de 2 m, com as quais se pretende ainda ganhar alguma altura de queda para geração de energia, deverá ser construída uma bacia de dissipação de pedra

argamassada a jusante da soleira, de forma e dimensionamento descritos no ítem 4.2.1.1. relativo a Barragens.

A solução da barragem em pedra argamassada tem sua utilização indicada nos casos em que o local dispõe de grandes quantidades de pedra.

Tipo 2 - Mesmo roteiro de cálculo hidráulico do vertedouro: Ver detalhes construtivos no ítem 4.2.1.1.4 - Barragem de Concreto.

Tipo 3 - O outro tipo possível de solução é uma barragem de enrocamento com talude de jusante suave, no caso, para os objetivos do presente manual, fixado em 1V:8H, vertendo a água por sobre toda a extensão da barragem.  
No ítem 4.2.1.1.2, sobre barragem de enrocamento, é explicada a sua construção com mais detalhes.

A altura da lâmina d'água sobre a crista pode ser calculada pela fórmula:

$$h = \left( \frac{Q_{\max}}{1,7 \times b} \right)^{2/3}$$

onde:

$h$  = altura da lâmina d'água, em m

$Q_{\max}$  = descarga em  $m^3/s$

$b$  = extensão da crista da barragem, em m

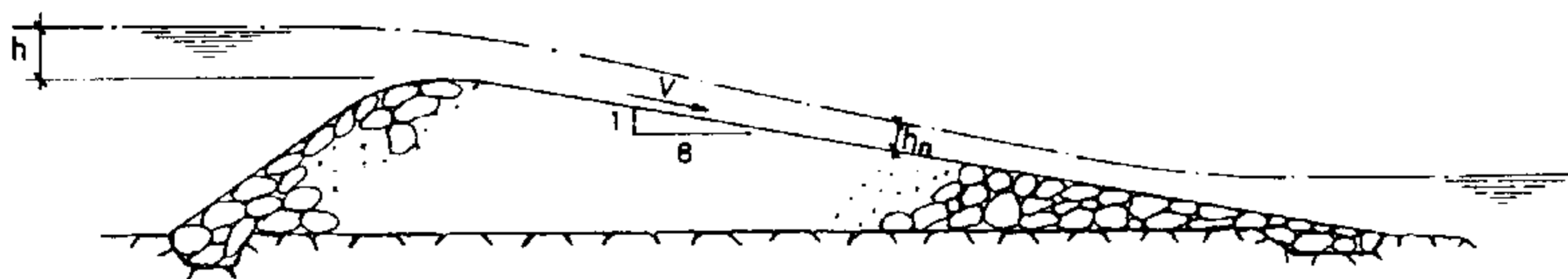


FIGURA 4.2.1.2/9

A escolha do diâmetro da pedra selecionada e arrumada da última camada da barragem, que terá de ser estável em relação às velocidades do escoamento vertente, deverá ser feita através do cálculo da vazão vertente por metro de extensão da crista, através da fórmula.

$$q = \frac{Q_{\max}}{b}$$

onde:

b = extensão da crista da barragem.

Com a utilização da tabela a seguir apresentada, pode ser obtida a velocidade do escoamento vertente, que indicará, através do uso da TABELA 4.2.1.2/III, o diâmetro da pedra selecionada e arrumada da última camada da barragem.

TABELA 4.2.1.2/I

q (m <sup>3</sup> /s/m)	h(m)	v(m/s)
0,10	0,05	2,00
0,20	0,08	2,60
0,30	0,10	3,00
0,40	0,12	3,30
0,50	0,14	3,60
0,60	0,16	3,80
0,70	0,17	4,00
0,80	0,19	4,20
0,90	0,21	4,40
1,00	0,22	4,50

#### 4.2.1.2.4 Considerações Sobre os Métodos Construtivos

A escolha definitiva da solução mais adequada para o extravasamento do excesso das descargas deve ser guiada pelo confronto de custos entre as alternativas possíveis. Aqui, foram estabelecidas algumas regras com o objetivo de organizar uma seqüência de passos para o encaminhamento do estudos e para a conceituação de alternativas compatíveis com as condições locais.

Convém lembrar, todavia, que o tipo de mão-de-obra e dos equipamentos eventualmente disponíveis, as quantidades e facilida-



des de obtenção dos materiais no local da obra e outros fatores podem modificar o quadro apresentado. Torna-se assim importante que seja aplicado o Manual a mais de uma alternativa do conjunto vertedouro/barragem, não só do ponto de vista das quantidades de material, como dos métodos construtivos, a fim de que o confronto de custos entre elas indique claramente a melhor solução.

De uma forma geral, os equipamentos a serem utilizados para a construção do vertedouro serão os mesmos utilizados na construção da barragem. Por exemplo, o material escavado do canal extravasor deverá ser usado na construção da barragem, utilizando-se nas duas operações o mesmo equipamento. Quando da não utilização do canal extravasor, o vertedouro se confunde com a própria barragem, devendo ser observada também a metodologia descrita no item 4.2.1.1 para construção da barragem de alvenaria de pedra argamassada.

#### ESTABILIDADE DE CANAIS - INCLINAÇÃO DOS TALUDES



TABELA 4.2.1.2/II

NATUREZA DOS TALUDES	INCLINAÇÃO m
Rocha dura, alvenaria comum, concreto.	0 a 0,50
Rocha fissurada, alvenaria de pedra seca.	0,50
Argila dura	0,75
Aluviões compactos	1,00
Cascalho grosso	1,50
Enrocamento, terra, areia grossa	2,00
Terra mexida, areia normal	3,00

TABELA 4.2.1.2/III

## ESTABILIDADE DE CANAIS

Velocidades Máximas Admissíveis

(Para Canais com Lâmina de 1 m)

## 1. MATERIAIS NÃO COESIVOS

MATERIAL	DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)
Lodo	0,005 a 0,05	0,15 a 0,20
Areia fina	0,05 a 0,25	0,20 a 0,30
Areia média	0,25 a 1,00	0,30 a 0,55
Areia grossa	1,00 a 2,50	0,55 a 0,65
Pedrisco fino	2,50 a 5,00	0,65 a 0,80
Pedrisco médio	5,00 a 10,00	0,80 a 1,00
Pedrisco grosso	10,00 a 15,00	1,00 a 1,20
Cascalho fino	15,00 a 25,00	1,20 a 1,40
Cascalho médio	25,00 a 40,00	1,40 a 1,80
Cascalho grosso	40,00 a 75,00	1,80 a 2,40
Pedra fina	75,00 a 100,00	2,40 a 2,70
Pedra média	100,00 a 150,00	2,70 a 3,50
Pedra grossa	150,00 a 200,00	3,50 a 3,90
Pedra grande (bloco)	200,00 a 300,00	3,90 a 4,50

Nota: Ao menor diâmetro da faixa que caracteriza o material, corresponde o menor valor da faixa de velocidades.

TABELA 4.2.1.2/IV

ESTABILIDADE DE CANAIS - VELOCIDADES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS, EM m/s

## II . MATERIAIS COESIVOS

MATERIAL	GRAU DE COMPACTAÇÃO	MUITO	POUCO	COMPACTADO		MUITO	
		COMPACTADO 2.0 * i.v. 1.2	COMPACTADO 1.2 i.v. 0.6	0.6	i.v. 0.3	COMPACTADO 0.3	i.v. 0.2
Argila arenosa (porcentagem de areia inferior a 50%)		0,45	0,90	1,30		1,60	
Solos com grande quantidade de argilas		0,40	0,85	1,25		1,70	
Argilas		0,35	0,80	1,20		1,65	
Argilas muito finas		0,32	0,70	1,05		1,35	

\* i.v. = índice de vazios

Nota: Para canais com lâmina diferente de 1 m, ver TABELA 4.2.1.2/V para correção dos valores das velocidades máximas admissíveis.

**ESTABILIDADE DE CANAIS**  
**Fatores Corretivos das Velocidades**  
**Máximas Admissíveis**

TABELA 4.2.1.2/V

I. FATOR CORRETIVO PARA LÂMINA D'ÁGUA DIFERENTE DE 1,00 m

Tirante médio (m)	0,3	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Fator Corretivo	0,8	0,9	0,95	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2

TABELA 4.2.1.2/VI

II. FATOR CORRETIVO PARA CANAIS COM CURVAS

Grau de Sinuosidade	Retilíneo	Pouco Sinuoso	Moderadamente Sinuoso.	Muito Sinuoso
Fator Corretivo	1,00	0,95	0,87	0,78

#### 4.2.1.3 Tomada d'água

##### 4.2.1.3.1 Geral

A captação no rio da descarga de água necessária à movimentação da turbina é efetuada por uma estrutura denominada tomada d'água.

A tomada pode ser ligada diretamente à tubulação forçada que leva a água à máquina ou, dependendo da topografia do local, pode descarregar a água captada em um canal aberto de adução ou em uma tubulação de baixa pressão que transportará a água até o local mais adequado para a implantação da tubulação forçada. No caso de se optar por um canal de adução, no final deste, na entrada da tubulação forçada, será instalada uma outra estrutura, semelhante à tomada d'água, que recebe a denominação de câmara de carga.

A tomada d'água tem as duas seguintes funções:

- Permitir o ensecamento da tubulação forçada ou canal de adução para a realização de obras de manutenção e eventuais reparos.
- Prover a retenção de corpos flutuantes e de material sólido (sedimentos) transportados pelo escoamento. Quando for o caso, esta função pode ser efetuada pela câmara de carga (ver item 4.2.1.6).

##### 4.2.1.3.2 Geometria

As dimensões da tomada d'água devem ser definidas de forma que a velocidade na entrada não exceda a 1 m/s.

Exemplo - ANEXOS 4.2.1.3/A, B e C

Suponha-se que a descarga a ser captada pela tomada d'água seja de 10 m<sup>3</sup>/s.

A velocidade de escoamento na boca da tomada não deve ser superior a 1 m/s.

A área da boca deve ser então igual a

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{10,00}{1,00} = 10 \text{ m}^2$$

Adotando-se uma largura de boca  $B_t = 3,50\text{m}$ , a altura da boca será dada por

$$H_t = \frac{A}{B_t} = \frac{10}{3,50} = 2,86 \text{ m}$$

A fim de permitir a realização de vistorias, obras de manutenção e eventuais reparos na tubulação forçada ou no canal de adução, a tomada d'água deve ser provida de ranhuras para a descida de uma comporta ou pranchões. Para tal, o fluxo de vazão deve ser, primeiramente, estancado por meio do fechamento da turbina e/ou da válvula ou registro à sua entrada. Em seguida pode ser descida a comporta ou pranchões à entrada da tomada o que permitirá o esvaziamento da água confinada na tubulação ou canal.

#### 4.2.1.3.3 Dispositivos de Proteção

##### a) Proteção Contra Corpos Flutuantes

A tomada d'água deverá ser dotada de uma grade de proteção nos arranjos em que dá acesso direto a uma tubulação forçada. Quando for o caso, a grade poderá ser instalada na câmara de carga (ver item 4.2.1.6), dispensando seu uso na tomada d'água. A função da grade é reter os corpos flutuantes superficiais trazidos pela água em épocas de níveis altos, tais como galhos, troncos e mesmo animais mortos.

As dimensões da grade devem corresponder à boca da tomada d'água. Nos anexos 4.2.3/C a E do item de Equipamentos Mecânicos são apresentados modelos de grades a serem escolhidos de acordo com o caso.

A grade deve ser instalada inclinada de um ângulo de 80° e 85° com a horizontal e deve-se cuidar para que seja sempre respeitada uma submersão mínima em relação à grade igual a  $S_{\min} = 0,5 H_t$

Do exemplo do item anterior,

$$S_{\min} = 0,5 H_t = 0,5 \times 2,86 = 1,43 \text{ m (ver ANEXOS 4.2.1.3/B e C)}$$

A limpeza do material retido pela grade deve ser efetuada com o auxílio de "ancinho de jardim", ou ferramenta similar, manejado por um homem postado sobre a estrutura da tomada d'água.

##### b) Proteção Contra Sedimentos Transportados pelo Escoamento

Para evitar que a entrada de sedimentos danifique o conduto forçado e as máquinas por efeito de abrasão, é prevista, na frente da tomada d'água, a instalação de uma estrutura denominada desarenador.

Esta estrutura tem como função criar uma zona de escoamento de baixa velocidade a montante da tomada d'água, fazendo com que os sedimentos trazidos pela água ali se depositem.

De tempos em tempos, de acordo com a quantidade de sedimentos que se acumular, devem ser baixados os pranchões para ensecamento nas ranhuras apropriadas, situadas no início do desarenador e na tomada d'água, e aberta a comporta de limpeza que deve dar acesso a um poço para depósito desses detritos.

A limpeza deve ser efetuada com auxílio de enchadas e após a secagem dos sedimentos; estes devem ser retirados do poço de depósito.

Em alguns casos, quando a topografia apresentar-se favorável, a comporta de limpeza pode dar acesso a um canal ou talvegue que devolva diretamente o material depositado ao rio, a jusante da tomada d'água.

As comportas para a limpeza devem medir da ordem de 0,50 m por 0,50 m (ver ítem 4.2.3.1).

As dimensões da estrutura do desarenador devem obedecer à seguinte relação:

$$L_d = \frac{K_d \times Q}{B_d} \quad \text{onde:}$$

$K_d$  = coeficiente de deposição que toma valores entre 5 e 10.

$L_d$  = comprimento do desarenador (m)

$Q$  = Vazão de adução ( $m^3/s$ )

$B_d$  = largura do desarenador (m)

O valor mínimo recomendável para  $L_d$  é de 2,00 m.

Exemplo - ANEXOS 4.2.1.3/A, B e C.

Considerando a largura  $B_t$ , adotada no exemplo anterior, igual a 3,50 m para a boca da tomada d'água, vamos escolher para largura do desarenador um valor  $B_d$  um pouco maior.

Assim sendo,

$$B_d = 5,0 \text{ m}$$

Daí, considerando  $K_d = 5,0$ , teremos:

$$L_d = \frac{5,0 \times 10,00}{5,00} = 10,00 \text{ m}$$

#### 4.2.1.3.4 Localização da Tomada d'Água

A tomada d'água deve ser localizada, sempre que possível, junto à margem do reservatório formado pela barragem, ao longo de trechos retos ou do lado côncavo dos trechos em curvatura, pois os sedimentos transportados pelo escoamento são, na sua maior parte, carregados para a parte convexa, onde se depositam.

#### 4.2.1.3.5 Aspectos Construtivos

##### A) Composição do Concreto

As quantidades de materiais, para obter 1 metro cúbico de concreto, são as seguintes:

. Cimento: 250 kg, ou seja, 5 sacos de 50 kg cada

. Agregados: as quantidades de areia e brita são dadas na tabela a seguir. Para areias finas, médias ou grossas, são fornecidas as quantidades em litros de pedra: 1 e 2. O número entre parêntesis refere-se ao número de padiolas (0,50 m x 0,35 m x 0,30 m) para obter 1 metro cúbico de concreto.

TABELA 4.2.1.3/I

Areia		Pedra 1 até 19 mm	Pedra 2 até 25 mm
Fina até 2,4 mm	470 (10)	470 (10)	470 (10)
Média e grossa até 4,8 mm	710 (15)	470 (10)	470 (10)

. Água = 120 a 150 litros por m<sup>3</sup> de concreto, ou seja, 24 a 30 litros para cada saco de cimento.

. Exemplo: para 1 m<sup>3</sup> de concreto, utilizar 5 sacos de cimento, 15 padiolas de areia grossa, 10 padiolas de pedra 1 e 120 a 150 litros de água.

Deverão ser atendidas as recomendações feitas para a barragem de concreto (item 4.2.1.1.4), quanto ao tempo de mistura e às fôrmas de madeira.



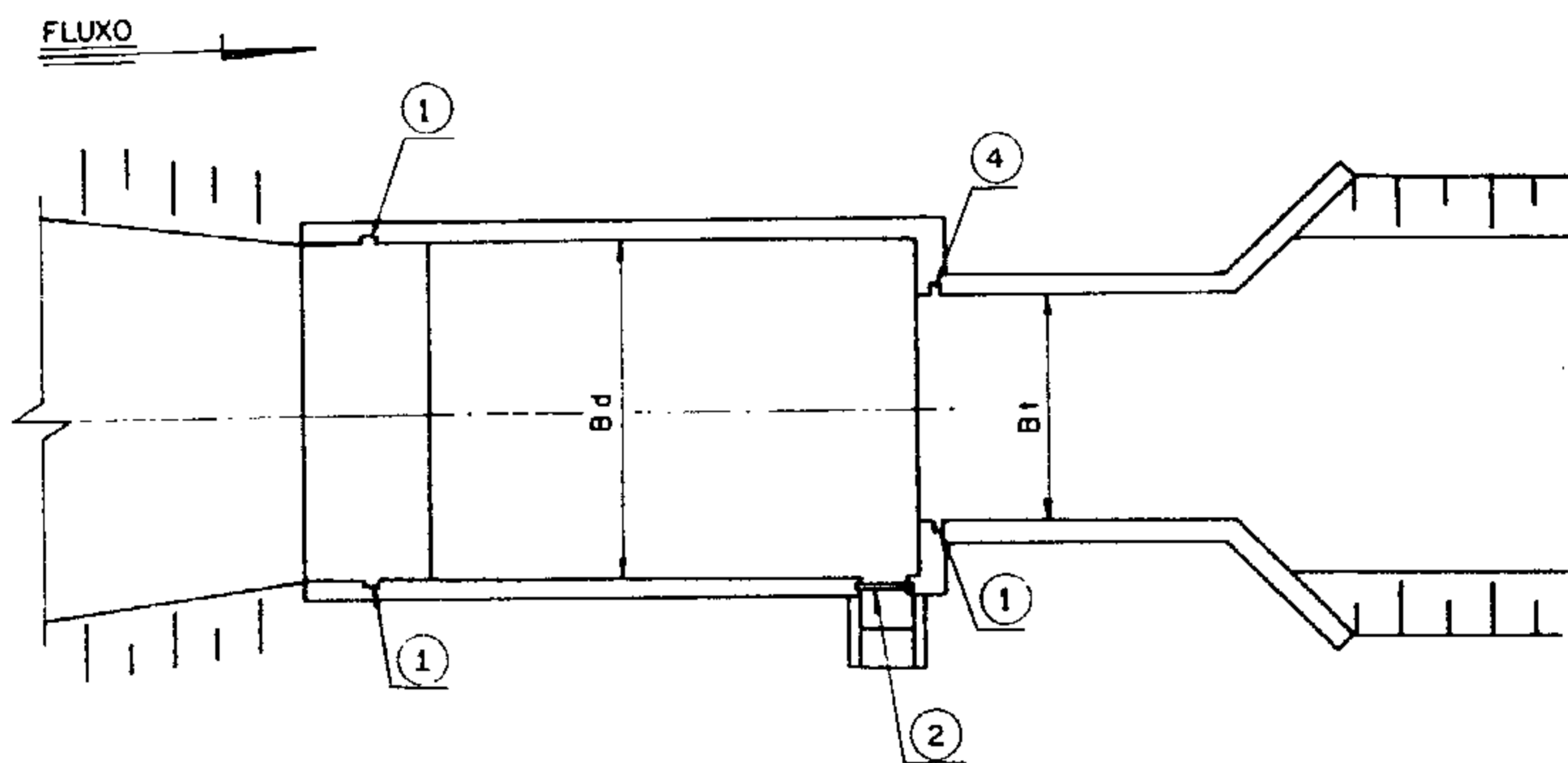
**B) Espessuras das peças de concreto e armação**

As espessuras e a armação das peças de concreto (paredes, laje de fundo, passarela e viga de apoio da grade, pilares, etc), são apresentados nos ANEXOS 4.2.1.3. D, E, F, G e H.

4,2.1,3/A

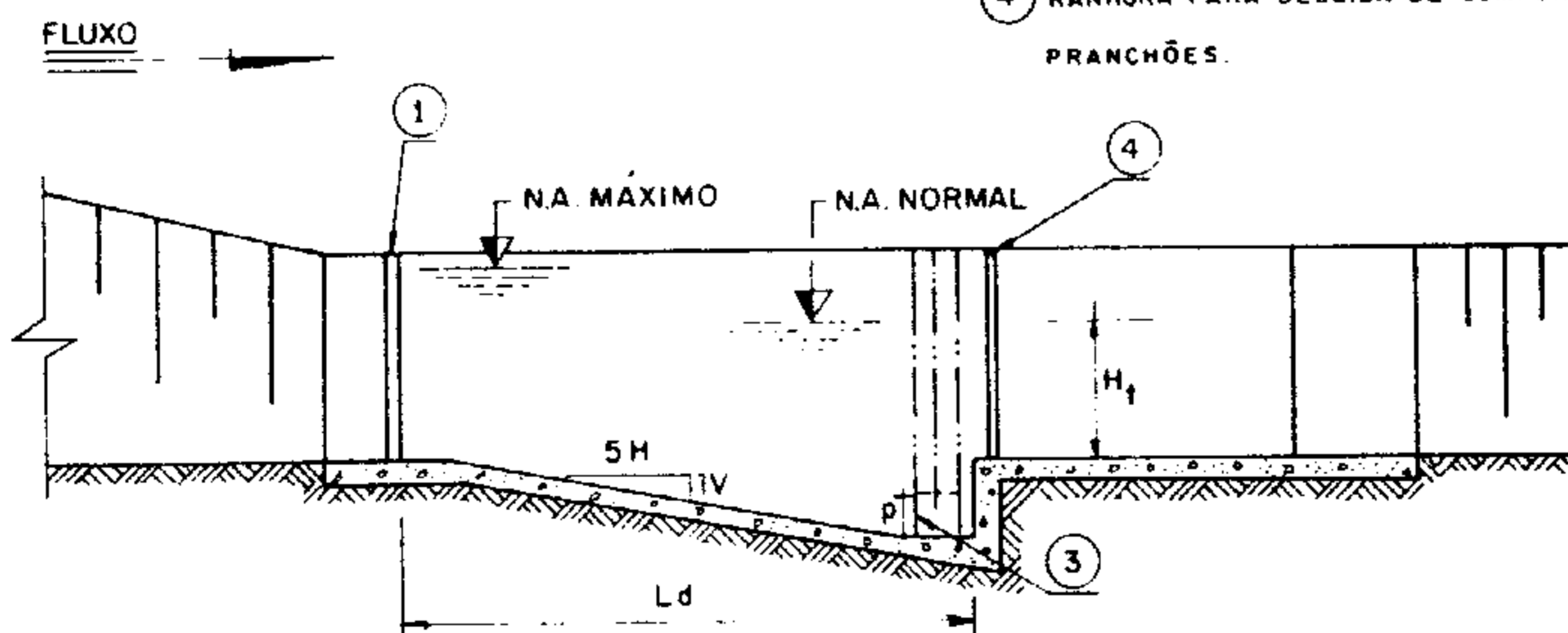
ANEXO

# TOMADA D'ÁGUA ACOPLADA A CANAL DE ADUÇÃO



## PLANTA

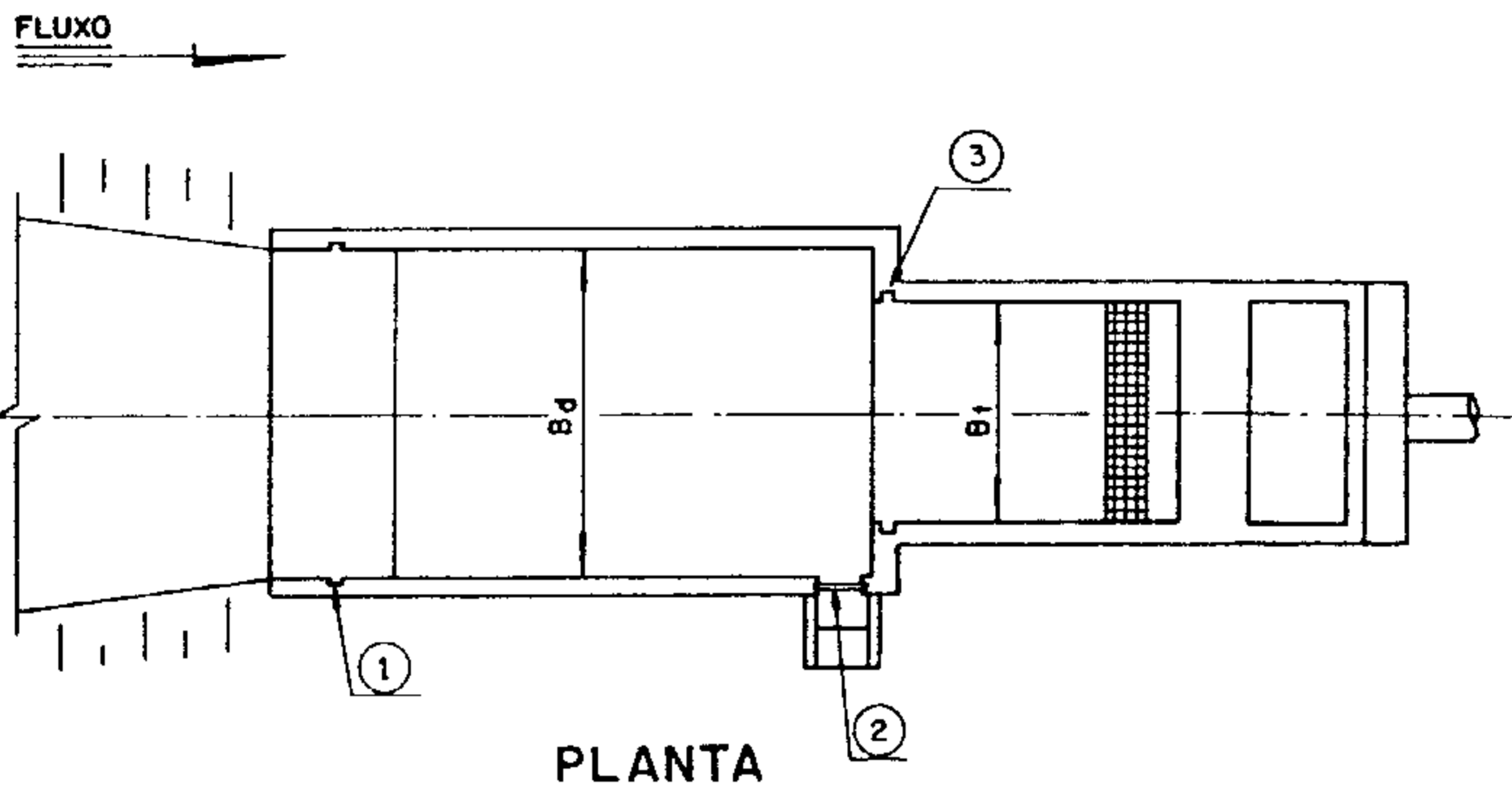
- ① RANHURA PARA DESCIDA DE PRANCHÕES
- ② COMPORTA DE LIMPEZA (DESCARREGA EM UM POÇO, CANAL, OU TALVEGUE NATURAL)
- ③ COMPORTA DE LIMPEZA ( $p \geq 0,80m$ )
- ④ RANHURA PARA DESCIDA DE COMPORTA OU PRANCHÕES.



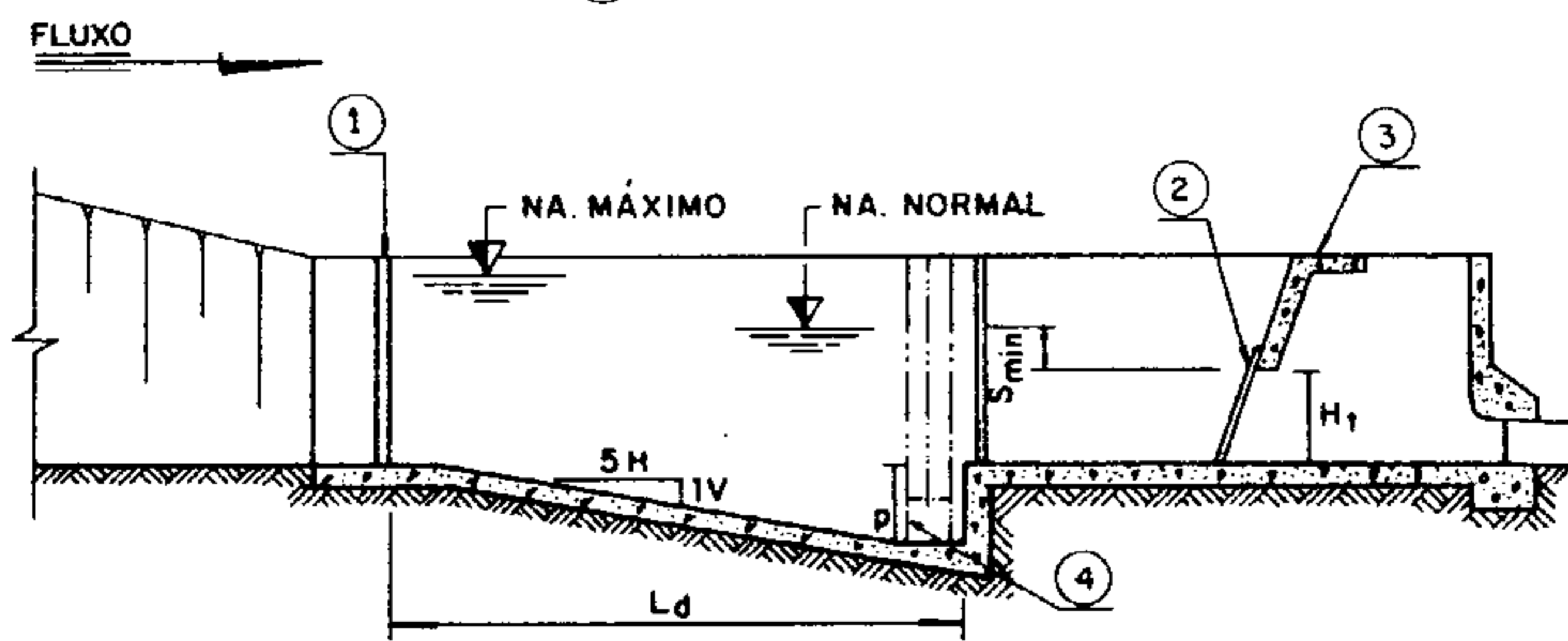
## SEÇÃO LONGITUDINAL

# TOMADA D'ÁGUA ACOPLADA À TUBULAÇÃO FORÇADA

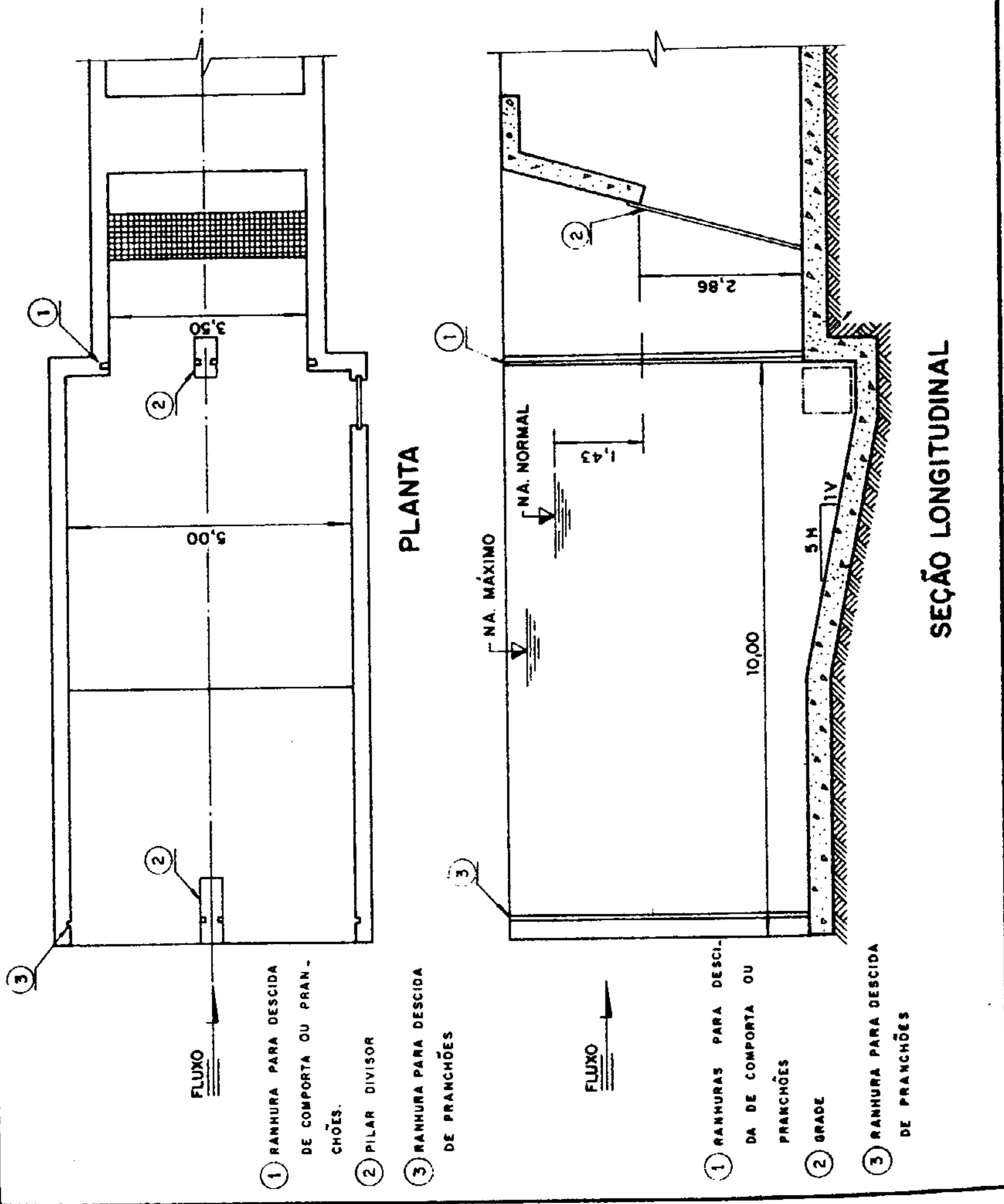
- ① RANHURA PARA DESCIDA DE PRANCHÕES
- ② COMPORTA DE LIMPEZA (DESCARREGA EM UM POÇO, CANAL, OU TALVEGUE NATURAL)
- ③ RANHURA PARA DESCIDA DE COMPORTA OU PRANCHÕES



- ① RANHURA PARA DESCIDA DE PRANCHÕES.
- ② GRADE
- ③ VIGA DE APOIO DA GRADE
- ④ COMPORTA DE LIMPEZA ( $p \geq 0,80m$ )



### TOMADA D'ÁGUA (Exemplo de dimensionamento)

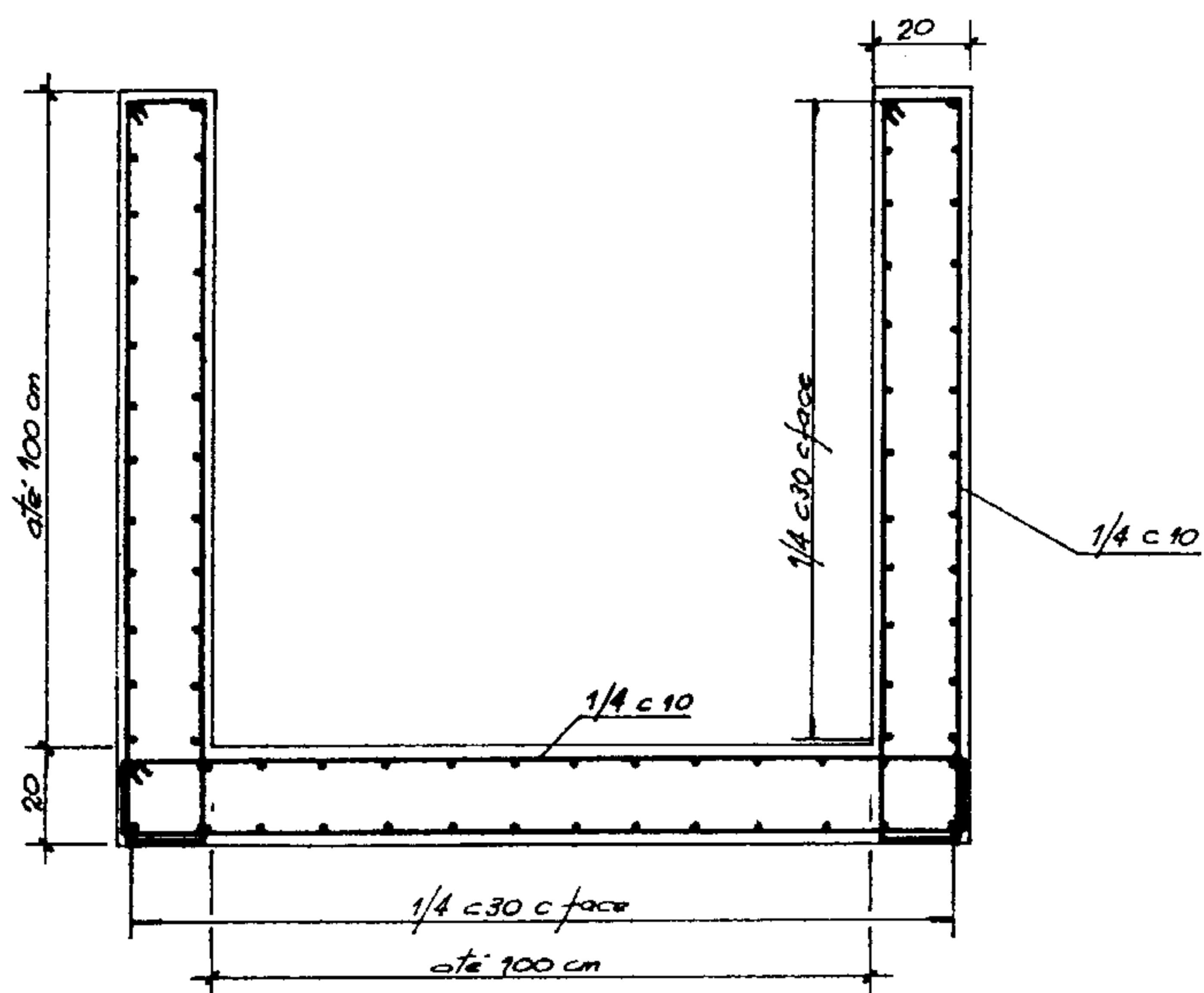


4.2.1.3/D

## PAREDES E LAJE DE FUNDO

ANEXO

A) Até 100 cm de altura e 100 cm de largura

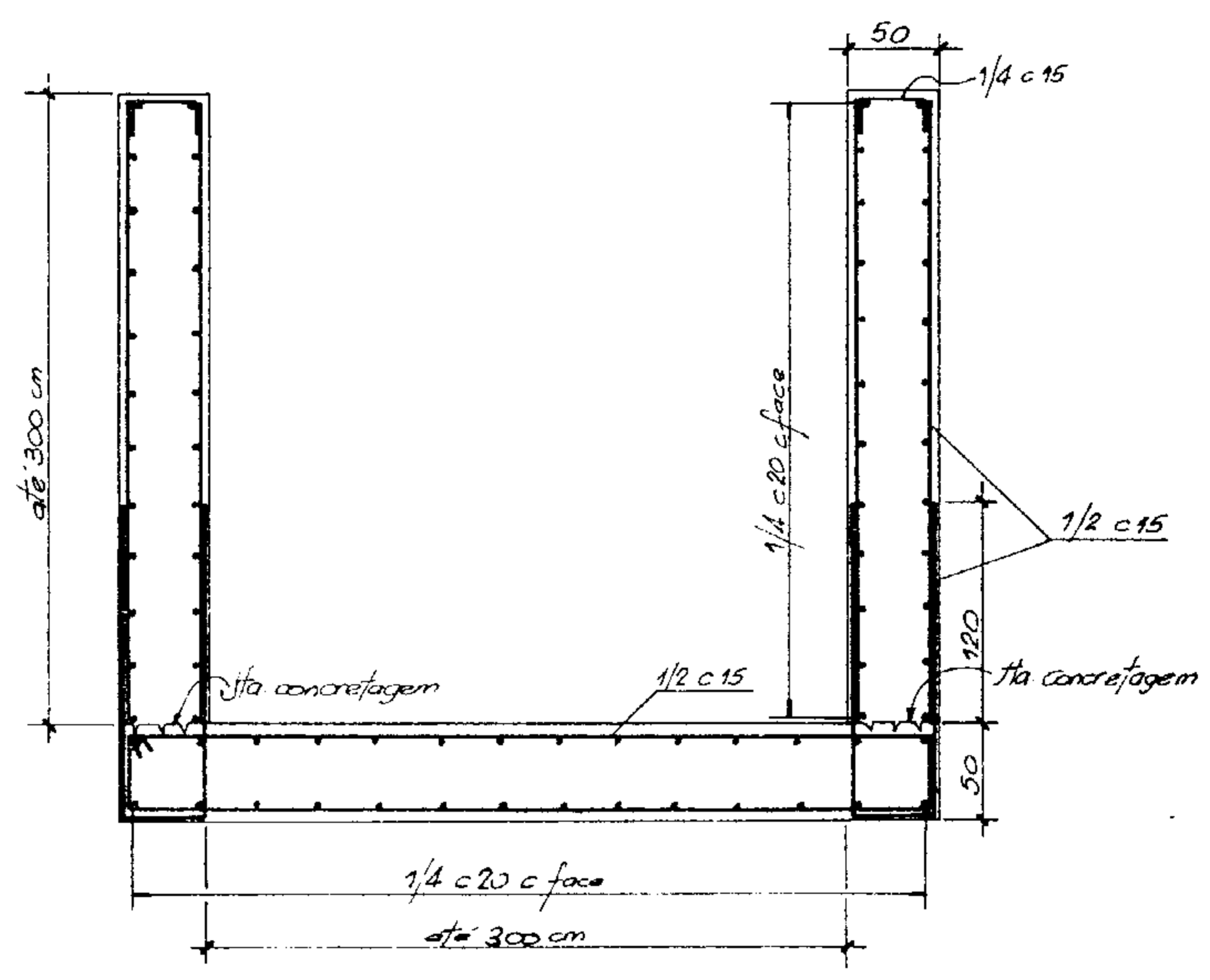


### NOTAS

- 1 - AÇO CA-50A
- 2 - COBRIMENTO MINIMO = 2 cm
- 3 - DIMENSÕES EM CENTÍMETRO

### PAREDES E LAJE DE FUNDO

A) Até 300 cm de altura e 300 cm de largura



**NOTAS:**

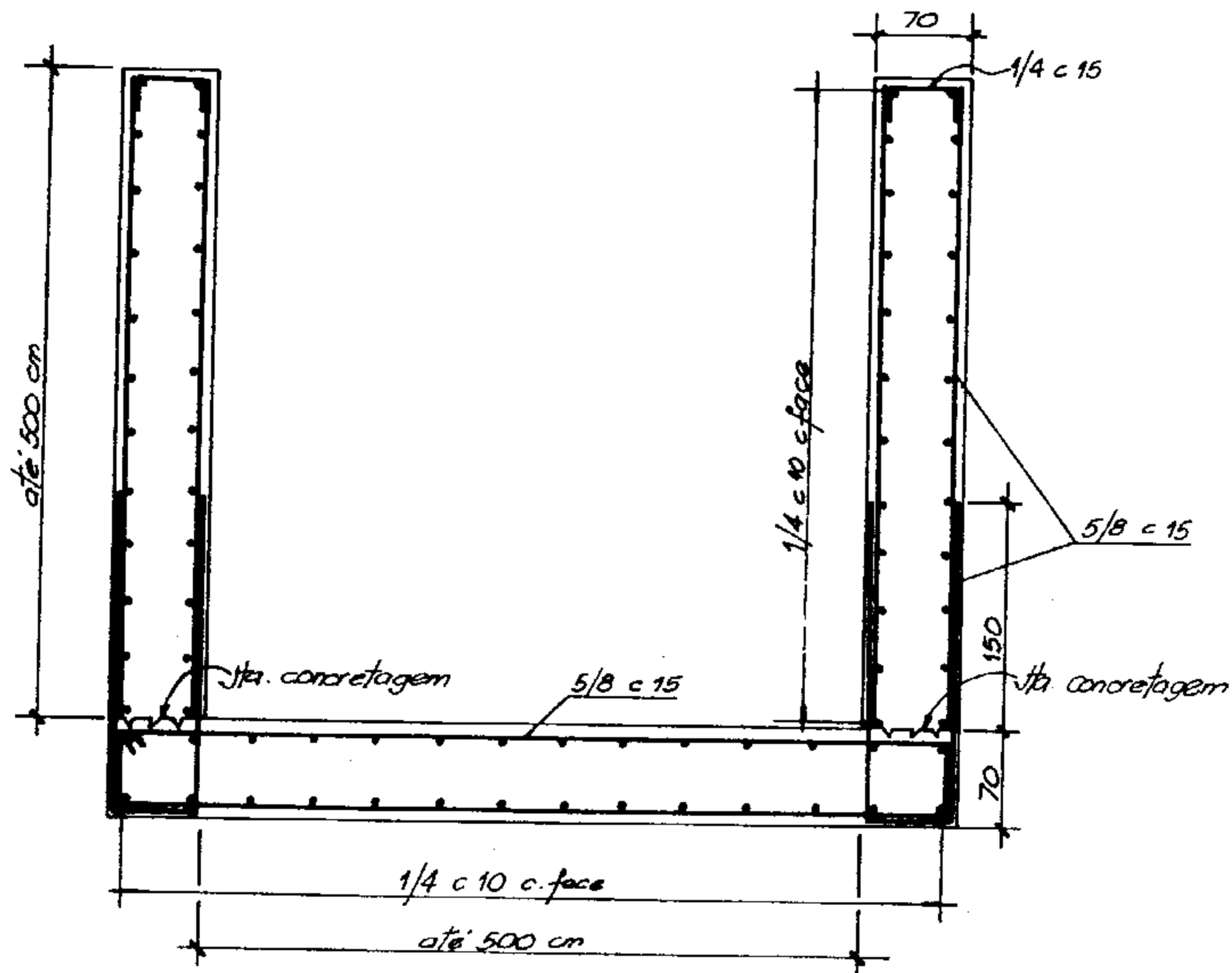
- 1- AÇO CA-50A
- 2- COBRIMENTO MÍNIMO = 2 cm
- 3- DIMENSÕES EM CENTÍMETRO

GRANDE

PAREDES E LAJE DE FUNDO

ANEXO

A) Até 500 cm de altura e 500 cm de largura



NOTAS:

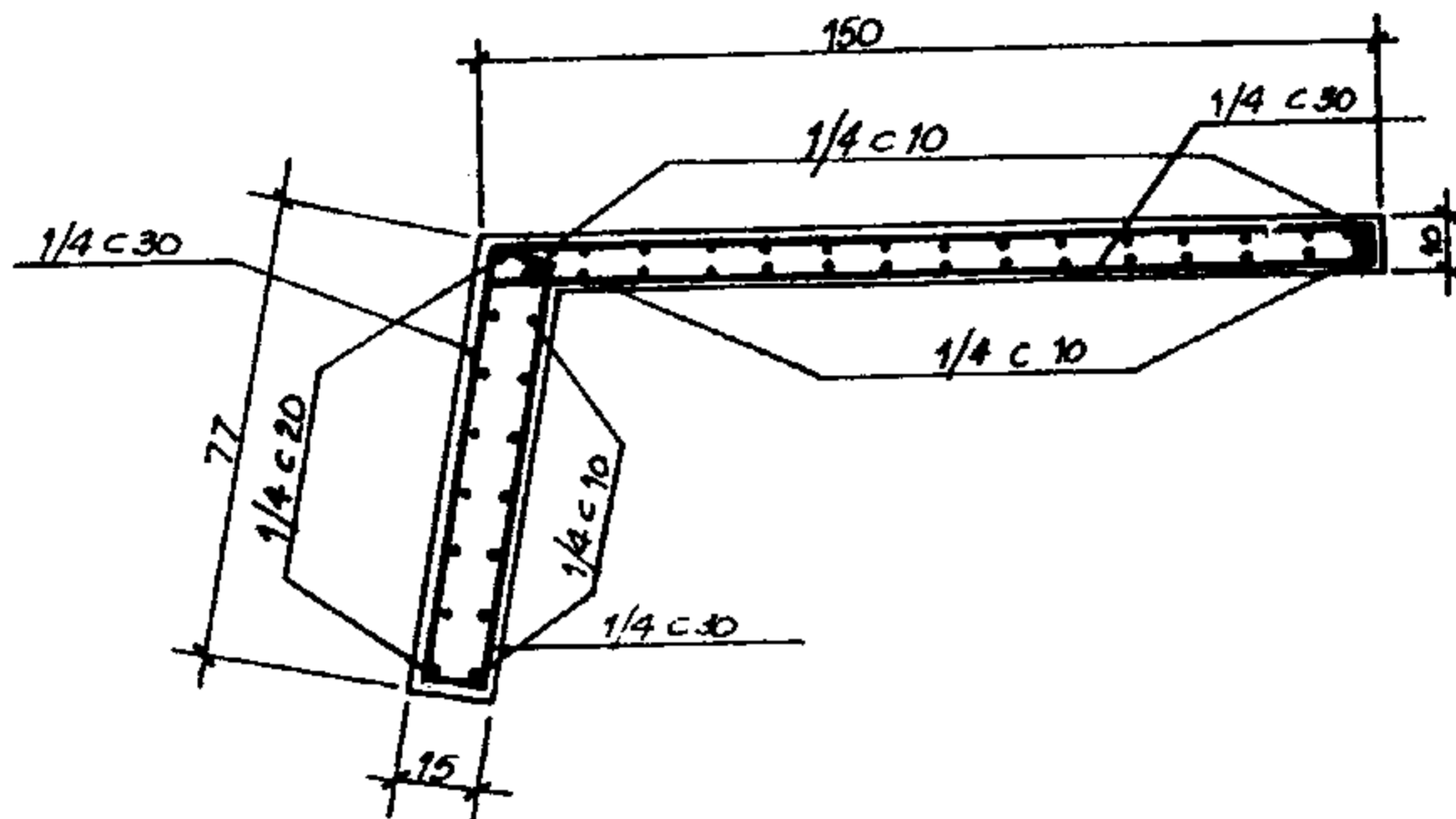
- 1- AÇO CA-50A
- 2- COBRIMENTO MÍNIMO = 2 cm
- 3- DIMENSÕES EM CENTÍMETRO

4.2.1.3/6

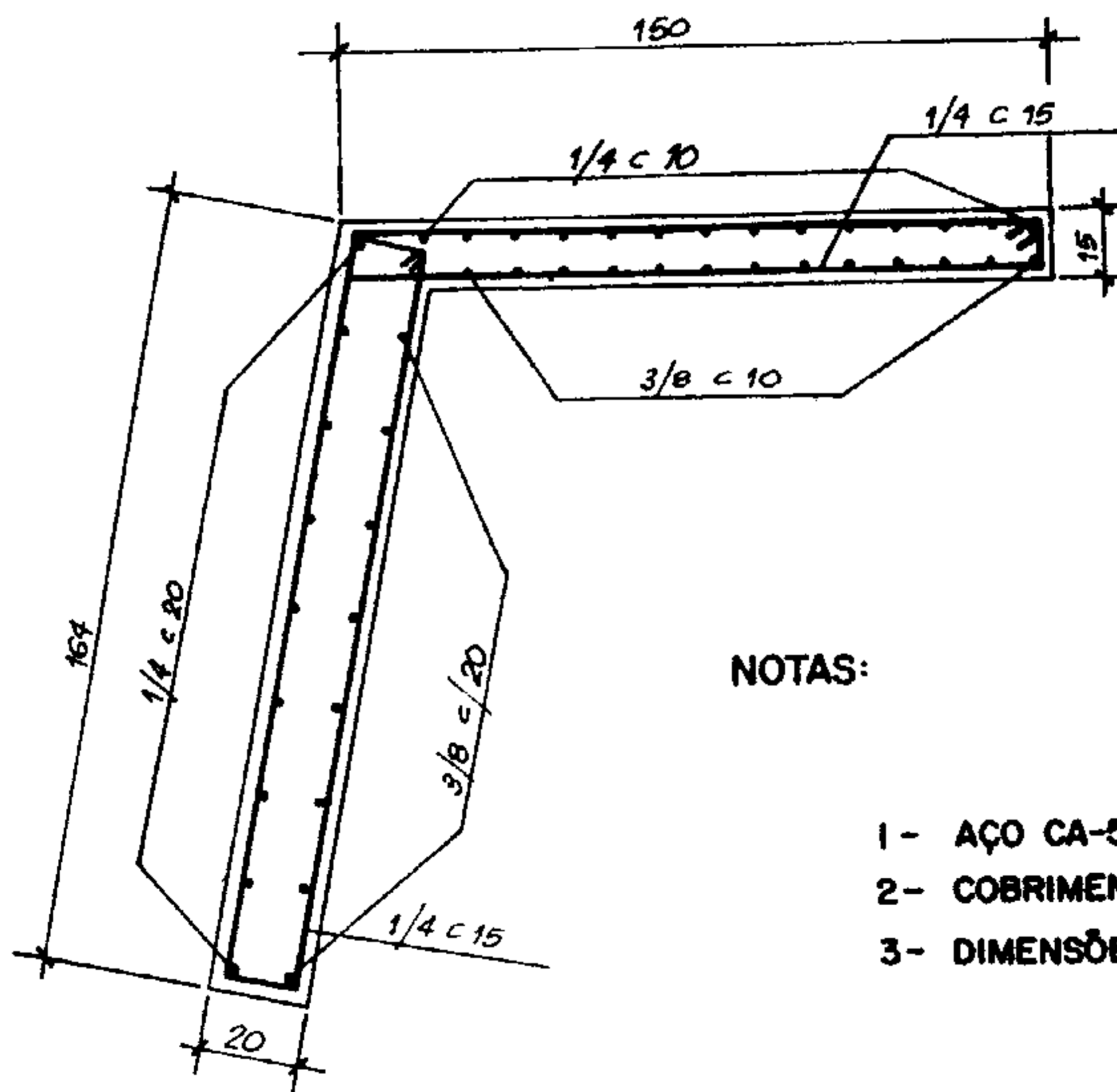
ANEXO

# PASSARELA E VIGA DE APOIO DA GRADE

A) Até 250 cm de vão.



B) Até 500 cm de vão.



## NOTAS:

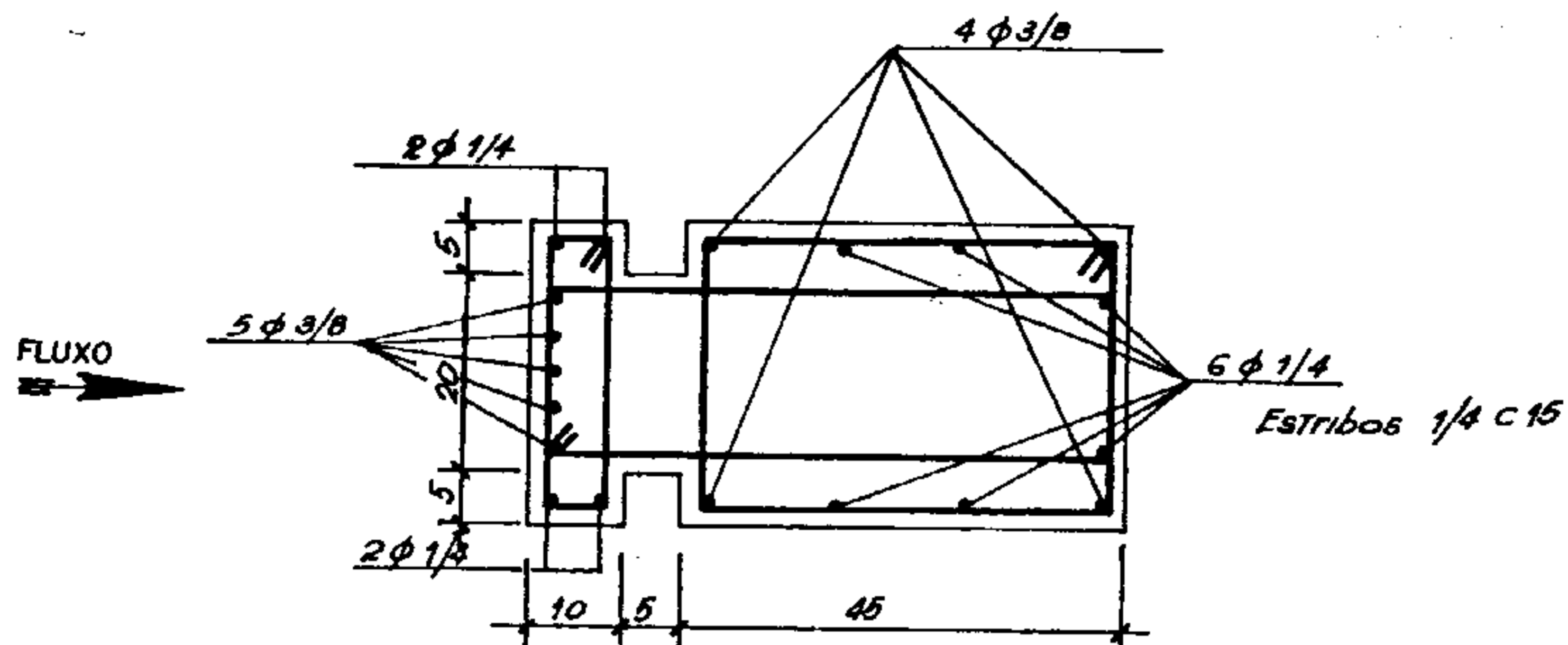
- 1 - AÇO CA-50A
- 2 - COBRIMENTO MÍNIMO = 2 cm
- 3 - DIMENSÕES EM CENTÍMETRO



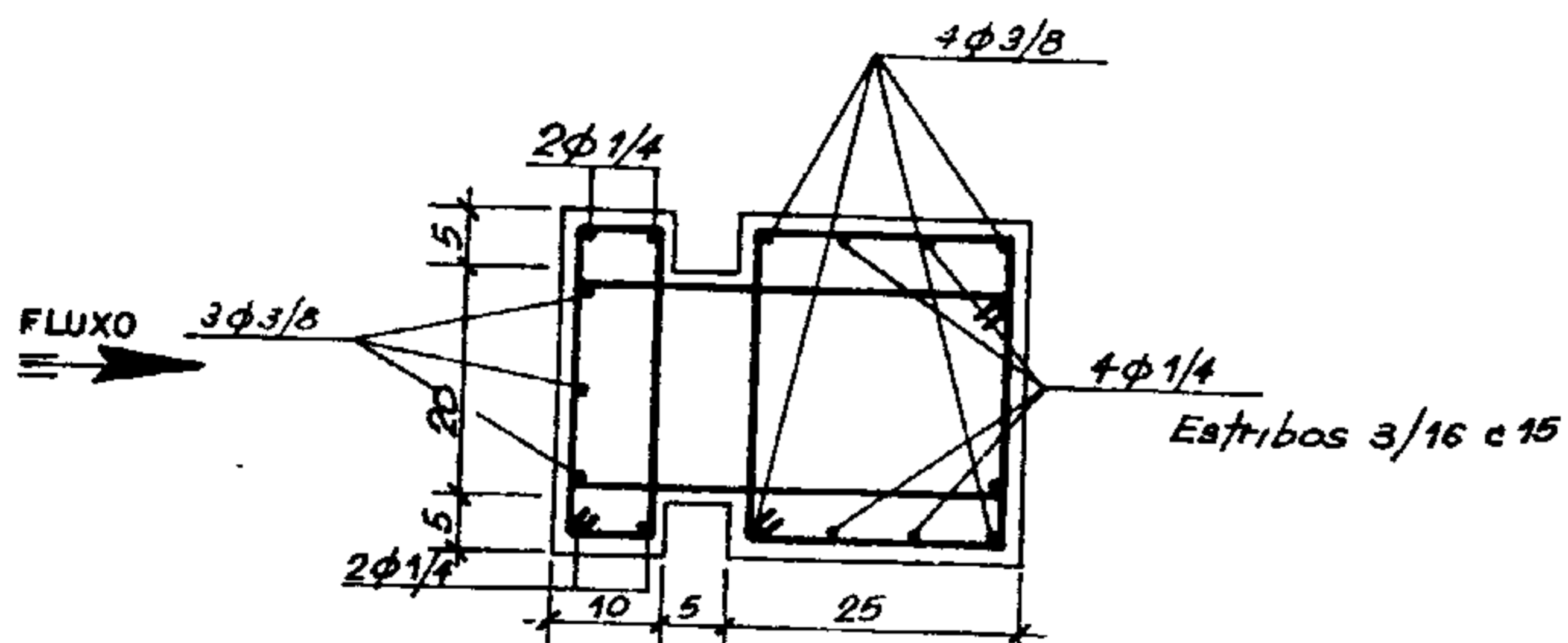
## PILAR DIVISOR

ANEXO

A) Pilar divisor com altura até 250 cm, para pranchões até 250 cm de vão.



B) Pilar divisor com altura até 150 cm, para pranchões até 150 cm de vão.



## NOTAS:

- 1- AÇO CA-50A
- 2- COBRIMENTO MÍNIMO = 2 cm
- 3- DIMENSÕES EM CENTÍMETRO

## 4.2.1.4

## Canal de Adução

Nos casos dos aproveitamentos por derivação, quando é aproveitada a conformação topográfica de uma queda natural e a barragem tem o objetivo apenas de garantir o afogamento da boca da estrutura de captação, torna-se geralmente necessária a utilização de um canal de adução ligando a tomada d'água de captação até à câmara de carga, a qual por sua vez acopla-se ao conduto forçado.

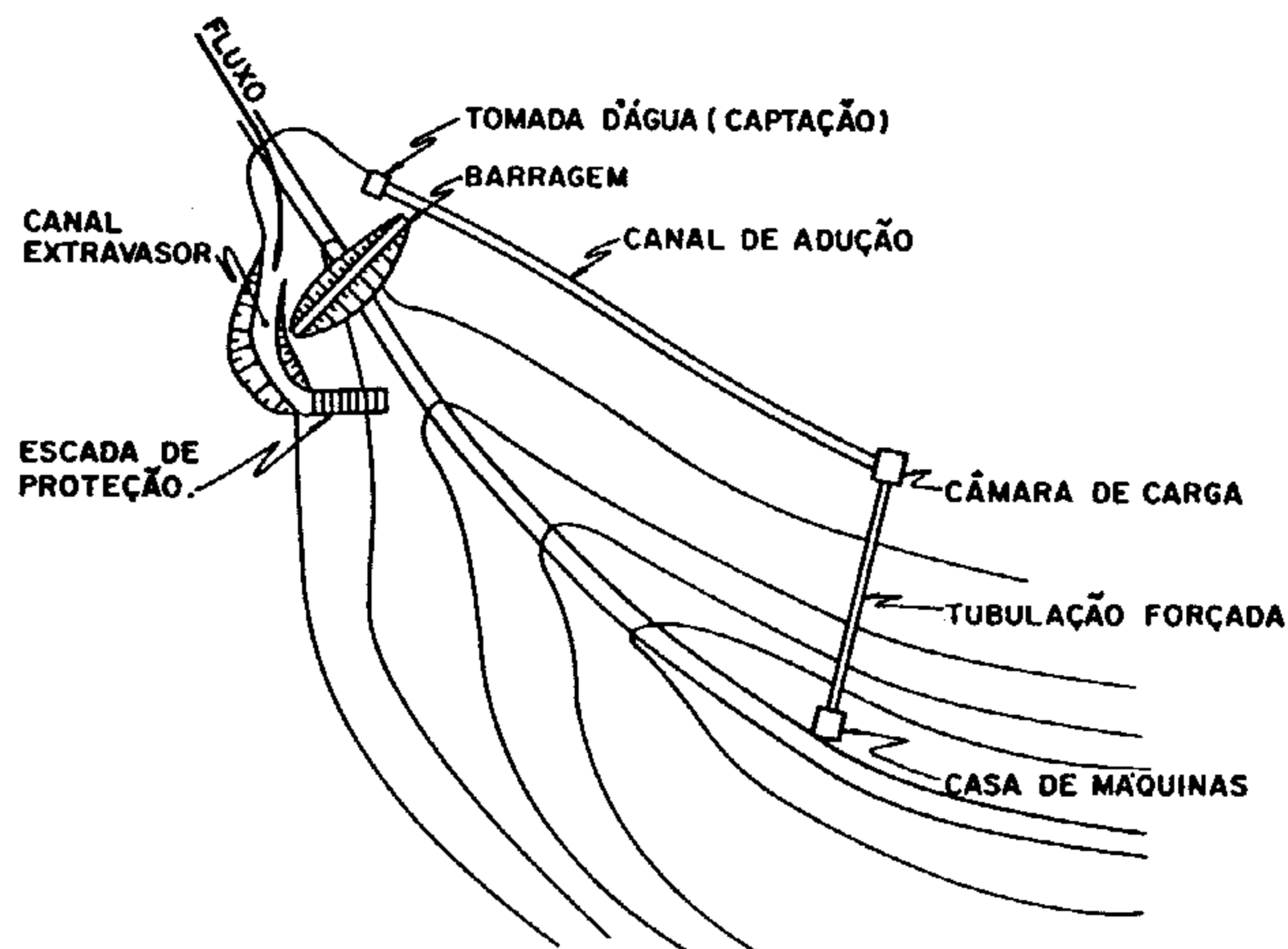


FIGURA 4.2.1.4/1

A declividade do canal de adução deve ser mínima e constante, sendo fixada de forma prática em  $0,4/1.000$ , ou seja, o fundo do canal deve descer em torno de 4 mm em cada 10m de extensão. O canal de adução, em geral, deve desenvolver-se acompanhando os contornos de uma determinada curva de nível do terreno.

Dependendo da geologia do local, o canal de adução pode ser construído em solo natural (ou rocha se for o caso) ou revestido com enrocamento, pedra argamassada, concreto ou outro material, sendo que a escolha da solução mais adequada deve basear-se na comparação dos custos entre alternativas a serem fixadas.

#### 4.2.1.4.1 Canal sem Revestimento (natural)

Uma vez identificado o material natural no local previsto para o corte do canal de adução, pode-se, através da TABELA 4.2.1.4/I, estabelecer a inclinação  $m$  do talude que garanta a estabilidade do mesmo. Nota-se que canais retangulares correspondem a situação em que  $m = 0$ , conforme prevê a tabela.

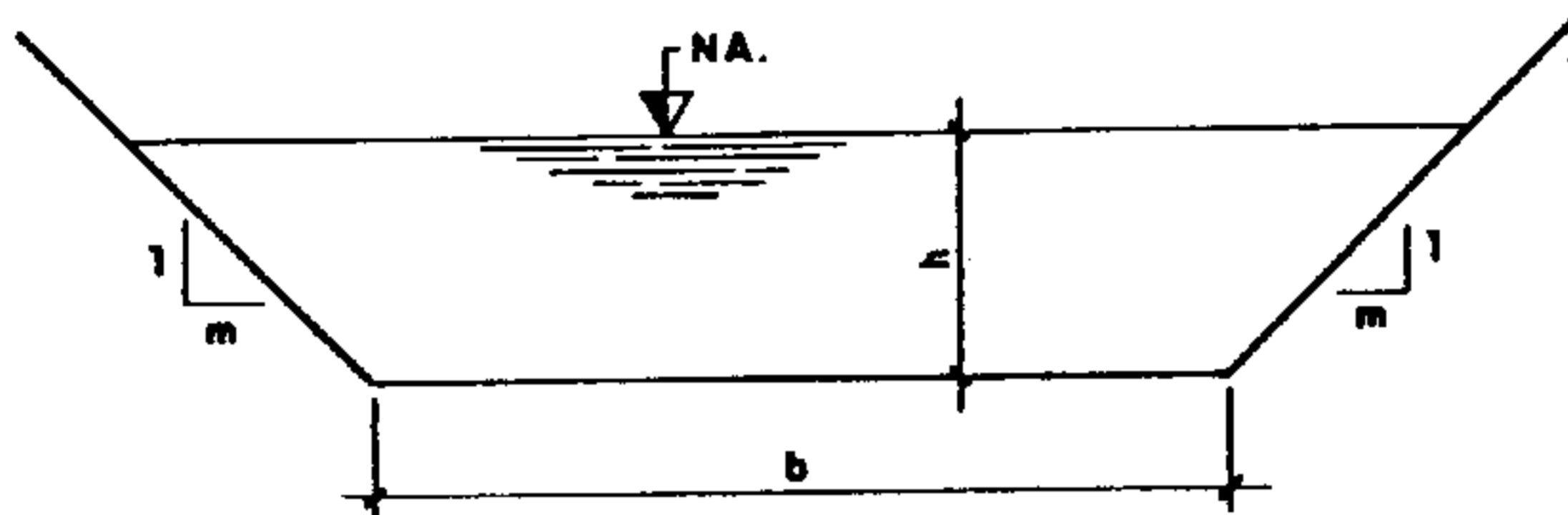


FIGURA 4.2.1.4/2

Com a TABELA 4.2.1.4/II obtêm-se o valor de  $K$  correspondente ao material onde será escavado o canal.

Fixando-se um valor para a largura da base do canal  $b$  e entrando na TABELA 4.2.1.4/III na coluna correspondente ao coeficiente  $K$  do material, obtêm-se um valor de  $C_1$ . Dividindo-se a vazão total normal turbinada  $Q$  pelo coeficiente  $C_1$ , obtêm-se o coeficiente  $C_2$ . Com este valor e com o valor da inclinação  $m$  dos taludes do canal, pode-se, através da TABELA 4.2.1.4/IV (interpolando se necessário), obter o valor da relação  $h/b$  e assim, o valor do tirante normal  $h$  do canal.

Caso o valor de  $C_2$  obtido não se encontre na referida tabela, devem ser calculados novos valores de  $C_1$  e  $C_2$ , para outro valor de  $b$ , até encontrar um valor de  $C_2$  tabelado.

Convém observar que nos casos mais comuns, o valor a ser adotado para  $b$  não deve ser inferior a 0,80 m, tendo em vista facilitar a construção do canal.

. Resumo Esquemático da Sequência de Cálculo

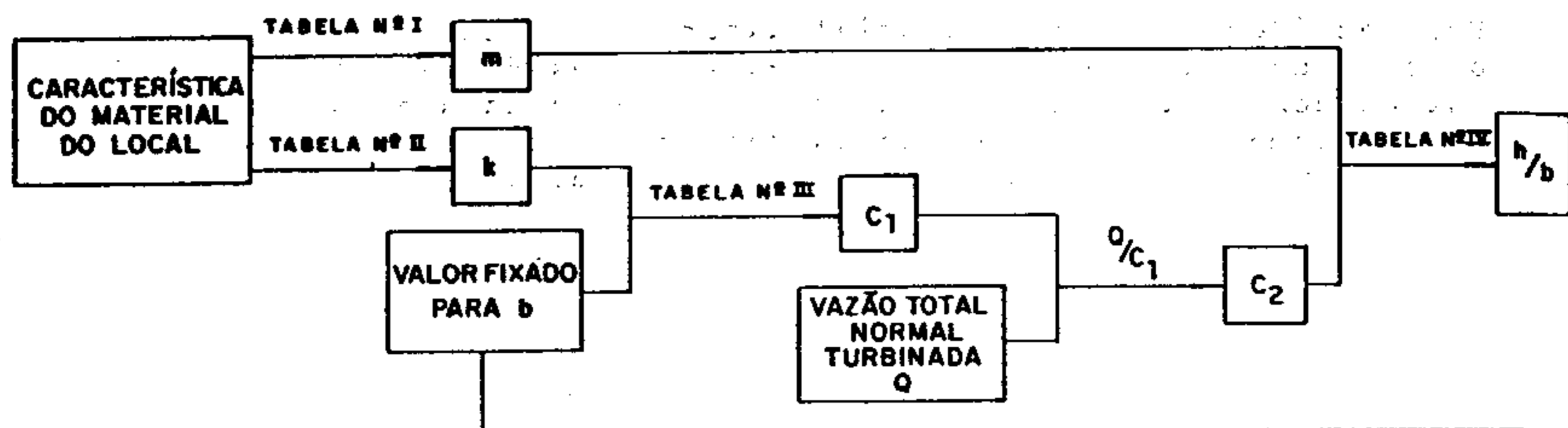


FIGURA 4.2.1.4/3

Calculadas as dimensões do canal, deve ser verificado se a velocidade do escoamento da água se apresenta compatível com o material da superfície do canal. Para tal, calcula-se o valor de  $v$  pela fórmula:

$$v = \frac{Q}{h(b + mh)}$$

A velocidade máxima admissível ( $v_1$ ) é determinada em função da característica do material, espessura da lâmina d'água e desenvolvimento do canal (reto, sinuoso, etc), utilizando-se as TABELAS 4.2.1.2/III, IV, V e VI - "Vertedouro"-item 4.2.1.2. Para ser compatível, o valor de  $v$  deve ser no máximo igual  $v_1$ .

Devem ser levantadas alternativas de pares de valores  $h$  e  $b$ , pesquisando-se o par mais adequado que atenda as razões de economia, incluindo-se nesta análise eventuais restrições que a topografia imponha aos métodos construtivos ou à própria geometria da seção transversal. Caso não se observem restrições à forma de seção, deve ser dada preferência à seção transversal onde se pode inscrever perfeitamente um semicírculo.

#### 4.2.1.4.2 Canal com Revestimento

No caso do canal projetado em solo não ser compatível com a velocidade de escoamento, deverá ser cogitada a hipótese do seu revestimento.

O dimensionamento hidráulico deve ser efetuado simplesmente escolhendo-se alternativas para o revestimento e procedendo-se à mesma sequência de cálculo apresentada.

A TABELA 4.2.1.4/II apresenta também os valores de K para diversos tipos de revestimentos. Para cada tipo, deve ser revisto o valor de m da inclinação dos taludes, de acordo com a TABELA 4.2.1.4/I.

Os revestimentos mais comuns a serem cogitados devem limitar-se normalmente a enrocamento, alvenaria de tijolo maciço ou de pedra e, eventualmente, concreto. Os revestimentos de enrocamento podem ter suas velocidades admissíveis de escoamento estabelecidas pelas TABELAS 4.2.1.2/III, V e VI - "Vertedouro" - item 4.2.1.2, enquanto que o revestimento de tijolo maciço, de pedra argamassada e de concreto resistem a qualquer velocidade que se possa obter dentro do tipo de cálculo proposto para o canal.

#### 4.2.1.4.3 Extravasor de Excessos no Canal

O canal de adução deverá ser dotado de um extravasor lateral que permita o vertimento com segurança de excessos de descarga de pequena monta devido à ocorrência de oscilações de nível d'água.

Este extravasor deve ser instalado o mais próximo possível da câmara de carga e, de preferência, fazer escoar o excesso de vazão por um talvegue natural que deverá ser protegido por pedras de mão.

A cota de crista do extravasor deve coincidir com o nível d'água máximo do reservatório (ver ANEXO 4.2.1.4/A) e o seu comprimento de soleira pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$B = 3,3 \times Q$$

onde:

$$Q = \text{vazão normal turbinada em m}^3/\text{s}.$$

#### 4.2.1.4.4 Aspectos Construtivos

O tirante d'água normal no canal, que corresponde ao nível d'água normal no canal de adução e ao nível d'água máximo no reservatório sem a ocorrência de extravasamento, não deve ser superior a 2,00 m.

Quando da afluência de vazões em excesso ao local da barragem, o reservatório pode sobrelevar até seu nível máximo, de acordo com o tirante d'água calculado no canal extravasor (ou sobre a crista do vertedouro) para a passagem da cheia máxima considerada.

A altura das paredes do canal de adução deve ser definida de modo a acomodar esta variação de nível d'água, adicionada de uma altura de folga de 0,30 m (ver ANEXO 4.2.1.4/B).

A base do canal, tendo em vista facilidades construtivas, não deverá, em princípio, ser inferior a 0,80 m.

#### A) Canais sem Revestimento

O método para escavação do canal poderá variar desde a utilização de técnicas mais simples, através de ferramentas manuais, como picareta, enxada e pá, até a utilização de equipamento convencional, como retro-escavadeira ou tratores com lâmina.

Deverá ser sempre efetuada compactação simples do leito e taludes do canal, o que poderá ser conseguido com aplicação de pilões de blocos de concreto ou madeira.

Quando for o caso, a compactação poderá ser efetuada através da passagem das próprias máquinas utilizadas na escavação (em torno de 6 passagens de trator ou caminhão).

#### B) Canais com Revestimento

##### - Revestimento de Pedra Solta

O revestimento de pedra deverá ser assentado sobre uma camada contínua de base, executada com pedra de diâmetro inferior à do revestimento externo. Esta camada intermediária deverá apresentar uma espessura de aproximadamente 10 cm, enquanto que a camada externa de proteção deverá ter uma espessura de três vezes o diâmetro médio da pedra escolhida para o revestimento. No caso de a pedra de revestimento se apresentar com diâmetro até 5 cm, poderá ser dispensada a camada de base.

Desta forma, os limites para escavação do canal deverão prever a espessura para o material de revestimento, de forma que a superfície interna do canal se apresente com as dimensões previstas pelos cálculos hidráulicos.

##### - Revestimento de Alvenaria de Tijolo ou de Pedra

No revestimento de alvenaria de tijolo deverão ser utilizados tijolos maciços de barro cozido ou de concreto, também maciços. Os tijolos deverão ser posicionados de modo que, ao serem argamassados, apresentem uma espessura de camada de 6 cm, fixada com base nas dimensões padrão do tijolo mais comum de barro de 6 cm x 11,5 cm x 21 cm.

Antes da colocação, os tijolos ou as pedras deverão ser fortemente molhados.

A alvenaria, no caso dos tijolos, deverá ser executada do tipo mata-junta.

As peças ao serem argamassadas não deverão entrar em contato direto com o solo, sendo colocadas sobre uma camada de argamassa mais pobre, em torno de 5 cm, que nivelará as eventuais saliências do leito e taludes escavados.

- Revestimento de Concreto

O revestimento de concreto deverá ser executado normalmente sem armaduras, com uma espessura de camada de 15 cm, sobre posta a uma base de brita disposta em uma camada de 5 a 10 cm.

A cada 10 m deverá ser posicionada uma junta de dilatação, com espessura de 1 cm, que será preenchida com piche ou asfalto, após o endurecimento do concreto.

A execução do revestimento deverá ser controlada de modo a não se produzirem vazios, sendo executado o acabamento superficial com desempenadeira sobre guias.

O traço a ser utilizado na preparação do concreto deverá obedecer os seguintes parâmetros:

. cimento	= 1 saco (50 kg)
. brita 1 ou cascalho	= 220 litros
. areia	= 100 litros
. água	= 35 litros, no caso de uso de areia grossa, ou 40 litros, no caso de uso de areia fina.

TABELA 4.2.1.4/I

VALORES DE  $m$  PARA INCLINAÇÃO DE TALUDES DO CANAL DE ADUÇÃO

CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL	$m$
Rocha dura, alvenaria comum, concreto	0 ou 0,50
Rocha fissurada	0,50
Argila dura, aluviões compactos	1,00
Cascalho grosso, enrocamento, terra, areia grossa	2,00
Terra mexida, areia normal	3,00

TABELA 4.2.1.4/II

VALORES DE  $K$  PARA OS DIVERSOS REVESTIMENTOS

CARACTERÍSTICAS DO REVESTIMENTO	$K$
Revestimento de argamassa de cimento e areia, tábuas aplainadas.	85
Reboco comum, tábuas com juntas mal cuidadas.	80
Concreto liso, asfalto liso.	75
Alvenaria ordinária, concreto projetado, terra muito regular.	70
Terra irregular, concreto áspero, alvenaria mal acabada, asfalto rugoso, areia.	60
Terra irregular com raízes, rocha.	50
Enrocamento.	40



TABELA 4.2.1.4/III  
VALORES DE  $C_1$  EM FUNÇÃO DE  $b$  e  $K$

$b$ (m) \ $K$	85	80	75	70	60	50	40
0,20	0,0233	0,0219	0,0205	0,0192	0,0164	0,0137	0,0109
0,25	0,0422	0,0397	0,0372	0,0347	0,0298	0,0248	0,0198
0,30	0,0686	0,0645	0,0605	0,0565	0,0484	0,0403	0,0323
0,35	0,1034	0,0973	0,0913	0,0852	0,0730	0,0608	0,0487
0,40	0,1477	0,1390	0,1303	0,1216	0,1042	0,0869	0,0695
0,45	0,2022	0,1903	0,1784	0,1665	0,1427	0,1189	0,0951
0,50	0,2677	0,2520	0,2362	0,2205	0,1890	0,1575	0,1260
0,55	0,3452	0,3249	0,3046	0,2843	0,2437	0,2031	0,1625
0,60	0,4354	0,4098	0,3841	0,3585	0,3073	0,2567	0,2049
0,65	0,5390	0,5073	0,4755	0,4438	0,3804	0,3170	0,2536
0,70	0,6567	0,6181	0,5795	0,5408	0,4636	0,3863	0,3090
0,75	0,7894	0,7429	0,6965	0,6501	0,5572	0,4643	0,3715
0,80	0,9376	0,8825	0,8273	0,7721	0,6618	0,5515	0,4412
0,85	1,1021	1,0373	0,9725	0,9076	0,7780	0,6483	0,5186
0,90	1,2836	1,2081	1,1326	1,0571	0,9061	0,7551	0,6040
0,95	1,4827	1,3955	1,3082	1,2210	1,0466	0,8722	0,6977
1,00	1,7000	1,6000	1,5000	1,4000	1,2000	1,0000	0,8000
1,05	1,9362	1,8223	1,7084	1,5945	1,3667	1,1390	0,9112
1,10	2,1919	2,0630	1,9341	1,8051	1,5473	1,2894	1,0315
1,15	2,4678	2,3226	2,1775	2,0323	1,7420	1,4516	1,1613
1,20	2,7644	2,6018	2,4392	2,2766	1,9513	1,6261	1,3009
1,25	3,0823	2,9010	2,7197	2,5384	2,1757	1,8131	1,4505
1,30	3,4221	3,2208	3,0195	2,8182	2,4156	2,0130	1,6104
1,35	3,7845	3,5619	3,3392	3,1166	2,6714	2,2262	1,7809
1,40	4,1699	3,9246	3,6793	3,4340	2,9434	2,4529	1,9623
1,45	4,5789	4,3096	4,0402	3,7709	3,2322	2,6935	2,1548
1,50	5,0122	4,7173	4,4225	4,1277	3,5380	2,9483	2,3587
1,55	5,4702	5,1484	4,8266	4,5048	3,8613	3,2177	2,5742
1,60	5,9535	5,6032	5,2530	4,9028	4,2024	3,5020	2,8016
1,65	6,4626	6,0824	5,7023	5,3221	4,5618	3,8015	3,0412
1,70	6,9981	6,5864	6,1748	5,7631	4,9398	4,1165	3,2932
1,75	7,5605	7,1158	6,6710	6,2263	5,3368	4,4474	3,5579
1,80	8,1503	7,6709	7,1915	6,7120	5,7532	4,7943	3,8355
1,85	8,7681	8,2524	7,7366	7,2208	6,1893	5,1577	4,1262
1,90	9,4144	8,8606	8,3068	7,7530	6,6454	5,5379	4,4303
1,95	10,0896	9,4961	8,9026	8,3091	7,1221	5,9351	4,7481
2,00	10,7943	10,1594	9,5244	8,8894	7,6195	6,3496	5,0797
2,05	11,5290	10,8508	10,1727	9,4945	8,1381	6,7818	5,4254
2,10	12,2942	11,5710	10,8478	10,1246	8,6783	7,2319	5,7855
2,15	13,0904	12,3203	11,5503	10,7803	9,2403	7,7002	6,1602
2,20	13,9180	13,0993	12,2806	11,4619	9,8245	8,1870	6,5496
2,25	14,7775	13,9083	13,0390	12,1697	10,4312	8,6927	6,9541
2,30	15,6695	14,7478	13,8261	12,9043	11,0609	9,2174	7,3739
2,35	16,5945	15,6183	14,6422	13,6660	11,7137	9,7614	7,8092
2,40	17,5528	16,5203	15,4877	14,4552	12,3902	10,3252	8,2601

(Continua)

TABELA 4.2.1.4/III  
VALORES DE  $C_1$  EM FUNÇÃO DE b e K

(Continuação)

b (m) \ K	85	80	75	70	60	50	40
2,45	18,5449	17,4540	16,3632	15,2723	13,0905	10,9088	8,7270
2,50	19,5714	18,4202	17,2689	16,1176	13,8151	11,5126	9,2101
2,55	20,6327	19,4190	18,2053	16,9916	14,5643	12,1369	9,7095
2,60	21,7292	20,4510	19,1729	17,8947	15,3383	12,7819	10,2255
2,65	22,8615	21,5167	20,1719	18,8271	16,1375	13,4479	10,7523
2,70	24,0299	22,6164	21,2029	19,7893	16,9623	14,1352	11,3082
2,75	25,2350	23,7506	22,2661	20,7817	17,8129	14,8441	11,8753
2,80	26,4771	24,9196	23,3621	21,8047	18,6897	15,5748	12,4598
2,85	27,7567	26,1240	24,4912	22,8585	19,5930	16,3275	13,0620
2,90	29,0744	27,3641	25,6539	23,9436	20,5231	17,1026	13,6821
2,95	30,4304	28,6404	26,8504	25,0603	21,4803	17,9002	14,3202
3,00	31,8253	29,9532	28,0811	26,2091	22,4649	18,7208	14,9766
3,10	34,7334	32,6902	30,6471	28,6039	24,5177	20,4314	16,3451
3,20	37,8021	35,5784	33,3548	31,1311	26,6838	22,2365	17,7892
3,30	41,0348	38,6210	36,2072	33,7934	28,9658	24,1381	19,3105
3,40	44,4351	41,8213	39,2074	36,5936	31,3659	26,1383	20,9106
3,50	48,0062	45,1823	42,3584	39,5345	33,8867	28,2389	22,5911
3,60	51,7514	48,7072	45,6630	42,6188	36,5304	30,4420	24,3536
3,70	55,6741	52,3992	49,1242	45,8493	39,2994	32,7495	26,1996
3,80	59,7776	56,2613	52,7449	49,2286	42,1960	35,1633	28,1306
3,90	64,0651	60,2965	56,5280	52,7595	45,2224	37,6853	30,1483
4,00	68,5397	64,5080	60,4762	56,4445	48,3810	40,3175	32,2540
4,10	73,2047	68,8986	64,5924	60,2863	51,6739	43,0616	34,4493
4,20	78,0633	73,4714	68,8794	64,2874	55,1035	45,9196	36,7357
4,30	83,1186	78,2293	73,3399	68,4506	58,6719	48,8933	39,1146
4,40	88,3736	83,1752	77,9767	72,7783	62,3814	51,9845	41,5876
4,50	93,8316	88,3121	82,7926	77,2731	66,2340	55,1950	44,1560
4,60	99,4954	93,6428	87,7901	81,9374	70,2321	58,5267	46,8214
4,70	105,368	99,1701	92,9720	86,7739	74,3776	61,9813	49,5851
4,80	111,453	104,897	98,3410	91,7849	78,6728	65,5607	52,4485
4,90	117,753	110,826	103,900	96,9730	83,1197	69,2664	55,4132
5,00	124,271	116,961	109,651	102,341	87,7205	73,1004	58,4804
5,10	131,009	123,303	115,597	107,890	92,4773	77,0644	61,6515
5,20	137,972	129,856	121,740	113,624	97,3920	81,1600	64,9280
5,30	145,161	136,623	128,084	119,545	102,467	85,3891	68,3113
5,40	152,580	143,605	134,630	125,655	107,704	89,7532	71,8026
5,50	160,232	150,807	141,381	131,956	113,105	94,2542	75,4033
5,60	168,119	158,230	148,340	138,451	118,672	98,8932	79,1149
5,70	176,244	165,877	155,510	145,142	124,408	103,673	82,9385
5,80	184,611	173,751	162,892	152,032	130,313	108,595	86,8756
5,90	193,221	181,855	170,489	159,123	136,391	113,659	90,9275
6,00	202,078	190,191	178,304	166,417	142,643	118,869	95,0955

Exemplo: Para  $b = 4,40$  m e  $K = 75$ , encontra-se  $C_1 = 77,9767$

TABELA 4 .2.1.4/IV  
VALORES DE h/b EM FUNÇÃO DE m e C<sub>2</sub>

$\frac{h}{b} \backslash m$	0	0,5	1	2	3
0,02	0,00143	0,00145	0,00146	0,00148	0,00149
0,03	0,00278	0,00284	0,00288	0,00293	0,00297
0,04	0,00444	0,00456	0,00465	0,00476	0,00486
0,05	0,00636	0,00658	0,00673	0,00695	0,00713
0,06	0,00852	0,00888	0,00912	0,00947	0,00977
0,07	0,01089	0,01142	0,01179	0,01233	0,01279
0,08	0,01345	0,01420	0,01473	0,01551	0,01617
0,09	0,01618	0,01721	0,01793	0,01900	0,01993
0,10	0,01907	0,02042	0,02138	0,02281	0,02406
0,11	0,02211	0,02384	0,02508	0,02694	0,02856
0,12	0,02529	0,02745	0,02902	0,03137	0,03344
0,13	0,02859	0,03125	0,03319	0,03612	0,03871
0,14	0,03201	0,03523	0,03759	0,04119	0,04436
0,15	0,03555	0,03939	0,04222	0,04656	0,05042
0,16	0,03918	0,04372	0,04708	0,05226	0,05687
0,17	0,04292	0,04821	0,05216	0,05828	0,06372
0,18	0,04674	0,05287	0,05747	0,06462	0,07100
0,19	0,05066	0,05768	0,06299	0,07128	0,07869
0,20	0,05465	0,06266	0,06874	0,07827	0,08680
0,21	0,05872	0,06779	0,07470	0,08559	0,09535
0,22	0,06287	0,07307	0,08088	0,09324	0,1043
0,23	0,06708	0,07849	0,08729	0,1012	0,1138
0,24	0,07136	0,08407	0,09391	0,1096	0,1237
0,25	0,07571	0,08979	0,1007	0,1182	0,1340
0,26	0,08011	0,09565	0,1078	0,1273	0,1448
0,27	0,08457	0,1017	0,1151	0,1366	0,1561
0,28	0,08909	0,1078	0,1226	0,1464	0,1678
0,29	0,09366	0,1141	0,1303	0,1564	0,1801
0,30	0,09827	0,1205	0,1382	0,1669	0,1928
0,31	0,1029	0,1271	0,1464	0,1777	0,2060
0,32	0,1077	0,1338	0,1547	0,1889	0,2198
0,33	0,1124	0,1406	0,1633	0,2004	0,2340
0,34	0,1172	0,1476	0,1721	0,2123	0,2488
0,35	0,1220	0,1546	0,1811	0,2246	0,2640
0,36	0,1269	0,1619	0,1904	0,2372	0,2798
0,37	0,1318	0,1692	0,1999	0,2503	0,2962
0,38	0,1367	0,1768	0,2096	0,2638	0,3131
0,39	0,1417	0,1844	0,2195	0,2776	0,3305

(Continua)

TABELA 4.2.1.4/IV

VALORES DE  $h/b$  EM FUNÇÃO DE  $m$  e  $C_2$ 

(Continuação)

$h/b \backslash m$	0	0,5	1	2	3
0,40	0,1467	0,1921	0,2297	0,2919	0,3485
0,41	0,1517	0,2000	0,2401	0,3065	0,3671
0,42	0,1568	0,2081	0,2507	0,3216	0,3862
0,43	0,1619	0,2162	0,2615	0,3370	0,4059
0,44	0,1671	0,2245	0,2726	0,3529	0,4262
0,45	0,1722	0,2329	0,2839	0,3692	0,4471
0,46	0,1774	0,2415	0,2955	0,3859	0,4686
0,47	0,1826	0,2502	0,3072	0,4031	0,4906
0,48	0,1878	0,2590	0,3192	0,4206	0,5133
0,49	0,1931	0,2679	0,3315	0,4386	0,5366
0,50	0,1984	0,2770	0,3440	0,4570	0,5605
0,52	0,2090	0,2955	0,3697	0,4952	0,6102
0,54	0,2197	0,3145	0,3963	0,5351	0,6625
0,56	0,2305	0,3341	0,4239	0,5769	0,7173
0,58	0,2414	0,3542	0,4525	0,6205	0,7748
0,60	0,2523	0,3748	0,4821	0,6659	0,8349
0,62	0,2633	0,3959	0,5127	0,7133	0,8978
0,64	0,2743	0,4175	0,5443	0,7626	0,9635
0,66	0,2854	0,4397	0,5769	0,8138	1,032
0,68	0,2966	0,4624	0,6106	0,8670	1,103
0,70	0,3078	0,4856	0,6453	0,9222	1,178
0,72	0,3191	0,5093	0,6810	0,9794	1,255
0,74	0,3304	0,5336	0,7178	1,039	1,335
0,76	0,3417	0,5584	0,7557	1,100	1,419
0,78	0,3531	0,5837	0,7946	1,164	1,505
0,80	0,3646	0,6096	0,8347	1,229	1,595
0,82	0,3760	0,6360	0,8758	1,297	1,687
0,84	0,3875	0,6630	0,9181	1,367	1,783
0,86	0,3991	0,6905	0,9615	1,439	1,883
0,88	0,4107	0,7185	1,006	1,514	1,985
0,90	0,4225	0,7471	1,052	1,590	2,091
0,92	0,4339	0,7762	1,098	1,670	2,200
0,94	0,4456	0,8059	1,146	1,751	2,313
0,96	0,4572	0,8362	1,196	1,835	2,429
0,98	0,4690	0,8670	1,246	1,921	2,549
1,00	0,4807	0,8984	1,297	2,010	2,672
1,05	0,5102	0,9793	1,431	2,242	2,997
1,10	0,5397	1,064	1,573	2,489	3,344
1,15	0,5694	1,152	1,722	2,753	3,715
1,20	0,5993	1,244	1,880	3,033	4,111

(Continua)

TABELA 4.2.1.4/IV

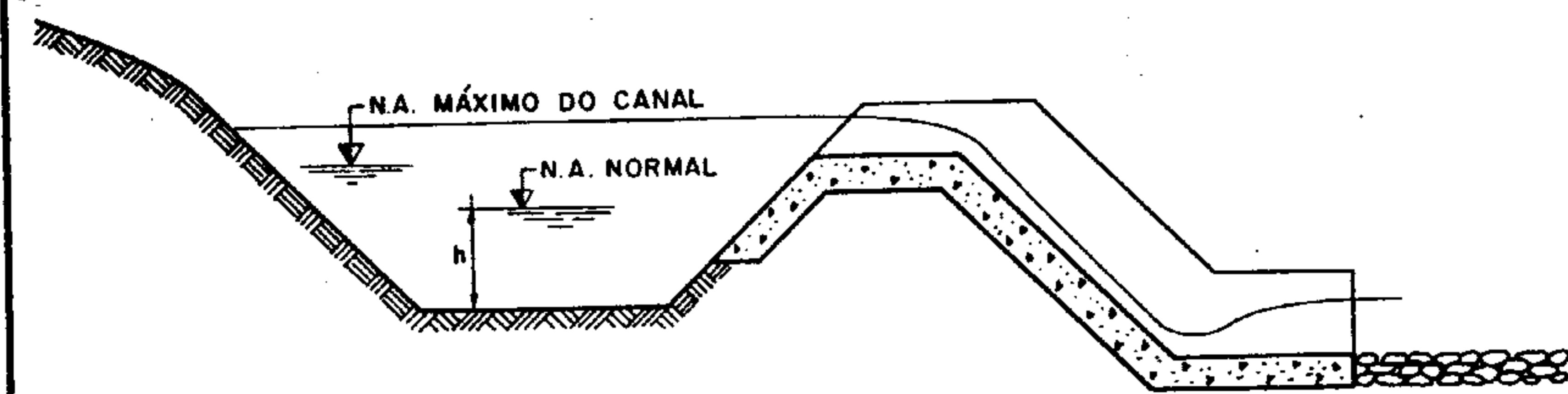
VALORES DE  $h/b$  EM FUNÇÃO DE  $m$  e  $C_2$ 

(Continuação)

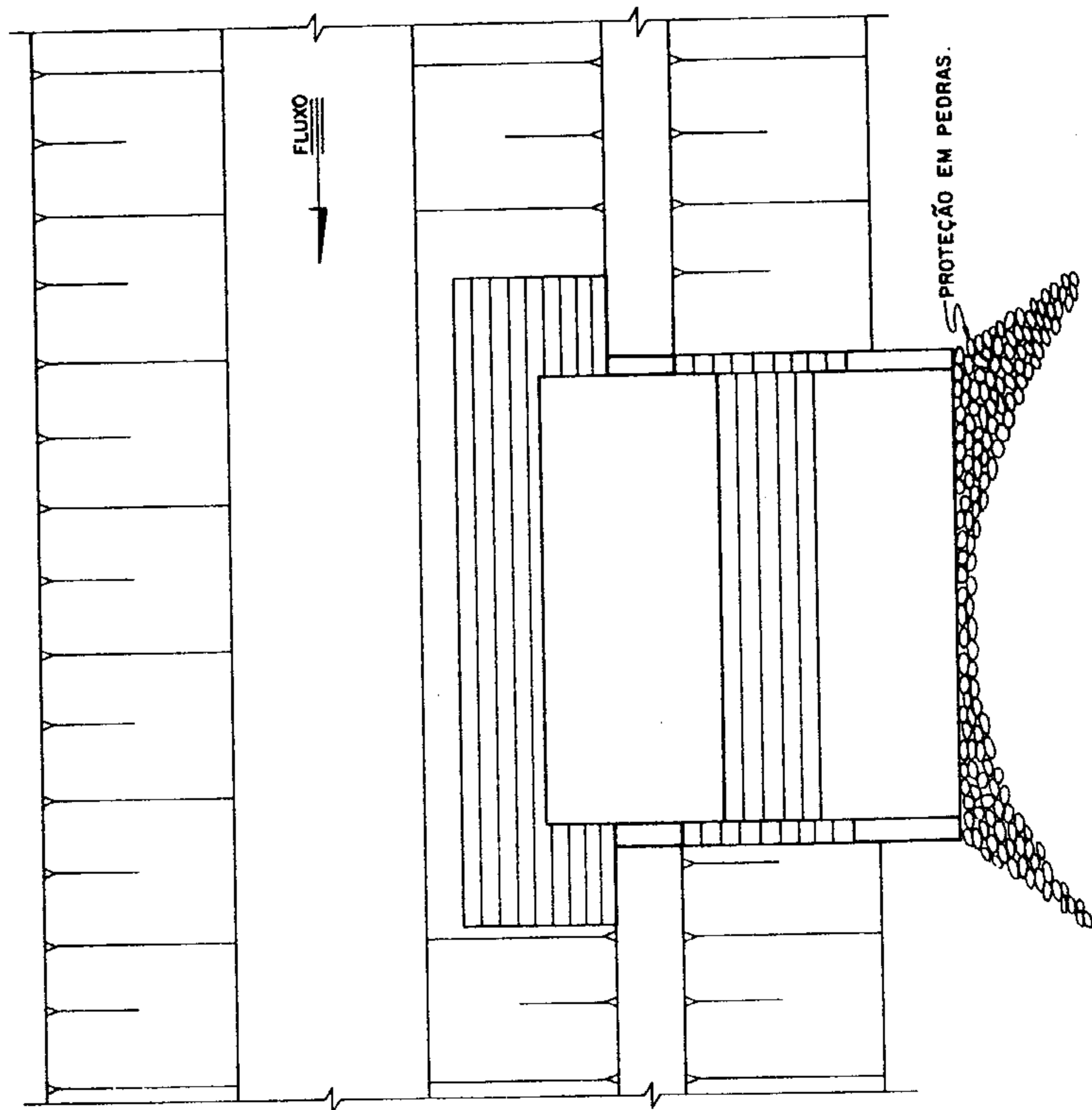
$h/b \backslash m$	0	0,5	1	2	3
1,25	0,6292	1,339	2,045	3,320	4,531
1,30	0,6592	1,438	2,219	3,643	4,978
1,35	0,6893	1,541	2,401	3,975	5,450
1,40	0,7194	1,648	2,592	4,324	5,948
1,45	0,7497	1,759	2,791	4,691	6,476
1,50	0,7800	1,873	2,999	5,077	7,031
1,55	0,8105	1,992	3,216	5,482	7,614
1,60	0,8400	2,113	3,443	5,906	8,226
1,65	0,8712	2,241	3,678	6,350	8,868
1,70	0,9018	2,372	3,923	6,814	9,540
1,75	0,9323	2,507	4,178	7,299	10,24
1,80	0,9629	2,646	4,442	7,804	10,98
1,85	0,9936	2,790	4,716	8,330	11,74
1,90	1,024	2,937	5,000	8,877	12,54
1,95	1,055	3,090	5,294	9,446	13,37
2,00	1,085	3,245	5,598	10,04	14,24
2,10	1,147	3,572	6,238	11,29	16,07
2,20	1,209	3,916	6,920	12,63	18,04
2,30	1,270	4,279	7,646	14,07	20,16
2,40	1,332	4,660	8,417	15,60	22,43
2,50	1,394	5,061	9,234	17,23	24,84
2,60	1,456	5,481	10,10	18,97	27,42
2,70	1,518	5,921	11,01	20,81	30,15
2,80	1,580	6,381	11,97	22,76	33,05
2,90	1,643	6,862	12,98	24,82	36,11
3,00	1,705	7,364	14,04	26,99	39,35
3,20	1,829	8,431	16,31	31,67	46,35
3,40	1,954	9,586	18,80	36,83	54,07
3,60	2,079	10,83	21,52	42,48	62,56
3,80	2,204	12,17	24,46	48,65	71,83
4,00	2,329	13,60	27,63	55,34	81,92
4,50	2,642	17,62	36,66	74,50	110,9
5,00	2,955	22,28	47,32	97,34	145,5

Exemplo: Para  $C_2 = 3,090$  e  $m = 0,5$ encontra-se  $h/b = 1,95$

## EXTRAVASOR DE EXCESSOS NO CANAL DE ADUÇÃO

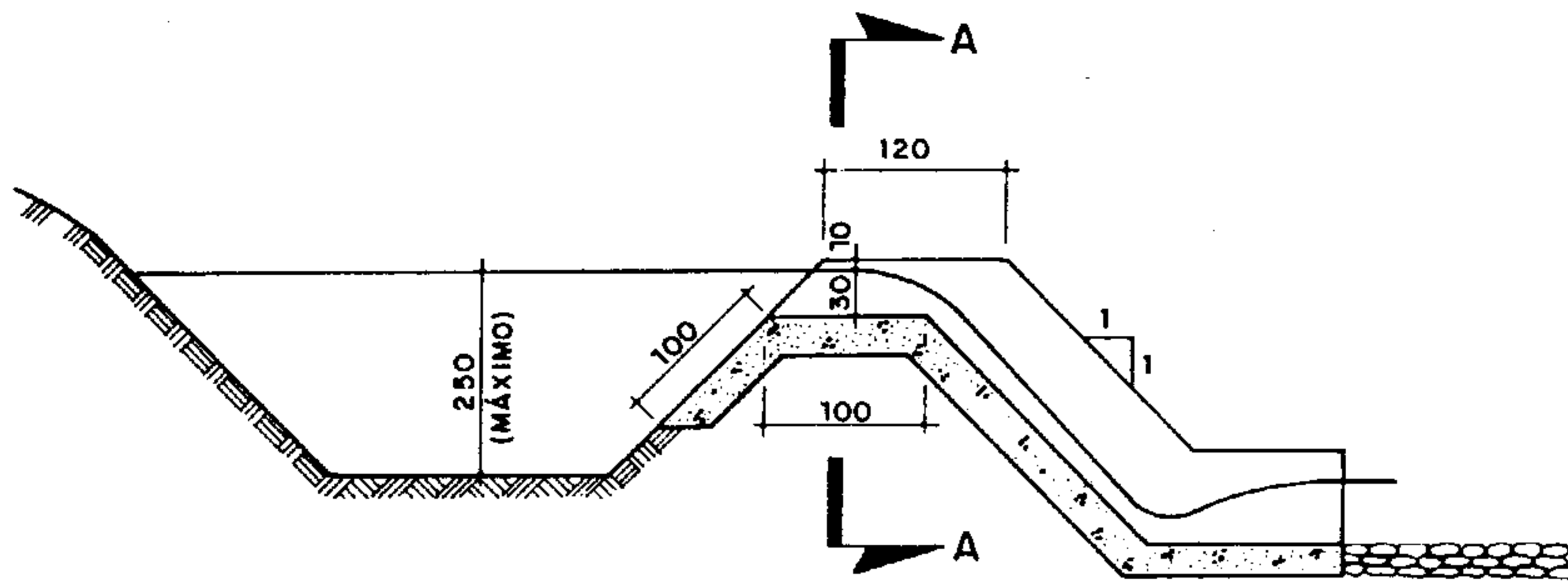


SEÇÃO TRANSVERSAL

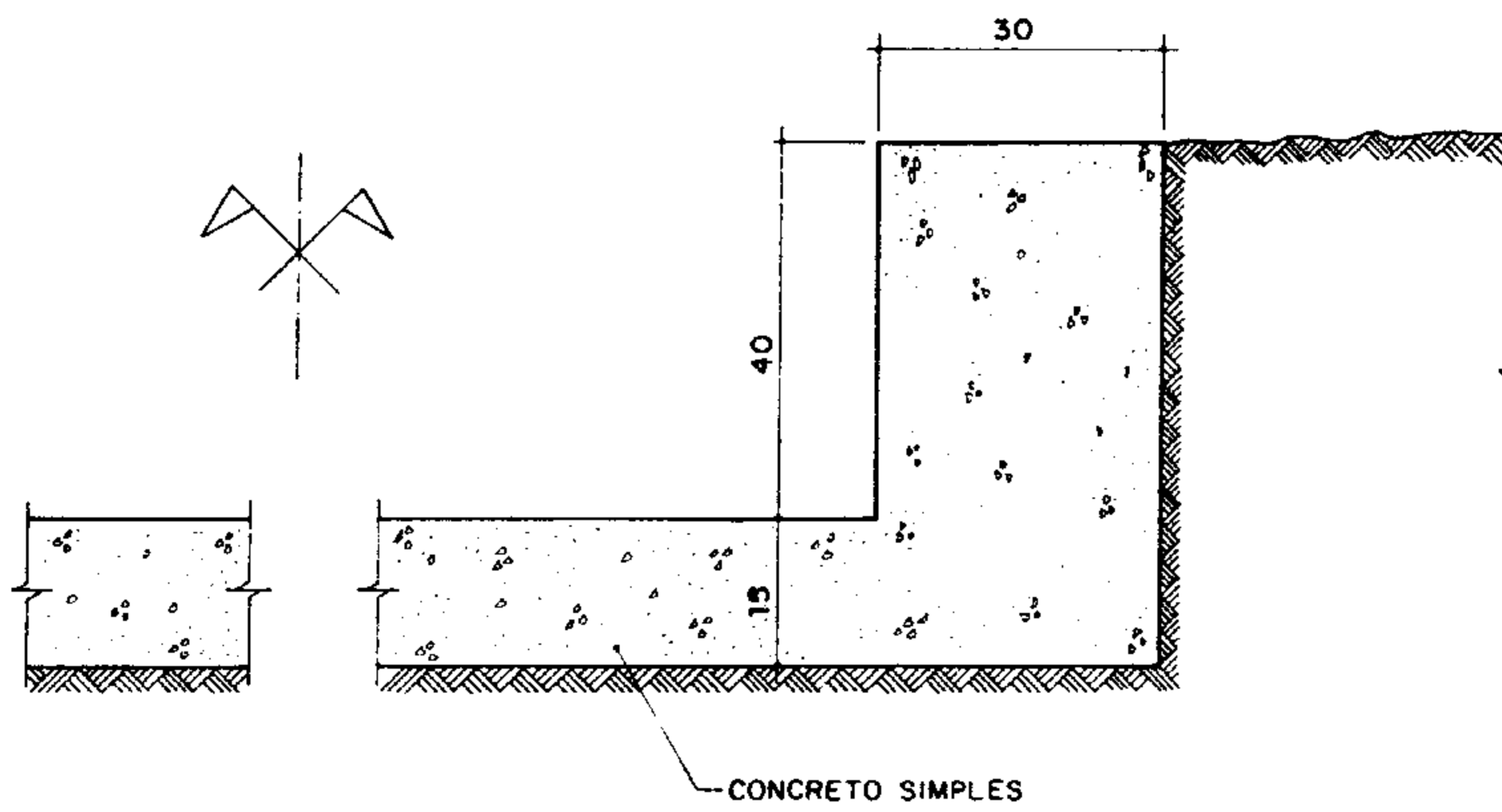


PLANTA

EXTRAVASOR DE EXCESSOS NO CANAL DE ADUÇÃO  
(DETALHES CONSTRUTIVOS)



SEÇÃO TRANSVERSAL



SEÇÃO A-A

Nota:

1-As dimensões estão em centímetro.

#### 4.2.1.5 Tubulação de Adução em Baixa Pressão

Como alternativa à construção de um canal de adução a céu aberto, pode-se utilizar uma tubulação em baixa pressão como meio de ligação entre a tomada d'água e a entrada da tubulação forçada. Essa tubulação é geralmente construída em aço e, em alguns casos, em concreto armado ou em cimento-amianto.

##### 4.2.1.5.1 Cálculo do Diâmetro

O diâmetro mínimo para uma tubulação de adução em baixa pressão pode ser adotado como o diâmetro que produz uma perda de carga de 1% em relação à queda bruta H, considerando que outras perdas de carga ocorrerão, a jusante, até a casa de máquinas. Empregando-se a fórmula de Scobey para a determinação dessa perda de carga, conforme apresentado no item 4.2.2.1.4 - B, tem-se:

$$J = 410 K_a \frac{v^{1,9}}{D^{1,1}}$$

onde:

$$v = 12732 \frac{Q}{D^2}$$

sendo, como admitido

$$h_a = J \times L = \frac{H}{100}$$

ou

$$J = \frac{H}{100 L}$$

Substituindo os valores de J e v na fórmula de Scobey e des tacando o valor de D da mesma:

$$D = 83,383 Q^{0,388} \times \left( K_a \frac{L}{H} \right)^{0,204} \quad (1)$$



onde:

Q = descarga de projeto, em m<sup>3</sup>/s (determinada no item 4.1.8.2)

D = diâmetro interno da tubulação, em cm

L = comprimento da tubulação, em m

H = altura da queda bruta, em m

K<sub>a</sub> = 0,32 para tubulação nova de aço, de parede interna contínua, com tubulações com juntas totalmente soldadas ou sem costura.

K<sub>a</sub> = 0,34 para tubulação de cimento-amianto

K<sub>a</sub> = 0,38 para tubulação de concreto-armado

Contudo, quando se optar por uma perda de carga na tubulação de baixa pressão superior a 1% da queda bruta H, obtendo-se assim mesmo uma potência instalada P desejável, pode-se aumentar a perda de carga h<sub>a</sub> nesse trecho de adução encontrando-se no cálculo um tubo com diâmetro menor.

Para os valores percentuais da perda de carga h<sub>a</sub> em relação à queda bruta H, de 2%, 3%, 4% e 5%, o coeficiente 83,383 da fórmula (1) apresentada, passará a ser, respectivamente, 72,384; 66,635; 62,836 e 60,039. No caso específico dos materiais aço, cimento-amianto e concreto armado, a mencionada fórmula pode ser apresentada sob a forma abaixo:

$$D = K \cdot Q^{0,388} \times \frac{L^{0,204}}{H^{0,204}}$$

onde os valores de K estão apresentados a seguir:

h <sub>a</sub> /H Z	VALORES DE K		
	AÇO K <sub>a</sub> = 0,32	CIMENTO - AMIANTO K <sub>a</sub> = 0,34	CONCRETO - ARMADO K <sub>a</sub> = 0,38
1	66,069	66,911	68,447
2	57,371	58,085	59,418
3	52,815	53,472	54,699
4	49,804	50,423	51,581
5	47,586	48,179	49,284

Os estudos apresentados acima também são válidos para as "Tubulações Forçadas" - item 4.2.1.8.

AS TABELAS 4.2.1.5/I, II e III apresentam, respectivamente, os valores de  $Q^{0,388}$ ,  $H^{0,204}$  e  $L^{0,204}$  para  $Q$  até  $3\text{m}^3/\text{s}$ ,  $H$  até  $25\text{ m}$  e  $L$  até  $250\text{ m}$ .

#### 4.2.1.5.2 Determinação da Espessura de Parede de uma Tubulação sob Pressão

##### A) Sob Pressão Interna

A fórmula genérica para determinação da espessura de parede de tubulação submetida à pressão interna é a seguinte:

$$e = \frac{p_i D}{2\sigma_f}$$

onde:

$e$  = espessura de parede, em mm

$p_i$  = pressão hidrostática máxima interna, em  $\text{kgf/cm}^2$

$D$  = diâmetro interno, em mm

$\sigma_f$  = tensão admissível de resistência à tração, em  $\text{kgf/cm}^2$

Para o caso específico de tubulações fabricadas em aço, essa fórmula passa a ser:

$$e = \frac{p_i D}{2\sigma_f k_f} + e_s$$

sendo:

$e_s$  = sobre-espessura para corrosão =  $1\text{ mm}$

$k_f$  = eficiência de junta:

para tubos sem costura  $k_f = 1,0$

para tubos com costura:

$k_f = 0,80$  sem radiografia e alívio de tensões

$k_f = 0,90$  com radiografia ou com alívio de tensões

$k_f = 1,00$  com radiografia e alívio de tensões

Para tubos padronizados e de fabricação normal, <sup>colapar</sup> te  
mos:

$k_f = 0,80$  costura com solda por fusão elétrica

$k_f = 1,00$  costura com solda por resistência elétrica, relativa ao aço ABNT EB 255 CG 30- (ASTM-A 283, Grau C), que tem as seguintes características físicas:

$\sigma_e =$  tensão de escoamento 2110 kgf/cm<sup>2</sup> (30.000 lbf/pol<sup>2</sup>)

$\sigma_r =$  tensão de ruptura 3870 a 4570 kgf/cm<sup>2</sup>  
(55.000 a 65.000 lbf/pol<sup>2</sup>)

A tensão admissível de resistência à tração para essa classe de aço será:

$$0,33\sigma_r = 0,33 \times 4220 \text{ kgf/cm}^2 = 1393 \text{ kgf/cm}^2$$

adotar:

$$\sigma_f = 1400 \text{ kgf/cm}^2$$

A espessura mínima de parede para tubulações em aço é determinada pela fórmula abaixo:

$$e_{\min} = \frac{D + 508}{400} \geq 4,76 \text{ mm (3/16")}$$

Para tubulações com diâmetro interno mínimo cerca de 0,70m, as virolas (elementos de tubulação) não muito longas (até 6m de comprimento aprox.), durante a fabricação, podem ter suas juntas longitudinais soldadas manualmente também pela face interna da tubulação. Para tubulações com diâmetros internos inferiores, a soldadura manual das juntas longitudinais é feita somente pela face externa da tubulação, devendo a mesma ser efetuada por soldadores com grande experiência.

#### B) Sob Pressão Externa (colapso)

O efeito de uma depressão parcial ou total (vácuo), provocada por um eventual e excessivo rebaixamento de nível do gradiente dinâmico hidráulico, ficando em cota inferior à de qualquer ponto do gradiente físico da tubulação, poderá causar um colapso de suas paredes por afundamento das mesmas.

A pressão de colapso pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$p_c = 882.500 \left( \frac{e}{D} \right)^3$$

sendo:

$p_c$  = pressão de colapso, em  $\text{kgf/cm}^2$

$e$  = espessura da parede de tubulação

$D$  = diâmetro interno da tubulação

$e$  e  $D$  = tomar as mesmas dimensões lineares

Não havendo aberturas a jusante da comporta da estrutura de entrada da água na tubulação, tais como poços de inspeção ou de aeração, há a necessidade de instalação de um tubo de aeração com a finalidade de deixar entrar o ar exterior para estabelecer o equilíbrio das pressões externa (colapso) e interna e evitar o colapso da tubulação.

A recomendação de adotar-se tubo de aeração deve-se ao fato de esta solução ser mais econômica em relação a outros processos (reforço da tubulação com anéis, aumento de espessura de toda tubulação, instalação de ventosas, etc).

#### 1 - Dimensionamento do Tubo de Aeração

a) Para pressão de colapso  $p_c \leq 0,49 \text{ kgf/cm}^2$

Instalação do tubo de aeração calculado pela expressão:

$$d = 7,47 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{p_c}}}$$

onde:

$d$  = diâmetro interno do tubo de aeração, em cm

$Q$  = descarga máxima de projeto, em  $\text{m}^3/\text{s}$

$p_c$  = pressão de colapso em  $\text{kgf/cm}^2$ , calculada pela fórmula já citada

b) Para pressão de colapso  $p_c > 0,49 \text{ kgf/cm}^2$

Instalação do tubo de aeração calculado pela expressão:

$$d = 8,94 \sqrt{Q}$$

#### 2 - Instalação do Tubo de Aeração

O tubo de aeração deve ser soldado no topo da tubulação, de preferência em posição vertical (ou quase vertical) e tendo um comprimento suficiente para que a cota da boca de entrada de ar fique acima do N.A. de captação.

Poderá ser embutido no concreto da estrutura de captação, a jusante da comporta, ou instalado externamente junto à face de jusante da estrutura e preso com braçadeiras.

Nota: As fórmulas práticas citadas encontram-se publicadas na revista Engineering News Records de 01/Julho/1943 - pgs. 80 a 92.

#### 4.2.1.5.3 Blocos de Apoio ou Selas

##### A) Tubulação de Aço

As tubulações de aço devem ser apoiadas sobre blocos de apoio ou selas, mais comumente, em concreto simples.

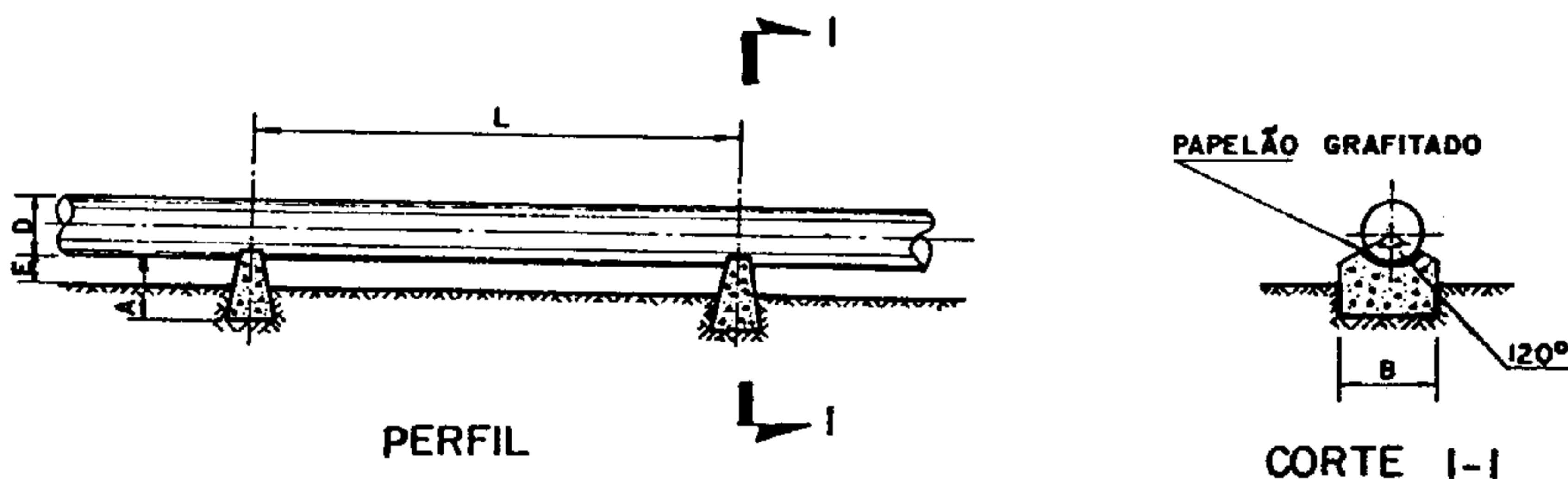


FIGURA 4.2.1.5/1

O espaçamento entre selas e o dimensionamento das mesmas estão apresentados no subitem 4.2.1.8.4 de "Tubulação Forçada".

##### B) Aspectos Construtivos

Os blocos de apoio deverão ser construídos de concreto, atendendo às especificações apresentadas no item 4.2.1.1.4 relativo a barragens de concreto.

O concreto deverá ser lançado sobre uma camada de aproximadamente 15 cm de brita 3, previamente apiloada.

A tubulação de aço não deve ser apoiada diretamente sobre a superfície de concreto da sela. Esta superfície deve estar separada da tubulação, de preferência, com papelão grafitado, ou outro material que permita à tubulação deslizar sobre o bloco.

As tubulações com 0,80m de diâmetro ou mais, devem ter as suas paredes reforçadas na parte inferior, na área total de contato com a sela, com um pedaço de chapa de aço de 1/4" de espessura soldada em todo o seu contorno, a fim de evitar um possível amassamento do corpo da tubulação na zona de apoio sobre a sela.

C) Tubulações de Concreto

As tubulações de concreto poderão ser assentadas em valas diretamente sobre o terreno, como mostra a figura 4.2.1.5/2.

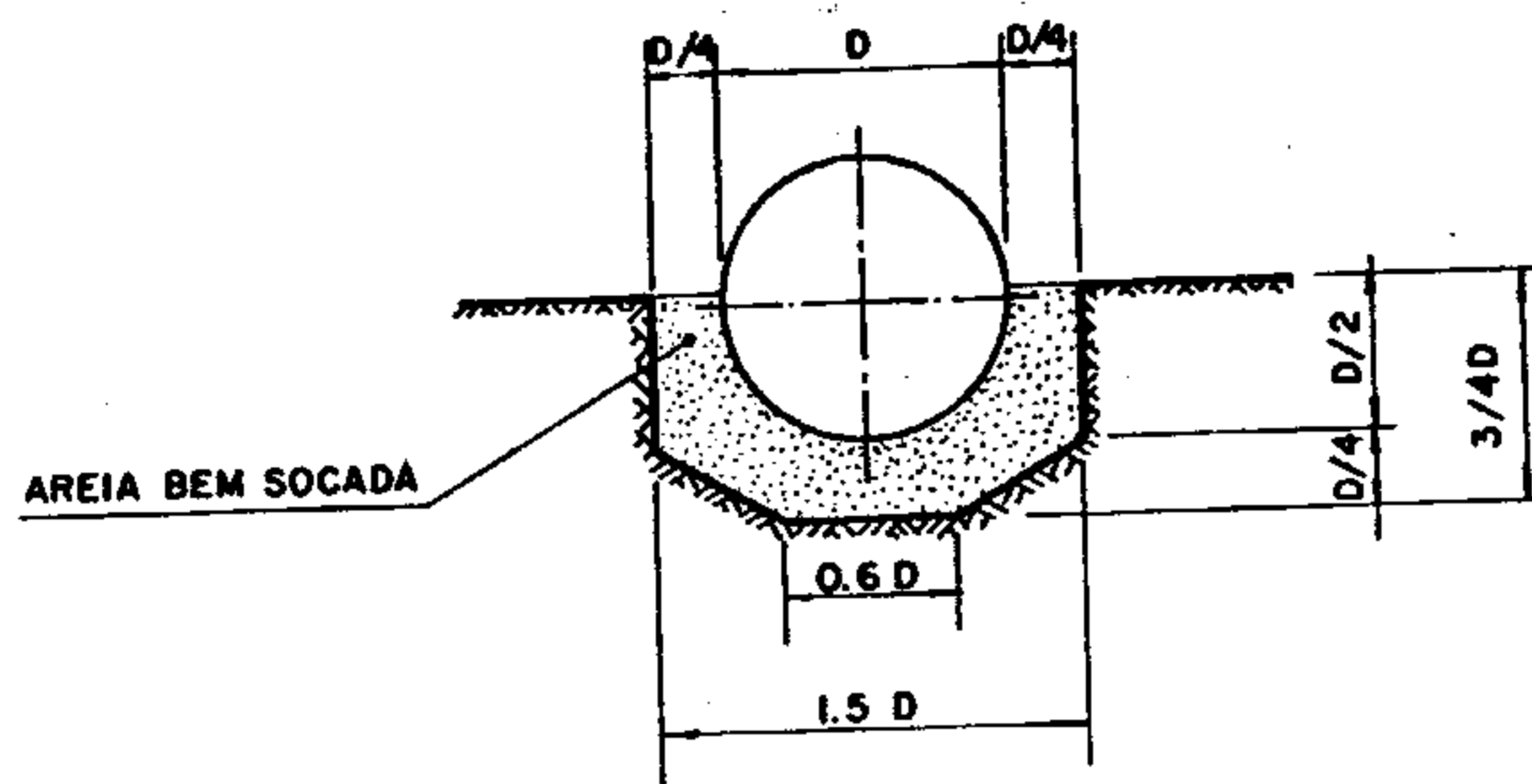


FIGURA 4.2.1.5/2

VALORES DE  $Q^{0,388}$

TABELA 4.2.1.5/I

Q (m <sup>3</sup> /s)	FRAÇÃO CENTESIMAL DE Q (m <sup>3</sup> /s)									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,0000	0,1675	0,2192	0,2565	0,2868	0,3128	0,3357	0,3564	0,3753	0,3929
0,10	0,4093	0,4247	0,4393	0,4531	0,4663	0,4790	0,4911	0,5028	0,5141	0,5250
0,20	0,5355	0,5458	0,5557	0,5654	0,5748	0,5840	0,5929	0,6017	0,6102	0,6186
0,30	0,6268	0,6348	0,6427	0,6504	0,6580	0,6654	0,6727	0,6799	0,6870	0,6940
0,40	0,7008	0,7076	0,7142	0,7208	0,7272	0,7336	0,7399	0,7461	0,7522	0,7582
0,50	0,7642	0,7701	0,7759	0,7817	0,7874	0,7930	0,7985	0,8040	0,8095	0,8149
0,60	0,8202	0,8255	0,8307	0,8359	0,8410	0,8461	0,8511	0,8561	0,8610	0,8659
0,70	0,8708	0,8756	0,8803	0,8851	0,8897	0,8944	0,8990	0,9036	0,9081	0,9126
0,80	0,9171	0,9215	0,9259	0,9303	0,9346	0,9389	0,9432	0,9474	0,9516	0,9558
0,90	0,9599	0,9641	0,9682	0,9722	0,9763	0,9803	0,9843	0,9883	0,9922	0,9961
1,00	1,0000	1,0039	1,0077	1,0115	1,0153	1,0191	1,0229	1,0266	1,0303	1,0340
1,10	1,0377	1,0413	1,0450	1,0486	1,0522	1,0557	1,0593	1,0628	1,0663	1,0698
1,20	1,0733	1,0768	1,0802	1,0836	1,0870	1,0904	1,0938	1,0972	1,1005	1,1038
1,30	1,1072	1,1105	1,1137	1,1170	1,1203	1,1235	1,1267	1,1299	1,1331	1,1363
1,40	1,1395	1,1426	1,1457	1,1489	1,1520	1,1551	1,1582	1,1612	1,1643	1,1673
1,50	1,1704	1,1734	1,1764	1,1794	1,1824	1,1854	1,1883	1,1913	1,1942	1,1971
1,60	1,2000	1,2030	1,2058	1,2087	1,2116	1,2145	1,2173	1,2202	1,2230	1,2258
1,70	1,2286	1,2314	1,2342	1,2370	1,2397	1,2425	1,2453	1,2480	1,2507	1,2534
1,80	1,2562	1,2589	1,2616	1,2642	1,2669	1,2696	1,2722	1,2749	1,2775	1,2802
1,90	1,2828	1,2854	1,2880	1,2906	1,2932	1,2958	1,2984	1,3009	1,3035	1,3060
2,00	1,3086	1,3111	1,3136	1,3162	1,3187	1,3212	1,3237	1,3262	1,3286	1,3311
2,10	1,3336	1,3360	1,3385	1,3409	1,3434	1,3458	1,3482	1,3507	1,3531	1,3555
2,20	1,3579	1,3603	1,3627	1,3650	1,3674	1,3698	1,3721	1,3745	1,3768	1,3792
2,30	1,3815	1,3838	1,3861	1,3885	1,3908	1,3931	1,3954	1,3977	1,3999	1,4022
2,40	1,4045	1,4068	1,4090	1,4113	1,4135	1,4158	1,4180	1,4203	1,4225	1,4247
2,50	1,4269	1,4291	1,4313	1,4335	1,4357	1,4379	1,4401	1,4423	1,4445	1,4466
2,60	1,4488	1,4510	1,4531	1,4553	1,4574	1,4596	1,4617	1,4638	1,4659	1,4681
2,70	1,4702	1,4723	1,4744	1,4765	1,4786	1,4807	1,4828	1,4848	1,4869	1,4890
2,80	1,4911	1,4931	1,4952	1,4972	1,4993	1,5013	1,5034	1,5054	1,5075	1,5095
2,90	1,5115	1,5135	1,5155	1,5176	1,5196	1,5216	1,5236	1,5256	1,5276	1,5295

Exemplo: Para  $Q = 1,64 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q^{0,388} = 1,2116$

VALORES DE  $H^{0,204}$

TABELA 4.2.1.5/II

H (m)	FRAÇÃO DECIMAL DE H (m)									
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
1	1,0000	1,0196	1,0379	1,0550	1,0711	1,0862	1,1006	1,1143	1,1274	1,1399
2	1,1519	1,1634	1,1745	1,1852	1,1955	1,2055	1,2152	1,2246	1,2337	1,2426
3	1,2512	1,2596	1,2678	1,2758	1,2836	1,2912	1,2986	1,3059	1,3130	1,3200
4	1,3268	1,3335	1,3401	1,3466	1,3529	1,3591	1,3652	1,3712	1,3771	1,3829
5	1,3886	1,3943	1,3998	1,4052	1,4106	1,4159	1,4211	1,4263	1,4313	1,4363
6	1,4413	1,4461	1,4509	1,4557	1,4604	1,4650	1,4696	1,4741	1,4785	1,4829
7	1,4873	1,4916	1,4959	1,5001	1,5043	1,5084	1,5125	1,5165	1,5205	1,5245
8	1,5284	1,5323	1,5361	1,5399	1,5437	1,5474	1,5511	1,5548	1,5584	1,5620
9	1,5655	1,5691	1,5726	1,5761	1,5795	1,5829	1,5863	1,5896	1,5930	1,5963
10	1,5996	1,6028	1,6060	1,6092	1,6124	1,6156	1,6187	1,6218	1,6249	1,6279
11	1,6310	1,6340	1,6370	1,6399	1,6429	1,6458	1,6487	1,6516	1,6545	1,6573
12	1,6602	1,6630	1,6658	1,6686	1,6713	1,6741	1,6768	1,6795	1,6822	1,6848
13	1,6875	1,6901	1,6928	1,6954	1,6980	1,7005	1,7031	1,7057	1,7082	1,7107
14	1,7132	1,7157	1,7182	1,7206	1,7231	1,7255	1,7279	1,7303	1,7327	1,7351
15	1,7375	1,7398	1,7422	1,7445	1,7468	1,7492	1,7514	1,7537	1,7560	1,7583
16	1,7605	1,7628	1,7650	1,7672	1,7694	1,7716	1,7738	1,7760	1,7781	1,7803
17	1,7824	1,7846	1,7867	1,7888	1,7909	1,7930	1,7951	1,7972	1,7992	1,8013
18	1,8033	1,8054	1,8074	1,8094	1,8114	1,8134	1,8154	1,8174	1,8194	1,8214
19	1,8233	1,8253	1,8272	1,8292	1,8311	1,8330	1,8349	1,8368	1,8387	1,8406
20	1,8425	1,8444	1,8463	1,8481	1,8500	1,8518	1,8537	1,8555	1,8573	1,8591
21	1,8609	1,8627	1,8645	1,8663	1,8681	1,8699	1,8717	1,8734	1,8752	1,8769
22	1,8787	1,8804	1,8822	1,8839	1,8856	1,8873	1,8890	1,8907	1,8924	1,8941
23	1,8958	1,8975	1,8992	1,9008	1,9025	1,9041	1,9058	1,9074	1,9091	1,9107
24	1,9123	1,9140	1,9156	1,9172	1,9188	1,9204	1,9220	1,9236	1,9252	1,9267

Exemplo: Para  $H = 12,80m$ ,  $H^{0,204} = 1,6822$



VALORES DE  $L^{0,204}$

TABELA 4.2.1.5/III

L (m)	UNIDADES DE L (m)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,0000	1,0000	1,1519	1,2512	1,3268	1,3886	1,4413	1,4873	1,5284	1,5655
10	1,5996	1,6310	1,6602	1,6875	1,7132	1,7375	1,7605	1,7824	1,8033	1,8233
20	1,8425	1,8609	1,8787	1,8958	1,9123	1,9283	1,9438	1,9588	1,9734	1,9876
30	2,0014	2,0148	2,0279	2,0407	2,0532	2,0653	2,0772	2,0889	2,1003	2,1114
40	2,1224	2,1331	2,1436	2,1539	2,1640	2,1740	2,1837	2,1934	2,2028	2,2121
50	2,2212	2,2302	2,2391	2,2478	2,2564	2,2648	2,2732	2,2814	2,2895	2,2975
60	2,3054	2,3132	2,3209	2,3284	2,3359	2,3433	2,3506	2,3579	2,3650	2,3721
70	2,3790	2,3859	2,3927	2,3995	2,4062	2,4128	2,4193	2,4257	2,4321	2,4385
80	2,4447	2,4509	2,4571	2,4632	2,4692	2,4751	2,4811	2,4869	2,4927	2,4985
90	2,5042	2,5098	2,5154	2,5210	2,5265	2,5320	2,5374	2,5427	2,5481	2,5533
100	2,5586	2,5638	2,5689	2,5741	2,5791	2,5842	2,5892	2,5941	2,5991	2,6040
110	2,6088	2,6136	2,6184	2,6232	2,6279	2,6326	2,6372	2,6419	2,6465	2,6510
120	2,6555	2,6600	2,6645	2,6690	2,6734	2,6777	2,6821	2,6864	2,6907	2,6950
130	2,6993	2,7035	2,7077	2,7119	2,7160	2,7201	2,7242	2,7283	2,7323	2,7364
140	2,7404	2,7444	2,7483	2,7523	2,7562	2,7601	2,7639	2,7678	2,7716	2,7754
150	2,7792	2,7830	2,7867	2,7905	2,7942	2,7979	2,8015	2,8052	2,8088	2,8125
160	2,8161	2,8196	2,8232	2,8267	2,8303	2,8338	2,8373	2,8408	2,8442	2,8477
170	2,8511	2,8545	2,8579	2,8613	2,8647	2,8680	2,8713	2,8747	2,8780	2,8813
180	2,8845	2,8878	2,8910	2,8943	2,8975	2,9007	2,9039	2,9071	2,9102	2,9134
190	2,9165	2,9197	2,9228	2,9259	2,9289	2,9320	2,9351	2,9381	2,9412	2,9442
200	2,9472	2,9502	2,9532	2,9562	2,9591	2,9621	2,9650	2,9680	2,9709	2,9738
210	2,9767	2,9796	2,9824	2,9853	2,9882	2,9910	2,9938	2,9967	2,9995	3,0023
220	3,0051	3,0078	3,0106	3,0134	3,0161	3,0189	3,0216	3,0243	3,0270	3,0297
230	3,0324	3,0351	3,0378	3,0405	3,0431	3,0458	3,0484	3,0510	3,0537	3,0563
240	3,0589	3,0615	3,0641	3,0666	3,0692	3,0718	3,0743	3,0769	3,0794	3,0819

Exemplo: Para  $L = 118m$ ,  $L^{0,204} = 2,6465$

## 4.2.1.6

## Câmara de Carga

Dependendo das condições topogeológicas do terreno, a tomada d'água, que capta no rio a água necessária para movimentar a turbina, pode descarregar a água em um canal aberto de adução ou em uma tubulação de baixa pressão, que conduzem a água até o ponto mais conveniente para a instalação da tubulação forçada.

Quando a solução escolhida for um canal a céu aberto de adução, a transição entre o canal e a tubulação forçada é efetuada através de uma estrutura semelhante à tomada d'água, chamada câmara de carga.

A câmara de carga tem a finalidade, o dimensionamento de sua estrutura e os equipamentos mecânicos de proteção e fechamento iguais à tomada d'água. Por isso, não serão repetidas as explicações desses assuntos, já apresentadas no item 4.2.1.3 - "Tomada d'Água".

Deve-se atentar apenas para o detalhe das transições, em planta e em perfil, entre o canal de adução escavado em solo e a estrutura de concreto da câmara de carga.

As paredes laterais, em planta, devem abrir-se em ângulo de  $45^{\circ}$ , e a transição entre o fundo do canal e o fundo da câmara de carga deve ser efetuada em rampa não superior a 1V:2H.

Ressalta-se que o afogamento mínimo do nível d'água normal em relação ao teto da tomada d'água na seção da comporta, calculado no exemplo do item 4.2.1.3, deve ser, também aqui, respeitado.

O nível d'água normal em frente à câmara de carga deve ser estimado da seguinte forma:

$$NA_{cc} \text{ normal} = NA_{Res} \text{ normal} = L \times 0,0004,$$

onde:

$NA_{cc} \text{ normal}$  = Nível d'água normal em frente à câmara de carga.

$NA_{Res} \text{ normal}$  = Nível d'água normal no reservatório, que corresponde à cota de fundo do canal extravasor, ou à cota da crista do vertedouro (sangradouro).

L = Extensão do canal de adução, medida em metros.

Após a comporta, o conduto deve receber uma transição em concreto, de modo a se adaptar ao diâmetro fixado para a tubulação forçada.

O topo da estrutura da câmara de carga deve ser construído a um nível aproximado de 0,3 m acima do nível da água do reservatório.

Quando a adução em baixa pressão for projetada através de uma tubulação, a câmara de carga será substituída, geralmente, por uma chaminé de equilíbrio (ver item 4.2.1.7). No caso de ser projetada uma câmara de carga, ao invés de uma chaminé de equilíbrio, poderá haver um transbordamento em caso de retorno da água, proveniente de um golpe de aríete, e, para isso, deve-se prever um vertedouro em uma de suas paredes laterais, com uma área de escoamento dimensionada do mesmo modo que o extravasor previsto para um canal de adução (ver item 4.2.1.4).

Os ANEXOS 4.2.1.6/A e 4.2.1.6/B apresentam câmaras de carga com adução em baixa pressão feita através, respectivamente, um canal a céu aberto e uma tubulação.

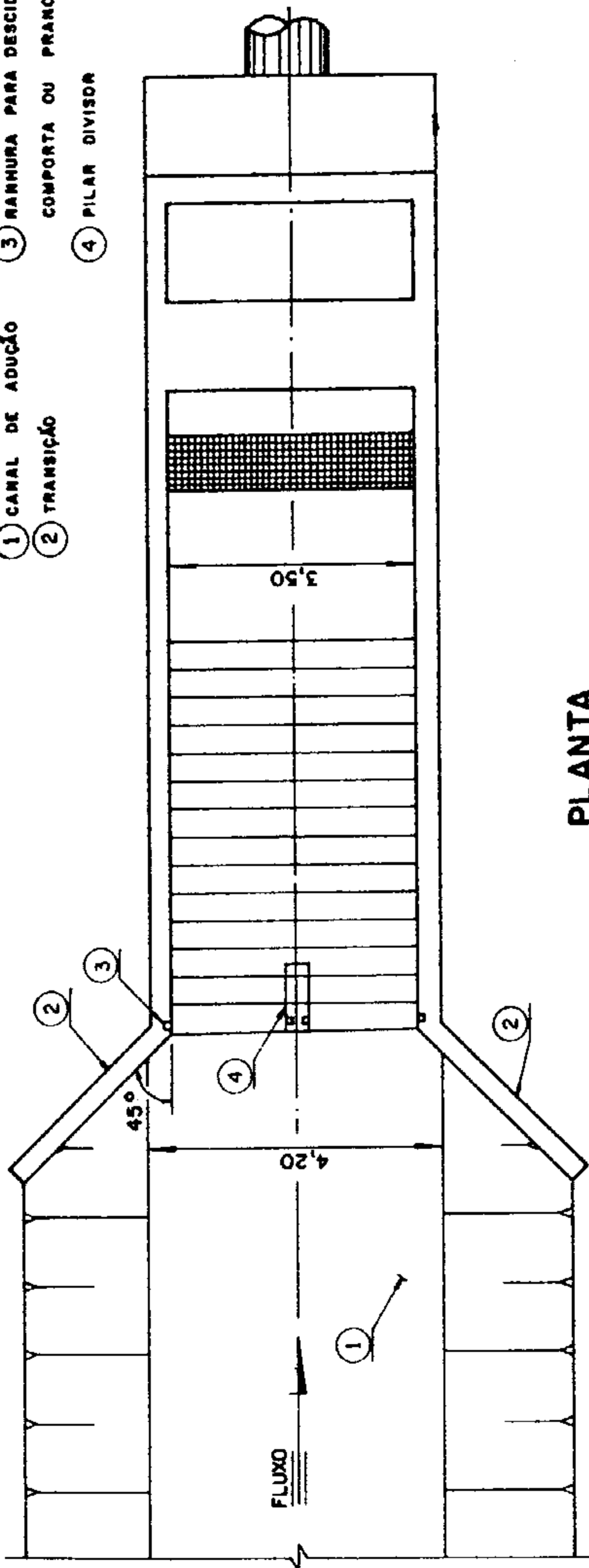
Para o tipo de câmara de carga com vertedouro, deve-se prever que a água extravasada para o terreno seja encaminhada de volta para o rio, sem provocar erosão nas fundações da própria câmara de carga, dos blocos de ancoragem e das selas da tubulação forçada ou de outras estruturas vizinhas.

4.2.1.6/A

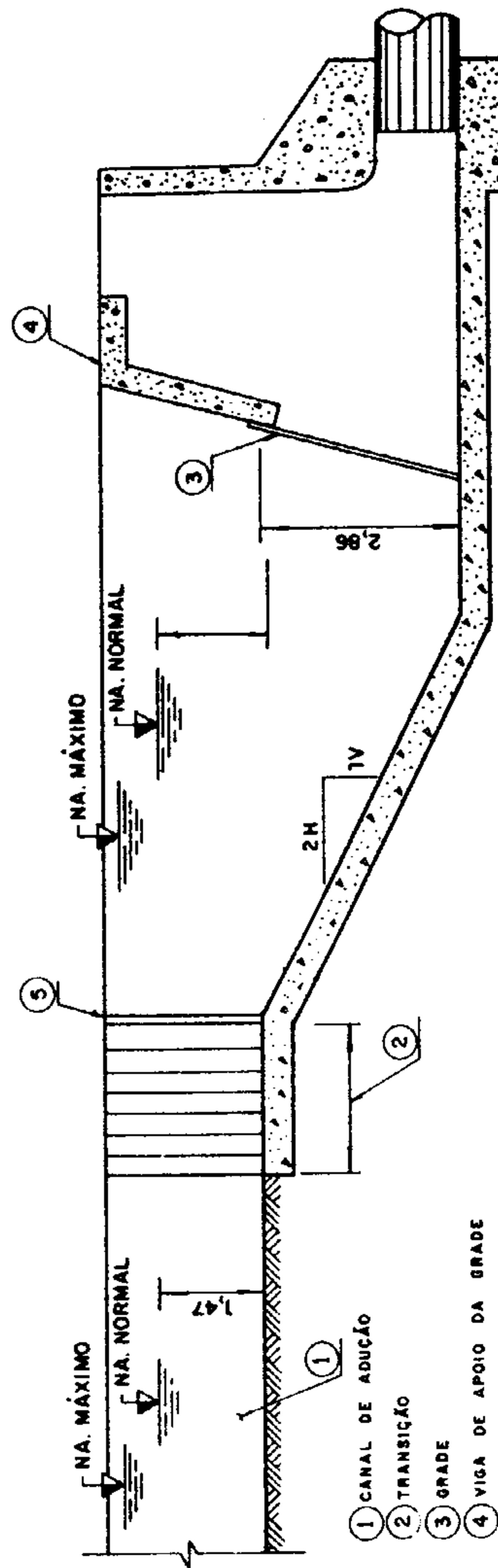
ANEXO

# CÂMARA DE CARGA

- ① CANAL DE ADUÇÃO
- ② TRANSIÇÃO
- ③ RANHURA PARA DESCIDA DE COMPORTA OU PRANCHÕES
- ④ PILAR DIVISOR



PLANTA

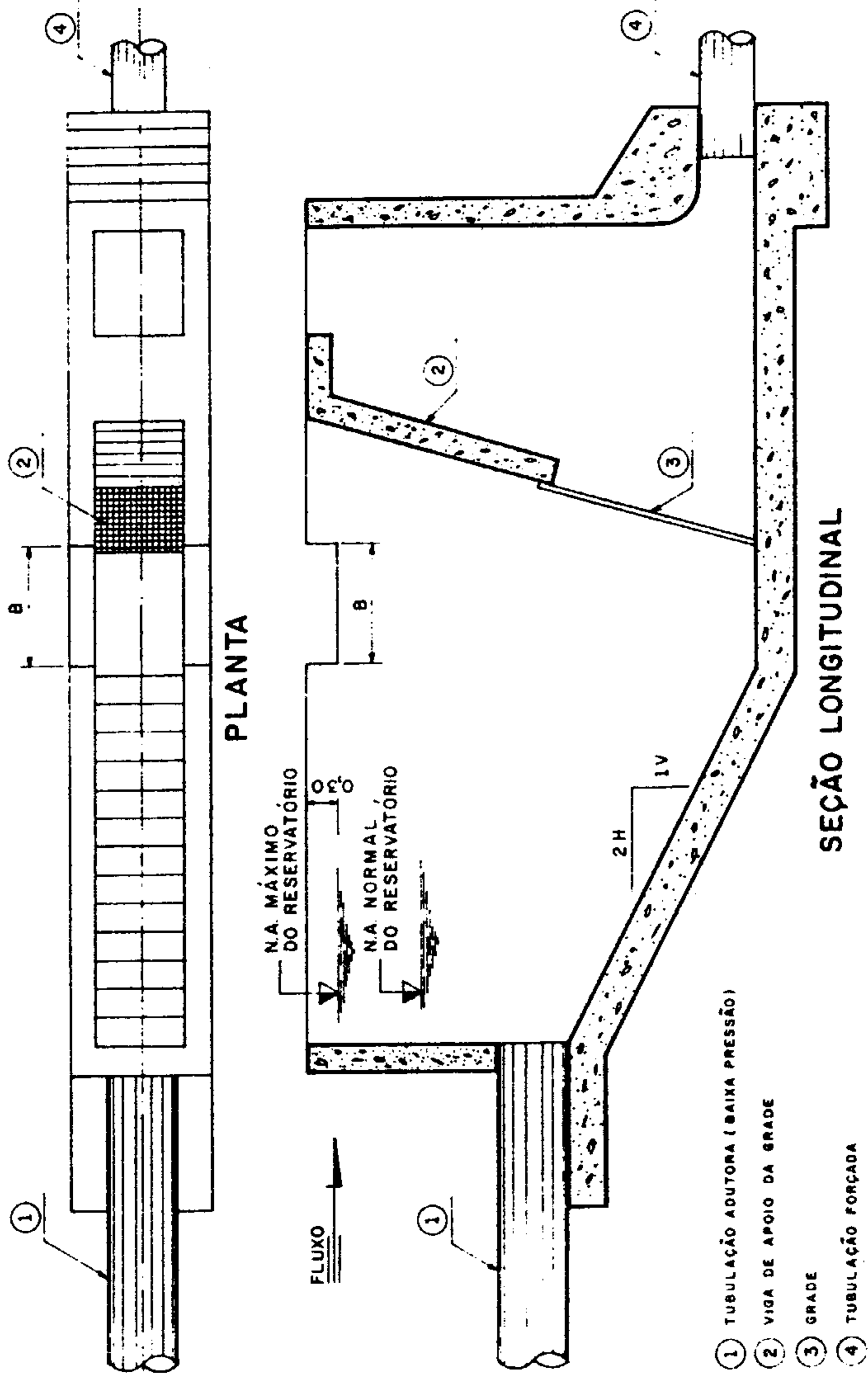


SEÇÃO LONGITUDINAL

- ① CANAL DE ADUÇÃO
- ② TRANSIÇÃO
- ③ GRADE
- ④ VIGA DE APOIO DA GRADE
- ⑤ RANHURA PARA DESCIDA DE COMPORTA OU PRANCHÕES

# CÂMARA DE CARGA

## CASO DE ADUÇÃO ATRAVÉS DE TUBULAÇÃO DE BAIXA PRESSÃO



#### 4.2.1.7

#### Chaminé de Equilíbrio

A chaminé de equilíbrio é uma estrutura, em concreto ou aço, constituída de um reservatório cilíndrico, de eixo vertical, implantada entre o trecho de adução de baixa declividade, constituído por uma tubulação em baixa pressão e o trecho de adução de grande declividade, constituído por uma tubulação forçada.

A chaminé de equilíbrio tem como finalidade amortecer os efeitos dos aumentos de pressão e velocidade da água no interior da tubulação forçada causados pelo golpe de aríete durante um acionamento rápido do dispositivo de fechamento da turbina. Tem também a função de armazenar a água que penetra no seu interior durante o refluxo resultante do aumento de pressão, liberando-a para a turbina quando o dispositivo de fechamento abrir novamente.

Quando necessária a sua instalação, a chaminé de equilíbrio deve ficar o mais próximo possível da casa de máquinas, a fim de reduzir o comprimento da tubulação forçada e, com isso, diminuir os efeitos do golpe de aríete.

##### 4.2.1.7.1 Verificação da Necessidade da Instalação da Chaminé de Equilíbrio

A condição para que não haja necessidade da instalação de uma chaminé de equilíbrio é conhecida pela relação:

$$\frac{L_a}{H} \leq 5$$

onde:

$L_a$  = comprimento total do sistema de adução

$H$  = queda bruta

ambos os parâmetros tomados com a mesma unidade de dimensão linear

Assim, se o comprimento da tubulação forçada ultrapassar a cinco vezes a queda bruta, há necessidade de prever-se uma chaminé de equilíbrio.

Recomenda-se fazer também a verificação da necessidade ou não da instalação da chaminé de equilíbrio pelo critério da constante de aceleração da água na tubulação:

$$t_h = \frac{v L_a}{gH}$$

sendo:

$t_h$  = tempo de aceleração da água na tubulação, em s

$v$  = velocidade da água no interior da tubulação forçada, em m/s

$g$  = aceleração da gravidade, 9,81 m /s<sup>2</sup>

Se  $t_h$  for inferior a 3s, não há necessidade da chaminé de equilíbrio. Há casos de não se instalar chaminé de equilíbrio, mesmo para valores de  $t_h$  até 6s mas, acima desse valor, essa instalação é obrigatória.

Alerta-se que a constante de aceleração da água na tubulação forçada guarda uma relação com a constante de aceleração do grupo turbina-gerador, que deve satisfazer igualmente os critérios de sobrepressão máxima admissível, conforme item 4.2.1.8.2 - Golpe de Ariete, e da sobrevelocidade máxima admissível em caso de rejeição de carga (ver item 4.2.3.4 - Turbinas Hidráulicas e item 4.2.4.1 - Geradores Síncronos).

Outro meio de se tentar evitar a instalação de uma chaminé de equilíbrio é o emprego de válvulas de alívio na entrada das turbinas, quase sempre também dentro de certas limitações, geralmente caras e exigindo consultas diretas ao fabricante.

#### 4.2.1.7.2 Dimensionamento de uma Chaminé de Equilíbrio do Tipo Simples e de Seção Constante

Nos casos em que haja necessidade da instalação de uma chaminé de equilíbrio, o seu dimensionamento pode ser feito conforme a seguir.

Para garantir a estabilidade das oscilações do nível d'água no interior da chaminé de equilíbrio, Thoma deduziu uma fórmula que permite calcular a área interna mínima da seção transversal da chaminé de equilíbrio:

$$A_c > \frac{v^2}{2g} \times \frac{L_c \times A_t}{(H_m - h_t) h_t}$$

sendo:

$A_c$  = área interna mínima da seção transversal da chaminé de equilíbrio, em m<sup>2</sup>

$v$  = velocidade da água no interior da tubulação adutora, em m/s

$L_c$  = comprimento da tubulação adutora, em m

$A_t$  = área interna da seção transversal da tubulação adutora, em  $m^2$

$H_m$  = queda mínima, em m

$h_t$  = perda de carga do sistema adutor, em m

$g$  = aceleração da gravidade =  $9,81 \text{ m/s}^2$

Nota: A tubulação adutora é a da chaminé de equilíbrio, isto é, a parte compreendida entre a mesma e a tomada d'água.

A determinação da altura da chaminé de equilíbrio é feita em função da oscilação do nível d'água no seu interior. Esta oscilação deve ser calculada seguindo-se a marcha de cálculo apresentada adiante.

Desprezando-se as perdas de carga  $h_t$  do sistema adutor:

$$Y_e = Y_d = v \sqrt{\frac{A_t L_c}{g A_c}}$$

onde:

$Y_e$  = elevação do nível d'água, em m

$Y_d$  = depleção do nível d'água, em m

A elevação do nível d'água da chaminé de equilíbrio é contada para cima do nível estático máximo e a depleção, para baixo do nível estático mínimo.

Considerando-se as perdas de carga no sistema adutor:

$$Y_E = z_e Y_e$$

onde:

$$z_e = 1 - \frac{2}{3} k + \frac{1}{9} k^2$$

sendo:

$$k = \frac{h_t}{Y_e}$$



$Y_E$  = elevação do nível d'água, em m (considerando as perdas de carga)

$k$  = perda de carga relativa

$h_t$  = perda de carga total no sistema adutor até a chaminé de equilíbrio, com a perda de carga  $h_a$ , por atrito, na tubulação adutora, calculada com coeficiente para paredes lisas:

( $K_a = 0,32$  - Scobey ou  $K_a = 100$  - Strickler )

Para o cálculo da depleção  $y_D$  é necessário verificar duas hipóteses de cálculo, adotando-se a mais desfavorável:

- 1 - Depleção consecutiva à elevação máxima, decorrente do fechamento total (100%) do dispositivo de fechamento.
- 2 - Depleção decorrente da abertura parcial de 50% a 100% do dispositivo de fechamento.

Para a primeira verificação, o procedimento é o seguinte:

$$Y_D = z_d Y_d$$

O valor do coeficiente  $z_d$  é obtido através do ANEXO 4.2.1.7/B ou da TABELA 4.2.1.7/I, baseados nos gráficos de M.M.Calame e Gaden, entrando-se com o parâmetro:

$$k' = \frac{h'_t}{Y_d} = \frac{h'_t}{Y_e}$$

sendo:

$h'_t$  = perda de carga no sistema adutor, com a perda de carga  $h'_a$ , por atrito, na tubulação adutora calculada com coeficiente para paredes ásperas ( $K_a = 0,40$  - Scobey ou  $K_a = 80$  - Strickler)

Para a segunda verificação, o procedimento é análogo ao da primeira:

$$Y'_D = z'_d Y_d$$

O valor do coeficiente  $z'_d$  é obtido através do ANEXO 4.2.1.7/C ou da TABELA 4.2.1.7/II, baseados nos gráficos de M.M.Calame e Gaden, entrando-se com o parâmetro  $k'$ .

A altura da chaminé de equilíbrio é determinada por meio da seguinte expressão:

$$H_c = Y_E + y_E + (Y_D \text{ ou } Y'_D) + y_D + Y_R$$

sendo:

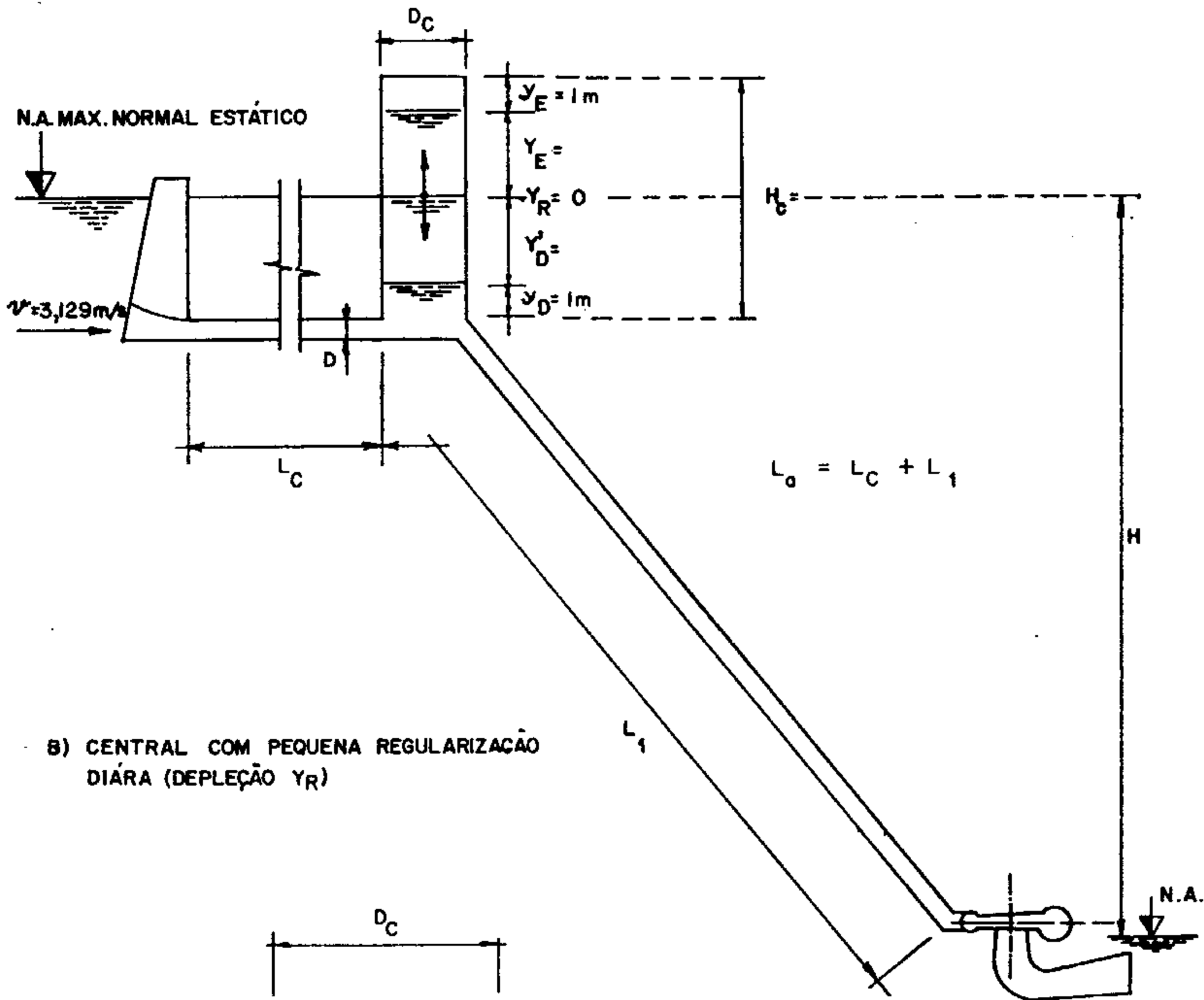
$y_E$  e  $y_D$  = acréscimos (segurança) nas alturas da elevação e da depleção = 1 m.

$Y_R$  = depleção máxima do N.A. do reservatório, isto é, diferença entre o N.A. Máx. Normal e o N.A. Min., em m.

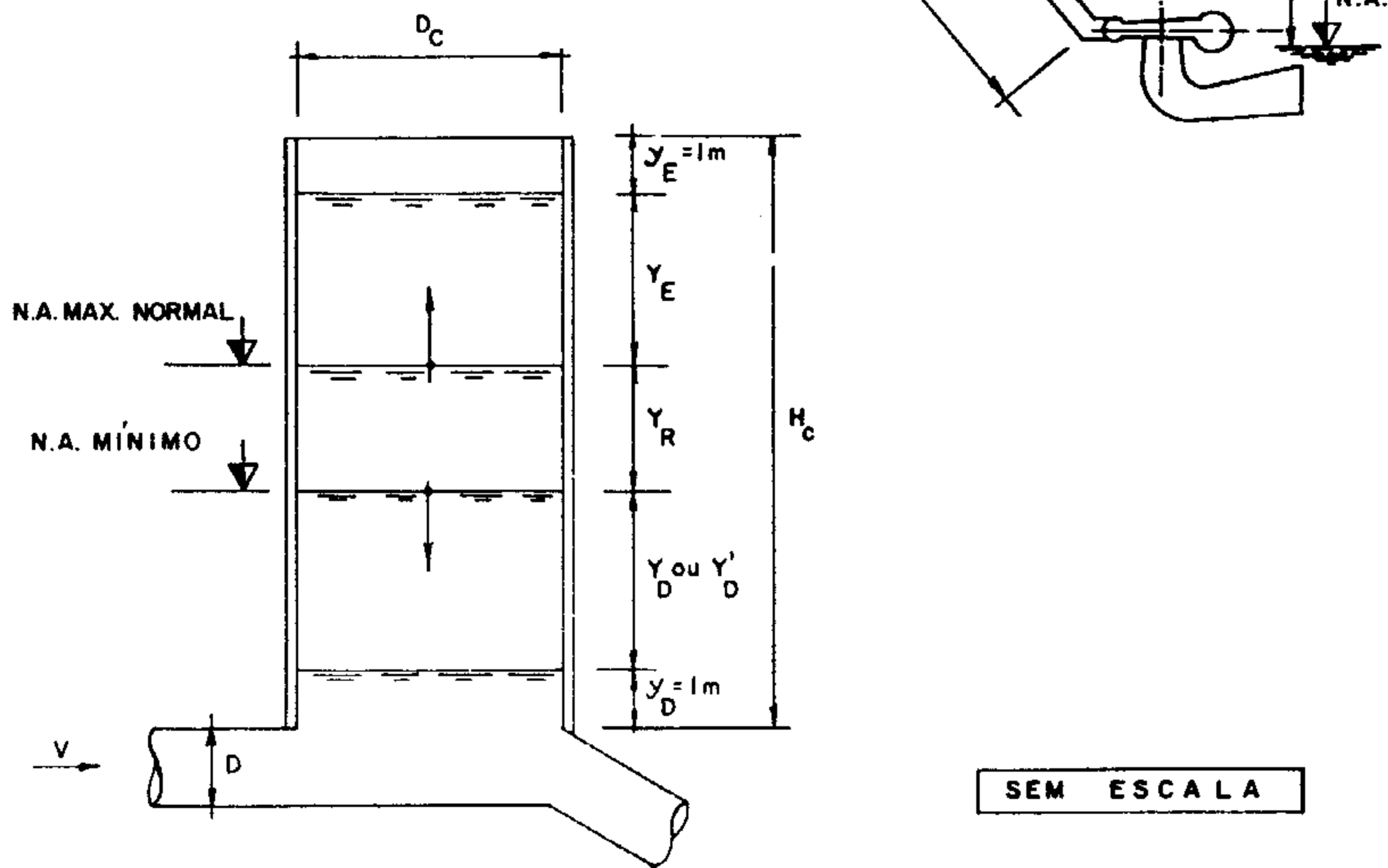
Para as centrais hidrelétricas "a fio d'água"  $Y_R = 0$ , pois a variação do N.A. do reservatório é desprezível.

# CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO

A) CENTRAL A FIO D'ÁGUA



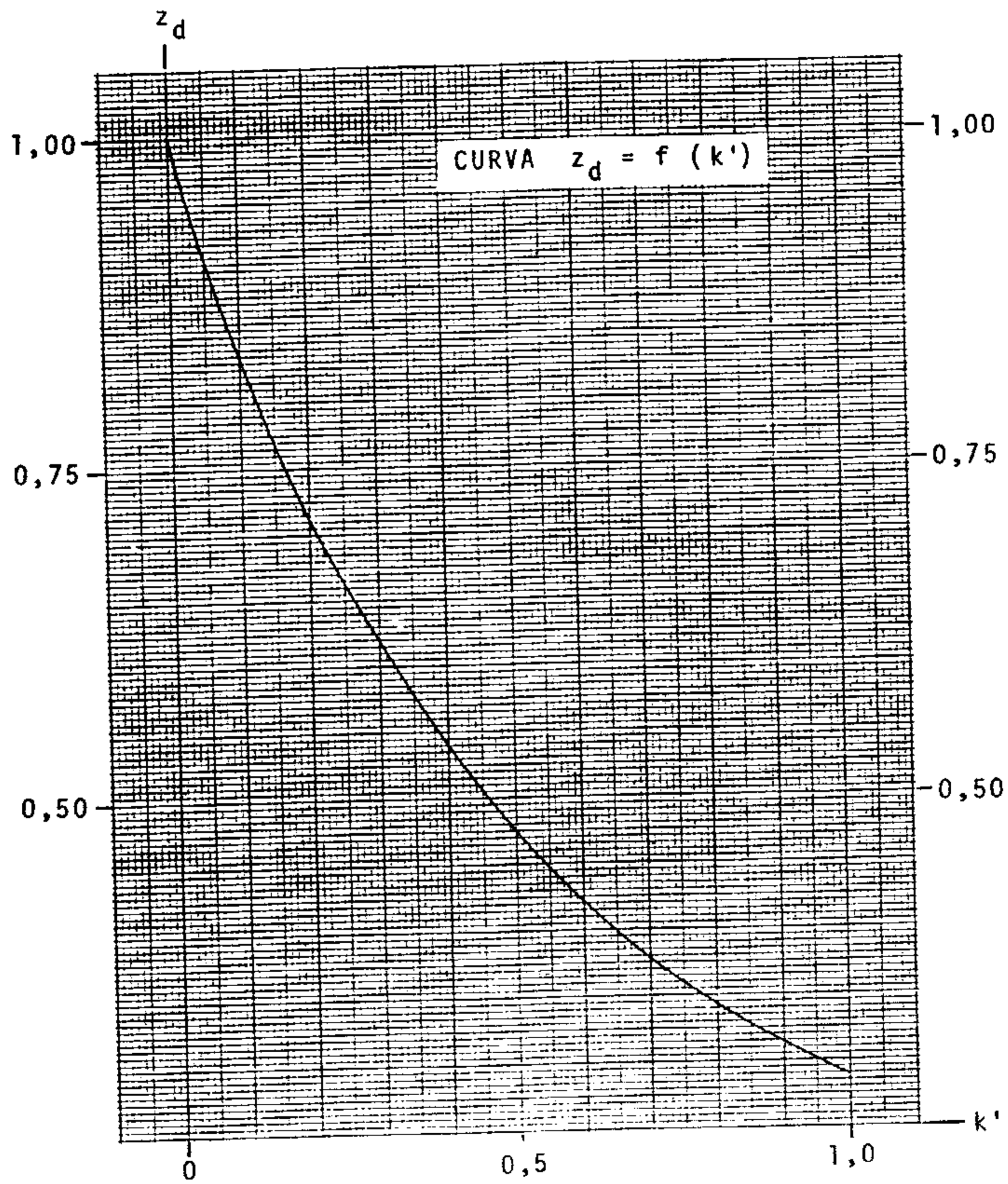
B) CENTRAL COM PEQUENA REGULARIZAÇÃO DIÁRIA (DEPLEÇÃO  $Y_R$ )



SEM ESCALA

4.2.1.7/B

ANEXO



DEPLEÇÃO CONSECUTIVA À ELEVAÇÃO MÁXIMA  
 DECORRENTE DO FECHAMENTO TOTAL-100%  
 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE  $z_d$  EM FUNÇÃO DE  $k'$

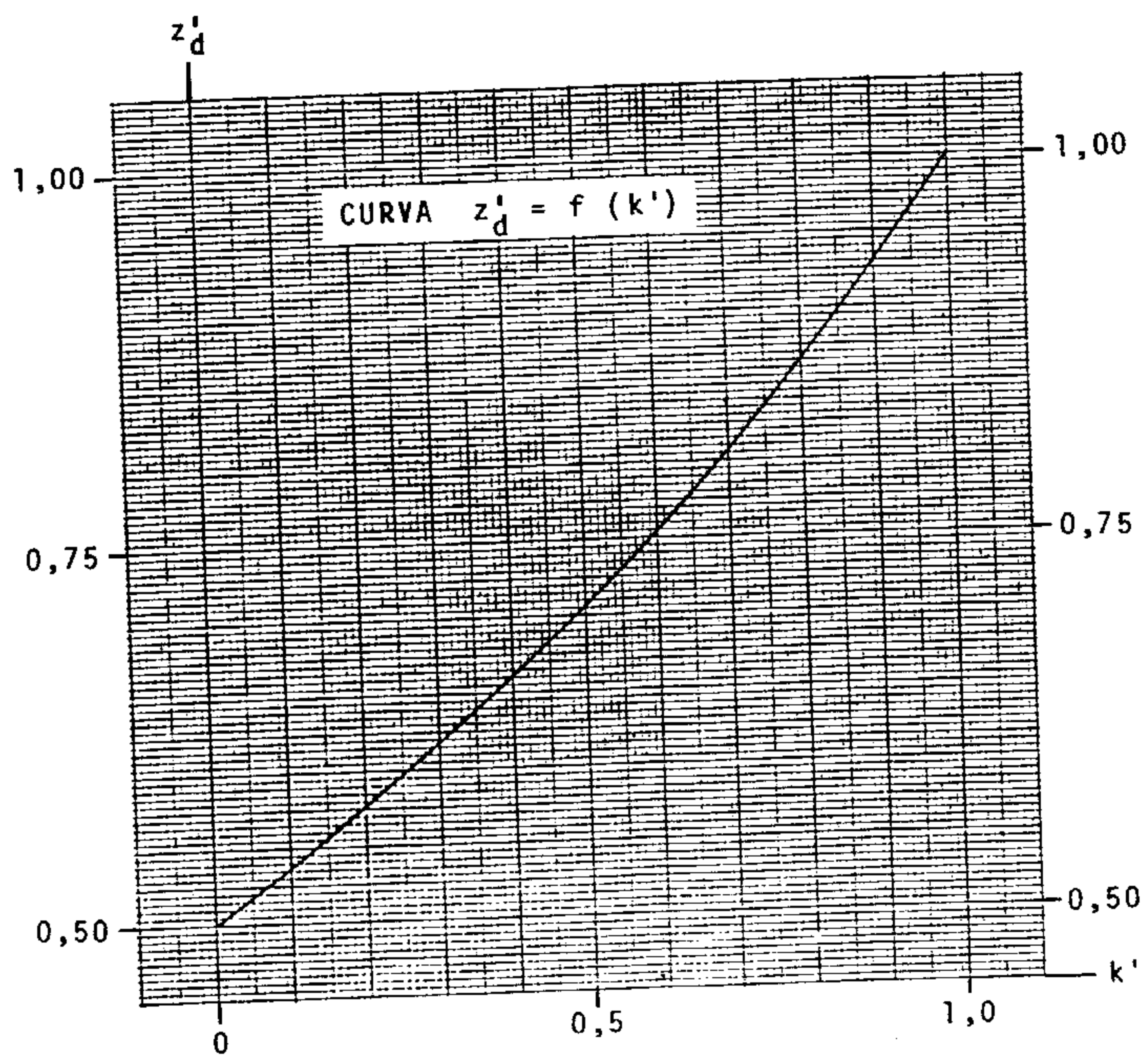
TABELA 4.2.1.7/I

$k'$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	1,000	0,982	0,964	0,946	0,928	0,910	0,895	0,881	0,866	0,852
0,10	0,837	0,823	0,809	0,794	0,780	0,766	0,755	0,744	0,734	0,723
0,20	0,712	0,702	0,692	0,683	0,673	0,663	0,654	0,645	0,637	0,628
0,30	0,619	0,611	0,603	0,594	0,586	0,578	0,570	0,562	0,555	0,547
0,40	0,539	0,532	0,526	0,519	0,513	0,506	0,500	0,494	0,487	0,481
0,50	0,475	0,469	0,464	0,458	0,453	0,447	0,442	0,437	0,432	0,427
0,60	0,422	0,417	0,412	0,408	0,403	0,398	0,394	0,390	0,386	0,382
0,70	0,378	0,374	0,371	0,367	0,364	0,360	0,357	0,353	0,350	0,346
0,80	0,343	0,340	0,337	0,334	0,331	0,328	0,325	0,322	0,319	0,316
0,90	0,313	0,310	0,308	0,305	0,303	0,300	0,298	0,296	0,293	0,291
1,00	0,289	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NOTA : Os valores de  $z_d$  constantes na tabela são negativos.

4.2.1.7/C

ANEXO



DEPLEÇÃO DECORRENTE DE UMA ABERTURA  
 PARCIAL DE 50% PARA 100%  
 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE  $z_d^i$  EM FUNÇÃO DE  $k'$

TABELA 4.2.1.7/II

$k'$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,500	0,504	0,507	0,511	0,514	0,518	0,522	0,525	0,529	0,532
0,10	0,536	0,540	0,544	0,548	0,552	0,556	0,560	0,564	0,569	0,573
0,20	0,577	0,581	0,585	0,589	0,593	0,597	0,601	0,605	0,610	0,614
0,30	0,618	0,622	0,627	0,631	0,636	0,640	0,644	0,649	0,653	0,658
0,40	0,662	0,666	0,671	0,675	0,680	0,684	0,689	0,693	0,698	0,702
0,50	0,707	0,711	0,716	0,720	0,725	0,729	0,734	0,739	0,744	0,749
0,60	0,754	0,759	0,764	0,770	0,775	0,780	0,786	0,791	0,797	0,802
0,70	0,808	0,814	0,819	0,825	0,830	0,836	0,842	0,848	0,854	0,860
0,80	0,866	0,872	0,878	0,885	0,891	0,897	0,904	0,910	0,917	0,923
0,90	0,930	0,937	0,944	0,952	0,959	0,966	0,973	0,980	0,986	0,993
1,00	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NOTA : Os valores de  $z_d^i$  constantes na tabela  
são negativos.

4.2.1.7.3 Exemplo:

Verificar a necessidade da instalação de uma chaminé de equilíbrio em um aproveitamento hidrelétrico com as seguintes características:

- Tomada d'água: igual à descrita no Exemplo 4.2.2.3
- Tubulação forçada:
  - Diâmetro nominal  $D_n = 44''$  (111,76 mm) ver TABELA 4.2.2.1.4/I
  - Espessura de parede  $e = 3/8''$  (9,52 mm) ver TABELA 4.2.2.1.4/I
  - Comprimento total do sistema de adução  $L_a = 540$  m
- Altura de queda bruta  $H = 25$  m (ver Exemplo 4.2.2.3)
- Descarga de projeto  $Q = 3$  m<sup>3</sup>/s (ver Exemplo 4.2.2.3)

Cálculo da velocidade da água no interior da tubulação:

Diâmetro interno  $D = 109,86$  cm (ver TABELA 4.2.2.1.4/I)

Área interna  $A = 0,9479$  m<sup>2</sup> (ver TABELA 4.2.2.1.4/II)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{3,0}{0,9479} = 3,165 \text{ m/s}$$

Verificação da necessidade da chaminé de equilíbrio

$$\frac{L_a}{H} = \frac{540}{25} = 21,6 > 5$$

$$e \quad t_h = \frac{vL_a}{gH} = \frac{3,165 \times 540}{9,81 \times 25} = 6,97 \text{ s} > 3 \text{ s} (> 6 \text{ s})$$

o que mostra haver necessidade da instalação de uma chaminé de equilíbrio.

Dimensionamento da chaminé de equilíbrio

Supõe-se a instalação dessa chaminé de equilíbrio no ponto da tubulação distante 500 m da tomada d'água e 40 m da casa de máquinas.

- . Determinação das perdas de carga no sistema adutor a montante da chaminé de equilíbrio.



- Perda de carga inicial na tomada d'água

(ver exemplo citado)  $h_i = 0,012$  m

- Perda de carga nas grades da tomada d'água

(ver exemplo citado)  $h_g = 0,044$  m

- Perda de carga na entrada da tubulação adutora

$$h_e = K_e \frac{v^2}{2g} = 0,04 \frac{3,165^2}{2 \times 9,81} \therefore h_e = 0,020 \text{ m}$$

- Perda de carga por atrito na tubulação adutora a montante da chaminé de equilíbrio

Para paredes lisas :  $K_a = 0,32$

$$L_c = 500 \text{ m} = 0,5 \text{ km}$$

$$h_a = J \times L_c = 410 \times K_a \frac{v^{1,9}}{D^{1,1}} \times L_c$$

$$h_a = 410 \times 0,32 \frac{3,165^{1,9}}{109,86^{1,1}} \times 0,5 = 3,332 \text{ m}$$

Para paredes ásperas :  $K_a = 0,40$

$$h'_a = J' \times L_c = 410 \times 0,40 \frac{3,165^{1,9}}{109,86^{1,1}} \times 0,5 = 4,165 \text{ m}$$

- Perda total de carga no sistema adutor

Com tubulação de paredes lisas:

$$h_t = h_i + h_g + h_e + h_a = 0,012 + 0,044 + 0,020 + 3,332 = 3,408 \text{ m}$$

Com tubulação de paredes ásperas:

$$h'_t = h_i + h_g + h_e + h'_a = 0,012 + 0,044 + 0,020 + 4,165 = 4,241 \text{ m}$$

. Determinação da área mínima interna da seção transversal

Supondo o aproveitamento "a fio d'água", o N.A. do reservatório não varia e:

$$H_m = H = 25,0 \text{ m}$$

$$A_c = \frac{v^2}{2g} \times \frac{L_c \times A_t}{(H_m - h_t) h_t} = \frac{3,165^2}{2 \times 9,81} \times \frac{500 \times 0,9479}{(25 - 3,408) \times 3,408} = 3,288 \text{ m}^2$$

resultado :  $D_c = 2,046 \text{ m}$

Para esse diâmetro, a altura da chaminé de equilíbrio será:

$$H_c = 19,62 \text{ m}$$

Com a finalidade de reduzir a altura da chaminé de equilíbrio, por motivo econômico ou para tornar a sua construção mais fácil, pode-se aumentar a área da seção transversal da mesma, majorando-se o diâmetro interno  $D_c$

seja:  $D_c = 4,00 \text{ m}$

$$A_c = \frac{\pi D_c^2}{4} = \frac{\pi \times 4,00^2}{4} = 12,5664 \text{ m}^2$$

Determinação da oscilação da água no interior da chaminé de equilíbrio.

- Elevação máxima da água, para um fechamento de 100% , considerando as perdas de carga :

$$Y_e = Y_d = v \sqrt{\frac{A_t L_c}{g A_c}} = 3,165 \sqrt{\frac{0,9479 \times 500}{9,81 \times 12,5664}} = 6,21 \text{ m}$$

$$k = \frac{h_t}{Y_e} = \frac{3,408}{6,21} = 0,549$$

$$z_e = 1 - \frac{2}{3} k + \frac{1}{9} k^2 = 0,667$$

$$Y_E = z_e Y_e = 0,667 \times 6,21 = 4,14 \text{ m}$$

- Depleção consecutiva da água após a elevação máxima para um fechamento de 100%, considerando as perdas de carga:

$$k' = \frac{h'_t}{Y_d} = \frac{4,241}{6,21} = 0,683$$

Entrando-se com  $k' = 0,683$  na TABELA 4.2.1.7/I ou ANEXO 4.2.1.7/B, encontra-se  $z_d = 0,386$

$$Y_D = z_d Y_d = 0,386 \times 6,21 = 2,40 \text{ m}$$

- Depleção decorrente da abertura parcial de 50% a 100% do dispositivo de fechamento.

Entrando-se com  $k' = 0,683$  na TABELA 4.2.1.7/II ou ANEXO 4.2.1.7/C, encontra-se  $z'_d = 0,797$

$$Y'_D = z'_d Y_d = 0,797 \times 6,21 = 4,95 \text{ m}$$

que identifica a depleção  $Y'_D$  com abertura parcial de 50% a 100% como mais desfavorável que a depleção  $Y_D$  logo após a elevação com fechamento 100%.

. Cálculo da altura da chaminé de equilíbrio

$$H_C = Y_E + y_E + Y'_D + y_D + Y_R$$

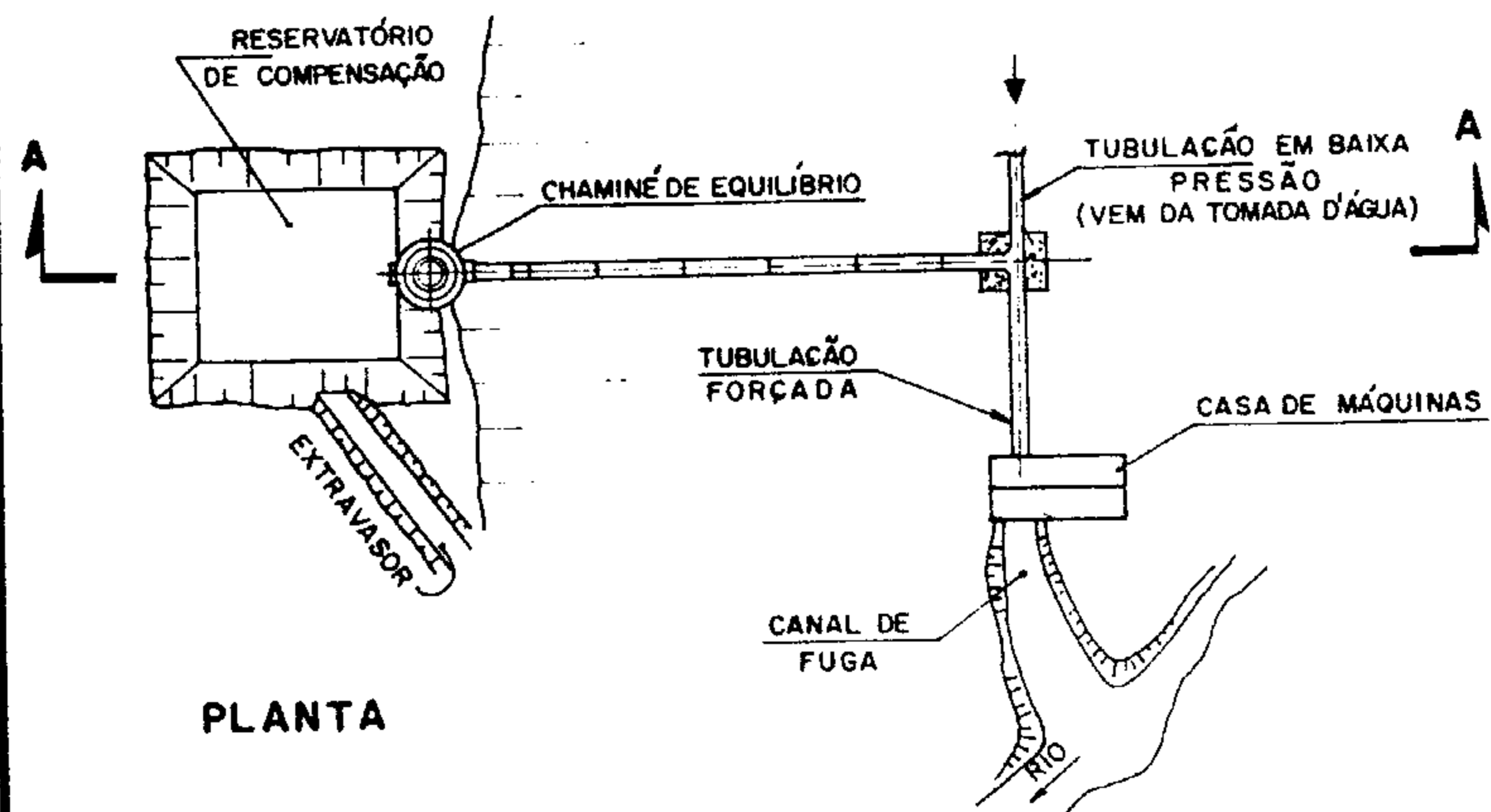
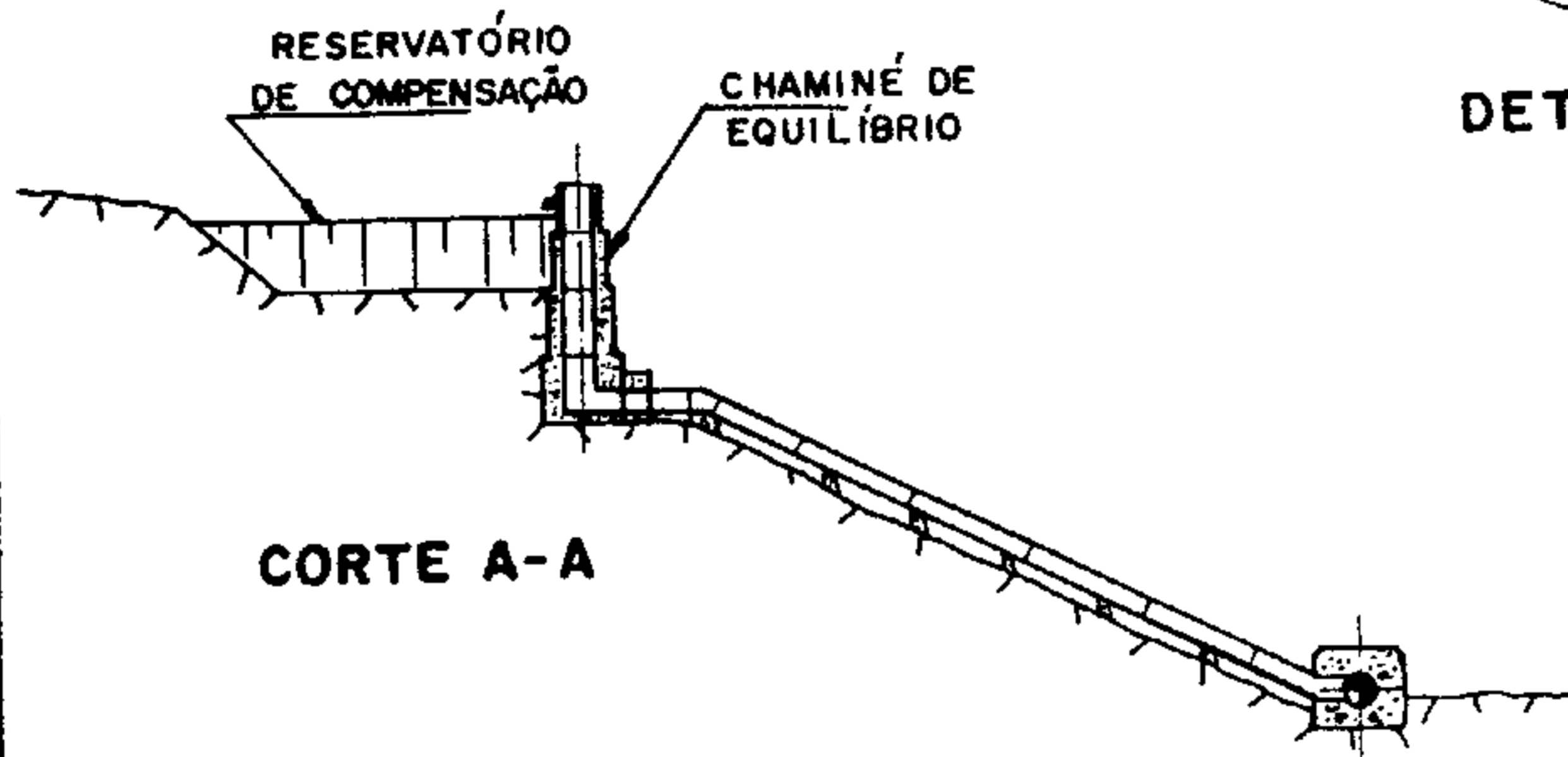
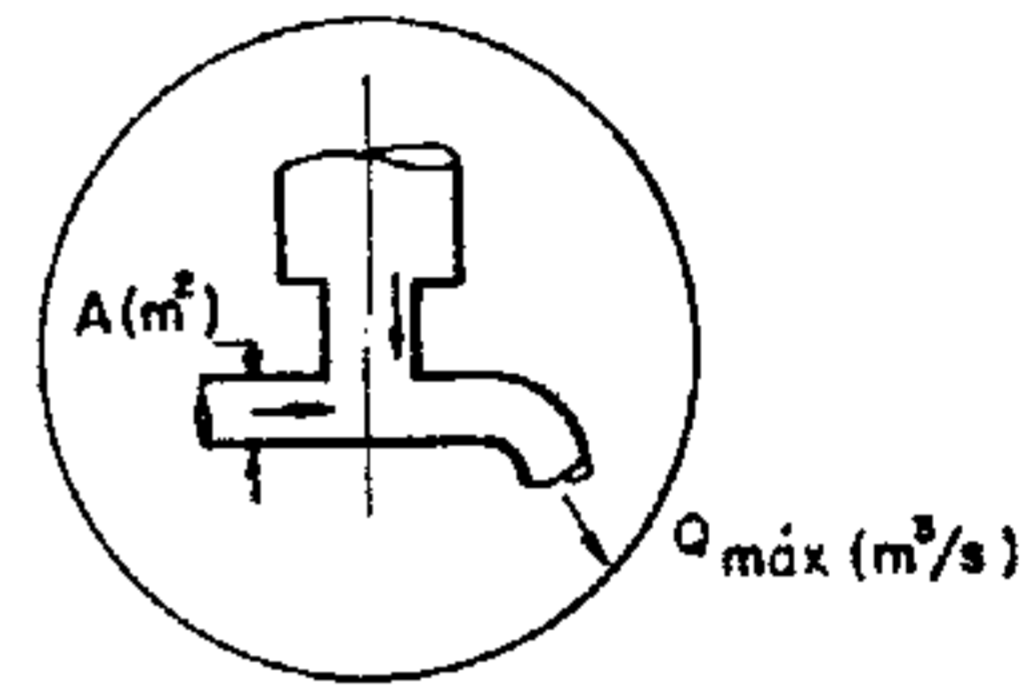
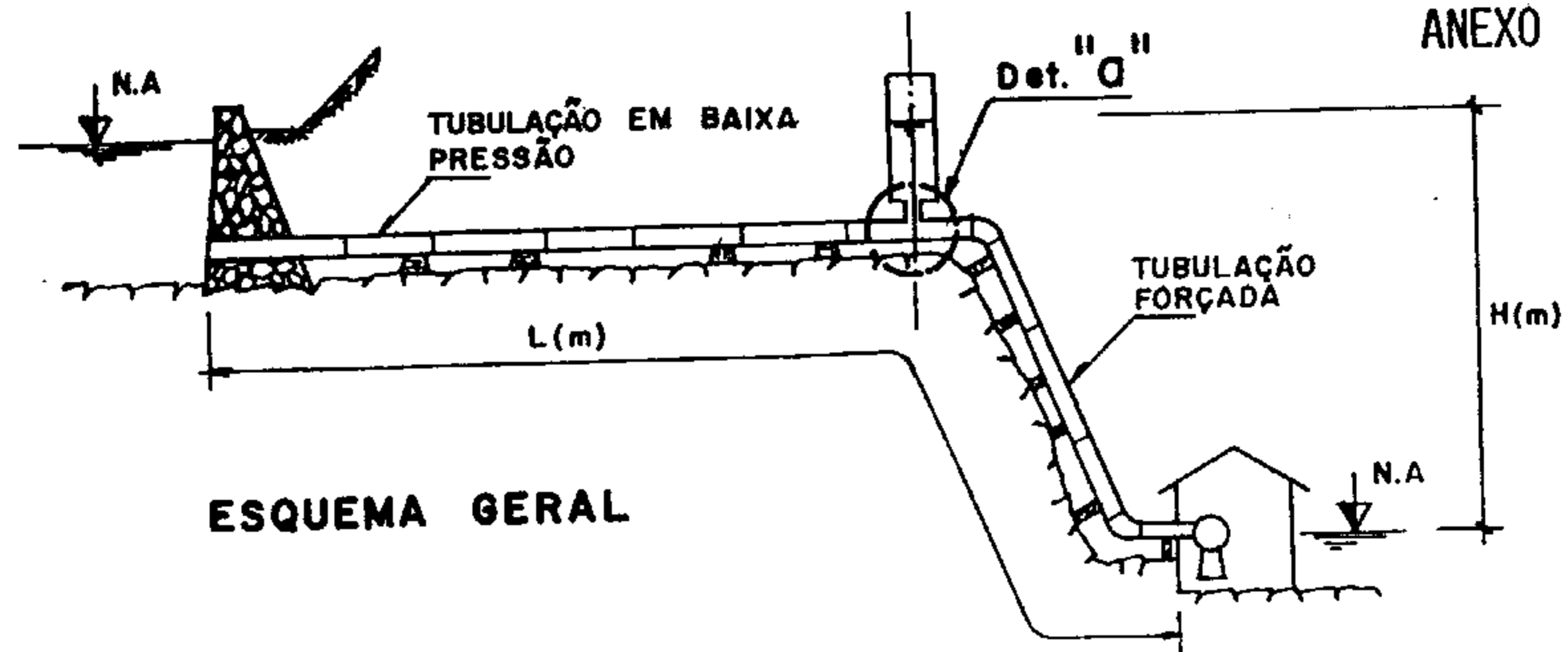
$$H_C = 4,14 + 1,0 + 4,95 + 1,0 + 0 = 11,09 \text{ m}$$

#### 4.2.1.7.4 Projeto Típico

Uma vez dimensionada a chaminé, conforme item 4.2.1.7.2, para fins das obras civis, é apresentado nos ANEXOS 4.2.1.7/D e E, um projeto típico desta estrutura.

Na TABELA 4.2.1.7/III são apresentadas as dimensões para três diferentes diâmetros internos da chaminé.

4.2.1.7/D



# CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO - DIMENSÕES -

ANEXO

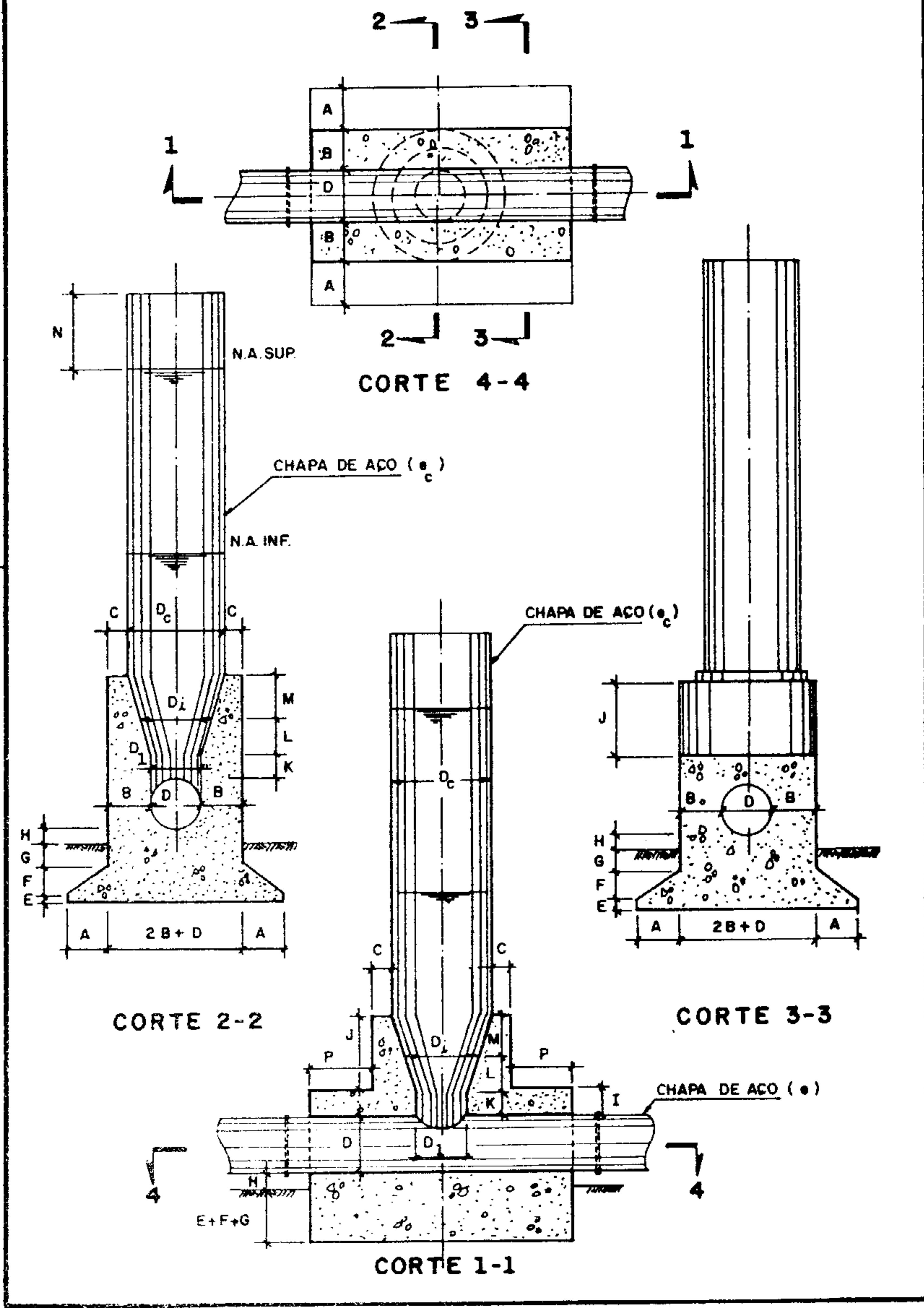


TABELA 4.2.1.7/III

DIÂMETRO $D_c$ (m)	1,00	1,20	2,00
Simbolos	DIMENSÕES PRINCIPAIS (m)		
A	0,90	0,90	0,90
B	0,60	0,70	0,90
C	0,70	0,50	0,45
e	3/16	3/16	1/4"
$e_c$	1/2"	3/4"	3/4"
$D_i$	0,80	0,90	1,60
D	Obtido do Cálculo Hidráulico		
$D_1$	Igual	a	"D"
E	0,20	0,20	0,25
F	0,50	0,50	0,60
G	0,35	0,35	0,35
H	0,40	0,40	0,40
I	0,50	0,50	0,60
J	1,00	1,20	1,50
K	0,30	0,40	0,50
L	0,50	0,60	0,80
M	0,50	0,60	0,80
N	1,40	1,40	1,40
N.A. Sup.	Obtido do Cálculo Hidráulico		
N.A. Inf.	Obtido do Cálculo Hidráulico		
P	1,00	1,10	1,20

#### 4.2.1.8 Tubulação Forçada

##### 4.2.1.8.1 Determinação do Diâmetro Econômico

###### Considerações Iniciais

As tubulações forçadas consideradas no presente Manual possuem o mesmo diâmetro ao longo de todo o comprimento.

###### Cálculo do Diâmetro Econômico

Teoricamente, o diâmetro mais econômico é aquele em que a relação benefício/custo é máxima. Entende-se por benefício o valor da energia a ser produzida durante toda a vida útil da central e por custo, a soma dos custos de materiais, montagem, manutenção, juros e amortizações. É, portanto, o diâmetro em que, um acréscimo de dimensão resultando em menores perdas hidráulicas e consequentemente maior potência instalada, promove benefícios que não compensam o acréscimo de custo.

Dado às dificuldades de obtenção de uma fórmula exata que considere todos os parâmetros acima mencionados, alguns deles complexos e de difícil determinação, neste Manual admitiu-se que pode ser considerado, sem grandes erros, como o econômico, o diâmetro calculado pela fórmula de Bondschu:

$$D_e = 127 \sqrt[7]{\frac{Q^3}{H_t}}$$

onde:

$$H_t = H + h_s$$

sendo:

$D_e$  = diâmetro econômico, em cm

$Q$  = descarga máxima na tubulação, em  $m^3/s$

$H_t$  = carga hidráulica total sobre a tubulação, em m

$H$  = queda bruta = carga hidráulica estática sobre a tubulação, em m

$h_s$  = sobrepressão hidráulica devido ao golpe de aríete, em m

Para as minicentrals hidrelétricas pode-se admitir:

$h_s = 0,2 H$  - valor razoável e inferior à sobrepressão máxima admitida neste Manual, ou seja 35%  
( $h_s = 0,35 H$ )

$$H_t = H + 0,2 H = 1,2 H$$

tendo-se assim, a seguinte forma simplificada para a fórmula de Bondschi:

$$D_e = 123,7 \sqrt[7]{\frac{Q^3}{H}}$$

#### Verificação da Velocidade

Conhecidos o diâmetro  $D_e$  e a descarga máxima na tubulação  $Q$ , calcula-se a velocidade de escoamento  $v$  pela expressão:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{3,1416 D_e^2}$$

sendo:

$A$  = área interna da seção transversal da tubulação, em  $m^2$

$Q$  = em  $m^3/s$  e,  $D_e$  em  $m$ , resultando  $v$  em  $m/s$ .

Deve ser verificado se foram respeitadas as velocidades máximas admissíveis para cada tipo de tubulação que, para o caso de mini centrais hidrelétricas, são as indicadas na tabela que se segue:

TABELA 4.2.1.8/I

MATERIAL	VELOCIDADE MÁXIMA ADMISSÍVEL (m/s)
Aço	5,0
Concreto	3,0

#### Verificação da Perda de Carga

Conhecidos o diâmetro da tubulação e a velocidade da água, calcula-se a perda de carga devido ao atrito, através da fórmula de Scobey, conforme o item 4.2.2.1.4.B, desprezando-se as demais.



O percentual da perda de carga em relação à queda bruta não deverá ultrapassar os limites apresentados no item 4.1.8.1. No caso desses limites serem ultrapassados, o diâmetro encontrado através da fórmula de Bondschu deverá ser acrescido de um valor que torne a perda de carga compatível com os citados limites.

- Exemplo

Determinar o diâmetro econômico de uma tubulação de aço que opera dentro das seguintes condições:

- . Descarga máxima  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$
- . Queda bruta  $H = 8 \text{ m}$
- . Comprimento  $L = 150 \text{ m} = 0,15 \text{ km}$

1 - Cálculo do Diâmetro Econômico

Aplicando-se a fórmula de Bondschu simplificada, tem-se;

$$D_e = 123,7 \sqrt[7]{\frac{Q^3}{H}} = 123,7 \sqrt[7]{\frac{1^3}{8}} = 92 \text{ cm}$$

valor também dado na TABELA 4.2.1.8/II anexa, entrando-se com os valores de H e Q.

2 - Verificação da Velocidade

A velocidade da água no interior será:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \times 1}{3,1416 \times 0,92^2} = 1,50 \text{ m/s}$$

A velocidade de 1,50 m/s é menor que a máxima admissível (TABELA 4.2.1.8/I - 5 m/s) e, portanto, aceitável.

3 - Verificação da Perda de Carga

Pela fórmula de Scobey, tem-se:

$$h_a = 410 K_a \frac{v^{1,9}}{D^{1,1}} L = 410 \times 0,32 \frac{1,50^{1,9}}{92^{1,1}} \times 0,15 = 0,29 \text{ m}$$

o que equivale a uma perda de carga percentual de 4% da queda bruta, estando, assim, dentro dos limites recomendados no item 4.1.8.1.

CÁLCULO DO DIÂMETRO (cm) PELA FÓRMULA DE BONDSCHU

$$D_e = 123,7 \sqrt[7]{\frac{Q^3}{H}}$$

TABELA 4.2.1.8/II

$\frac{Q}{H}$ ( $\frac{m^3/s}{m}$ )	,100	,125	,150	,175	,200	,225	,250	,275	,300	,325	,350	,375	,400	,425	,450	,475	,500	,550	,600	,650	,700	,750	,800
2	42	46	50	53	56	59	62	64	67	69	71	74	76	78	80	81	83	87	90	93	96	99	102
4	38	42	45	48	51	54	56	58	61	63	65	67	69	70	72	74	75	79	82	84	87	90	92
6	36	39	42	45	48	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	71	74	77	80	82	85	87
8	34	38	41	44	46	48	51	53	55	57	59	60	62	64	65	67	68	71	74	76	79	81	84
10	33	37	39	42	45	47	49	51	53	55	57	58	60	62	63	65	66	69	72	74	76	79	81
12	32	36	38	41	44	46	48	50	52	54	55	57	59	60	62	63	64	67	70	72	74	77	79
14	32	35	38	40	43	45	47	49	51	52	54	56	57	59	60	62	63	66	68	71	73	75	77
16	31	34	37	39	42	44	46	48	50	51	53	55	56	58	59	61	62	64	67	69	71	74	76
18	31	34	36	39	41	43	45	47	49	51	52	54	55	57	58	59	61	63	66	68	70	72	74
20	30	33	36	38	40	43	45	46	48	50	51	53	54	56	57	59	60	62	65	67	69	71	73
22	30	33	35	38	40	42	44	46	47	49	51	52	54	55	56	58	59	62	64	66	68	70	72
24	29	32	35	37	39	41	43	45	47	49	50	52	53	54	56	57	58	61	63	65	67	69	71
25	29	32	35	37	39	41	43	45	47	48	50	51	53	54	55	57	58	60	63	65	67	69	71
30	28	31	34	36	38	40	42	44	45	47	49	50	51	53	54	55	57	59	61	63	65	67	69
35	28	31	33	35	37	39	41	43	44	46	47	49	50	52	53	54	55	58	60	62	64	67	68
40	27	30	32	35	37	39	40	42	44	45	47	48	49	51	52	53	54	57	59	61	63	65	66
45	27	29	32	34	36	38	40	41	43	44	46	47	48	50	51	52	53	56	58	60	62	63	65
50	26	29	31	34	35	37	39	41	42	44	45	46	48	49	50	51	53	55	57	59	61	63	64
55	26	29	31	33	35	37	39	40	42	43	44	46	47	48	50	51	52	54	56	58	60	62	63
60	26	28	31	33	35	36	38	40	41	43	44	45	47	48	49	50	51	53	55	57	59	61	63
65	25	28	30	32	34	36	38	39	41	42	43	45	46	47	48	50	51	53	55	57	58	60	62
70	25	28	30	32	34	36	37	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	52	54	56	58	60	61
75	25	27	30	32	33	35	37	38	40	41	43	44	45	46	47	49	50	52	54	56	57	59	61
80	25	27	29	31	33	35	37	38	39	41	42	43	45	46	47	48	49	51	53	55	57	58	60
85	24	27	29	31	33	35	36	38	39	41	42	43	44	45	47	46	49	51	53	55	56	58	60
90	24	27	29	31	33	34	36	37	39	40	41	43	44	45	46	47	48	50	52	54	56	57	59
95	24	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	42	44	45	46	47	48	50	52	54	55	57	59
100	24	26	28	30	32	34	35	37	38	40	41	42	43	44	46	47	48	50	51	53	55	57	58

CONTINUA ...

Exemplo : Para H = 22m e Q = 0,375 m<sup>3</sup>/s : D = 52cm

CÁLCULO DO DIÂMETRO (cm) PELA FÓRMULA DE BONDSCU

$$D_e = 123,7 \sqrt[3]{\frac{Q^3}{H}}$$

TABELA 4.2.1.8/II

CONTINUAÇÃO

H (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)																													
	0,850	0,900	0,950	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	1,500	1,600	1,700	1,800	1,900	2,000	2,100	2,200	2,300	2,400	2,500	2,600	2,700	2,800	2,900	3,000						
2	105	107	110	112	117	121	125	129	133	137	141	144	148	151	154	157	160	163	166	169	171	174	177	179						
4	95	97	99	101	106	110	114	117	121	124	127	131	134	137	139	142	145	148	150	153	155	158	160	162						
6	89	92	94	96	100	104	107	111	114	117	120	123	126	129	132	134	137	139	142	144	147	149	151	153						
8	86	88	90	92	96	99	103	106	109	112	115	118	121	124	126	129	131	134	136	138	141	143	145	147						
10	83	85	87	89	93	96	100	103	106	109	112	115	117	120	122	125	127	130	132	134	136	138	141	143						
12	81	83	85	87	90	94	97	100	103	106	109	112	114	117	119	122	124	126	128	131	133	135	137	139						
14	79	81	83	85	88	92	95	98	101	104	107	109	112	114	117	119	121	123	126	128	130	132	134	136						
16	78	80	81	83	87	90	93	96	99	102	105	107	110	112	114	117	119	121	123	125	127	129	131	133						
18	76	78	80	82	85	89	92	95	97	100	103	105	108	110	112	115	117	119	121	123	125	127	129	131						
20	75	77	78	81	84	87	90	93	95	98	101	104	106	109	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129						
22	74	76	77	80	83	86	89	92	94	97	100	102	105	107	109	112	114	116	118	120	122	124	126	127						
24	73	75	77	79	82	85	88	91	93	96	99	101	103	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126						
25	73	75	76	78	81	84	87	90	92	95	98	100	103	105	107	110	112	114	116	118	120	121	123	125						
30	71	73	74	76	79	82	85	88	90	93	95	98	100	102	105	107	109	111	113	115	116	118	120	122						
35	69	71	73	74	78	80	83	86	88	91	93	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	117	119						
40	68	70	71	73	76	79	82	84	87	89	91	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	115	117						
45	67	69	70	72	75	78	80	83	85	87	90	92	94	97	99	101	103	105	106	108	110	112	113	115						
50	66	68	69	71	74	76	79	82	84	86	89	91	93	95	97	99	101	103	105	107	108	110	112	113						
55	65	67	68	70	73	75	78	81	83	85	88	90	92	94	96	98	100	102	103	105	107	108	110	112						
60	64	66	67	69	72	75	77	80	82	84	87	89	91	93	95	97	98	100	102	104	105	107	109	110						
65	64	65	67	68	71	74	76	79	81	83	86	88	90	92	94	96	98	100	102	103	104	106	108	109						
70	63	64	66	67	70	73	75	78	80	82	85	87	89	91	93	95	96	100	102	103	105	106	108	108						
75	62	64	65	67	70	72	75	77	79	81	84	86	88	90	92	94	95	99	101	102	104	105	107	107						
80	62	63	65	66	69	72	74	76	78	80	83	85	87	89	91	93	95	96	98	100	101	103	104	106						
85	61	63	64	66	68	71	72	76	78	80	83	84	87	89	91	93	94	97	99	100	102	103	105	105						
90	61	62	64	65	68	70	73	75	77	79	82	83	86	88	90	91	94	95	98	99	101	102	103	104						
95	60	62	63	65	67	70	72	74	76	78	81	82	85	87	89	90	93	94	96	97	99	100	102	103						
100	60	61	63	64	67	69	72	74	76	78	81	82	84	86	88	90	92	93	95	96	98	100	101	103						

Exemplo: Para H = 30m e Q = 3 l/s

#### 4.2.1.8.2 Variação de Pressão no Interior de uma Tubulação Forçada - Golpe de Aríete

A pressão normal no interior de uma tubulação forçada sofre variações quando há mudanças súbitas de descarga. Essas mudanças são resultantes de fechamentos ou aberturas rápidas, parciais ou totais, do dispositivo de fechamento da turbina.

As variações de pressão podem ser positivas ou negativas, conforme o engolimento da turbina diminua ou aumente repentinamente. Atuam em todos os pontos da tubulação forçada situados entre a turbina e a boca livre da tubulação, situada na tomada d'água, câmara de carga ou na chaminé de equilíbrio.

Para o projeto de uma tubulação forçada devem ser conhecidos os valores da sobrepressão e da depressão, decorrentes do golpe de aríete, em relação à pressão normal estática. O valor da sobrepressão é necessário para o dimensionamento da espessura da tubulação, para suportar a pressão interna e o da depressão para verificar se a linha piezométrica, durante o golpe de aríete, não corta a tubulação, a fim de evitar pressões negativas no interior desta. Pressões negativas (vácuo) na tubulação podem provocar colapso por afundamento das suas paredes, o que obriga a um reforço nas paredes da tubulação ou a instalação de dispositivos que eliminem essas pressões.

Os valores da sobrepressão e da depressão podem ser determinados através do método desenvolvido por Allievi.

##### . Método de Allievi

Este é o método clássico para o cálculo da sobrepressão e da depressão para tubulações com uniformidade de espessura de paredes e de diâmetro interno, e baseia-se nas seguintes fórmulas:

$$h_s = (Z^2 - 1) H$$

onde:

$h_s$  = sobrepressão ou depressão, em m

$H$  = queda bruta, em m

$Z^2$  = parâmetro obtido através de dois gráficos, de autoria de Allievi, com dupla entrada dos parâmetros  $\rho$  e  $\theta$ . O primeiro gráfico destina-se à determinação de  $Z^2$  para a sobrepressão e o segundo para a depressão (ANEXOS 4.2.1.8/A e 4.2.1.8/B).

Limite máximo para sobrepressão:  $h_s = 0,35 H$

Com a finalidade de facilitar a determinação dos valores de  $Z^2$ , normalmente tirados diretamente dos gráficos de Allievi, com interpolações difíceis, foram preparadas duas curvas e duas tabelas, onde facilmente se obtêm esses valores. (ANEXOS 4.2.1.8/A e B, TABELAS 4.2.1.8/III e IV). Essas curvas ou tabelas apresentam os valores de  $Z^2$  para a sobrepressão e para a depressão em função da relação  $\rho/\theta$ .

$$\frac{\rho}{\theta} = \frac{vL}{gHt}$$

onde:

$\rho$  = constante da tubulação forçada

$\theta$  = número de intervalos de tempo de propagação da onda de pressão contidos no tempo  $t$

$v$  = velocidade da água no interior da tubulação forçada, em m/s

$L$  = comprimento da tubulação forçada, em m

$g$  = aceleração da gravidade =  $9,81 \text{ m/s}^2$

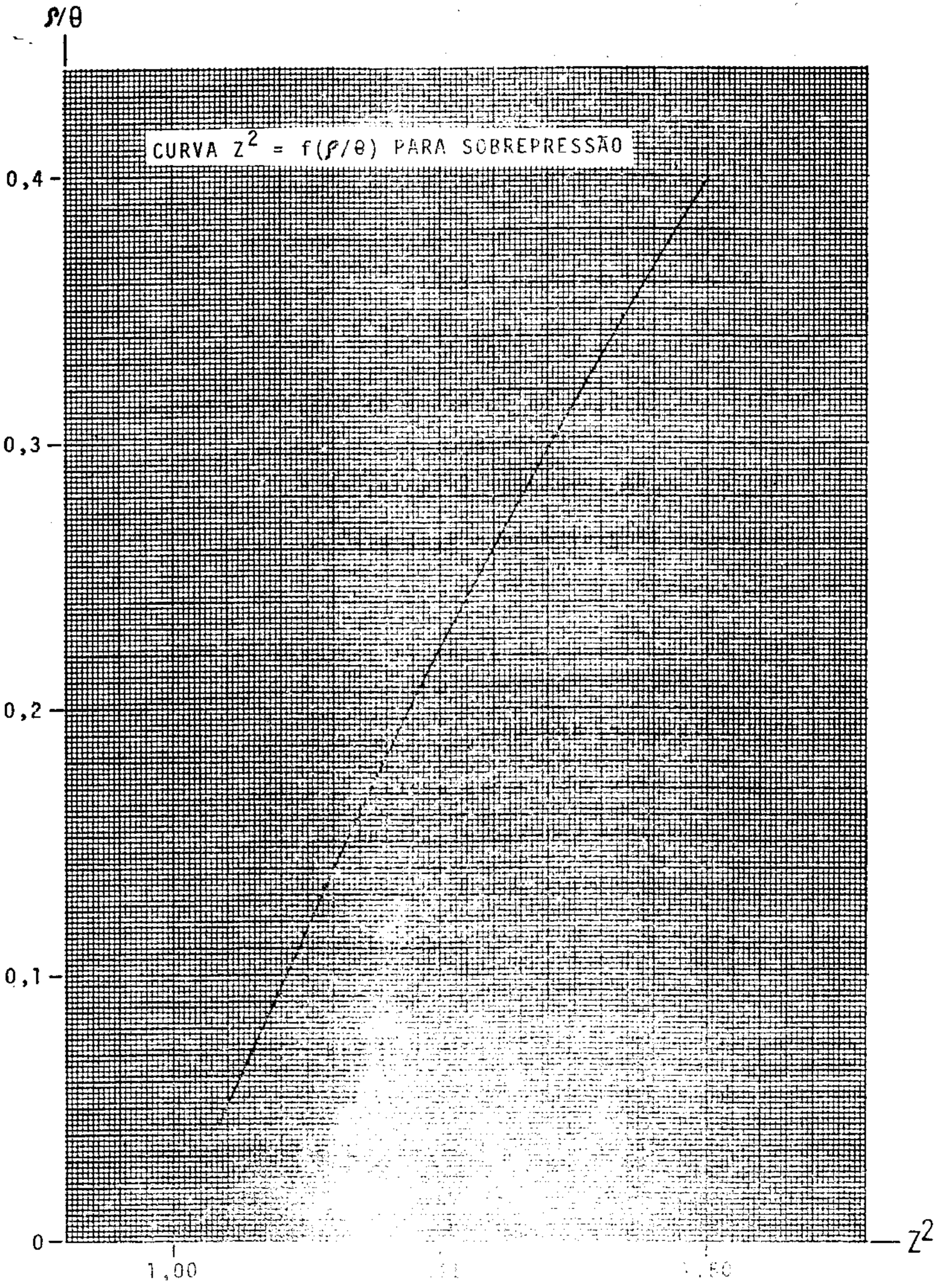
$H$  = queda bruta, em m

$t$  = tempo de fechamento do órgão de controle do engolimento, em segundos

Na falta de informações, adote-se:

$t = 6$  segundos para tubulações curtas ( $L \leq 3H$ )

$t = 10$  segundos para tubulações longas ( $L > 3H$ )



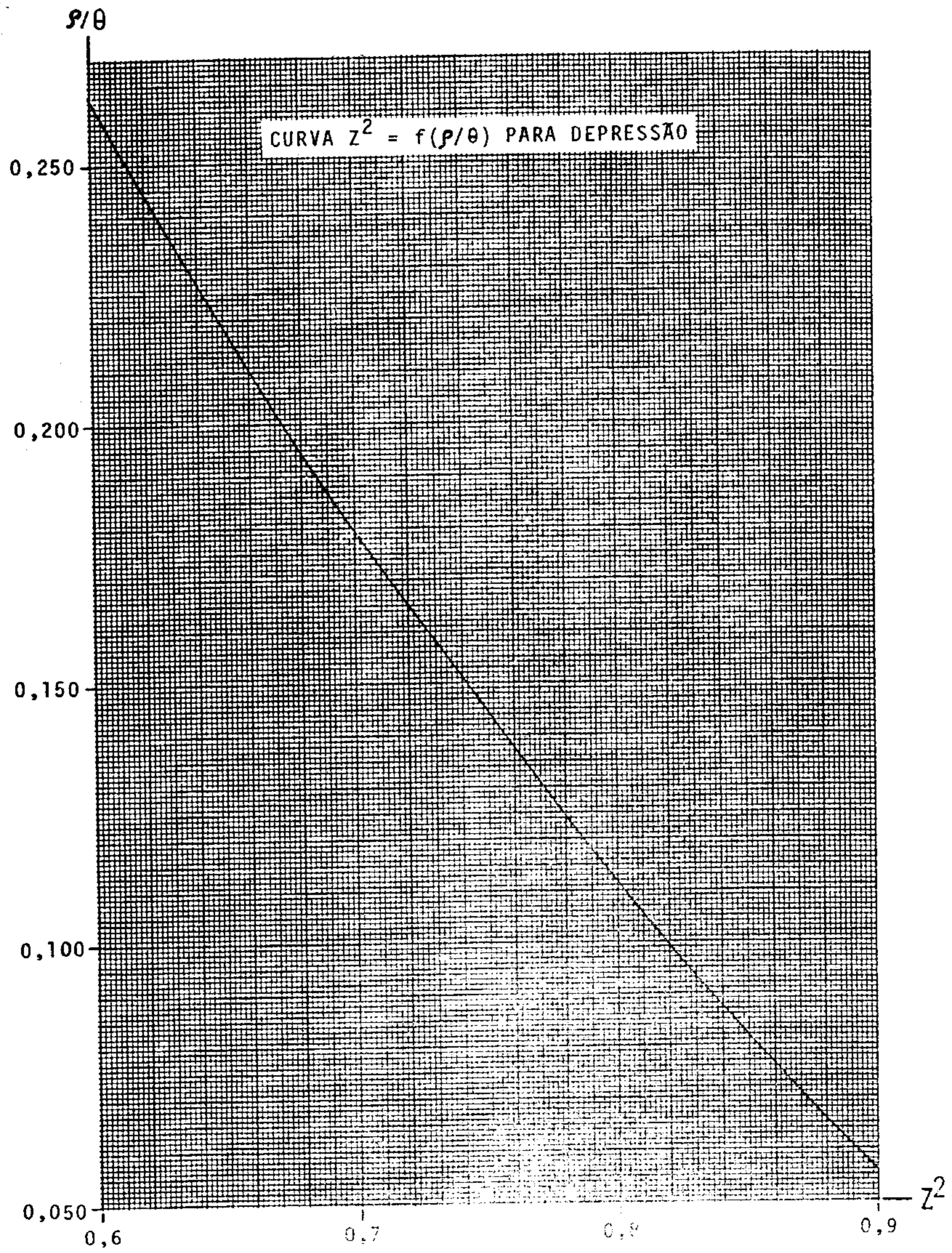
SOBREPRESSÃO  $+h_s$  EM PORCENTAGEM DA QUEDA BRUTA H

TABELA 4.2.1.8/III

$P/\theta$	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,040	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,7	4,8
0,050	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,8	5,9
0,060	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	7,0
0,070	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	8,0	8,1
0,080	8,2	8,3	8,4	8,5	8,7	8,8	8,9	9,0	9,1	9,2
0,090	9,3	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10,0	10,2	10,3	10,4
0,100	10,5	10,6	10,7	10,8	11,0	11,1	11,2	11,3	11,4	11,5
0,110	11,6	11,7	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6
0,120	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,7	13,8
0,130	13,9	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,6	14,7	14,8	14,9
0,140	15,0	15,1	15,2	15,3	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9	16,0
0,150	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,9	17,0	17,1	17,2
0,160	17,3	17,4	17,6	17,7	17,8	17,9	18,0	18,1	18,3	18,4
0,170	18,5	18,6	18,7	18,8	19,0	19,1	19,2	19,3	19,4	19,5
0,180	19,7	19,8	19,9	20,0	20,1	20,3	20,4	20,5	20,6	20,8
0,190	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4	21,5	21,7	21,8	21,9	22,1
0,200	22,2	22,3	22,4	22,6	22,7	22,8	22,9	23,1	23,2	23,3
0,210	23,5	23,6	23,7	23,8	24,0	24,1	24,2	24,4	24,5	24,6
0,220	24,7	24,9	25,0	25,1	25,3	25,4	25,5	25,7	25,8	25,9
0,230	26,1	26,2	26,3	26,4	26,6	26,7	26,8	27,0	27,1	27,2
0,240	27,4	27,5	27,6	27,8	27,9	28,0	28,2	28,3	28,4	28,6
0,250	28,7	28,8	28,9	29,1	29,2	29,3	29,5	29,6	29,7	29,9
0,260	30,0	30,1	30,3	30,4	30,5	30,7	30,8	30,9	31,1	31,2
0,270	31,3	31,4	31,6	31,7	31,8	32,0	32,1	32,2	32,4	32,5
0,280	32,6	32,8	32,9	33,0	33,2	33,3	33,4	33,6	33,7	33,8
0,290	33,9	34,1	34,2	34,3	34,5	34,6	34,7	34,9	35,0	-

4.2.1.8/B

ANEXO





DEPRESSÃO  $-h_s$  EM PERCENTAGEM DA QUEDA BRUTA H

TABELA 4.2.1.8/IV

$f/\theta$	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,050	-	-	-	-	-	-	10,0	10,2	10,4	10,6
0,060	10,8	11,0	11,2	11,4	11,6	11,8	12,0	12,2	12,4	12,6
0,070	12,8	13,0	13,2	13,3	13,5	13,7	13,9	14,1	14,3	14,4
0,080	14,6	14,8	15,0	15,2	15,4	15,5	15,7	15,9	16,1	16,2
0,090	16,4	16,6	16,8	16,9	17,1	17,3	17,5	17,6	17,8	18,0
0,100	18,2	18,3	18,5	18,7	18,8	19,0	19,2	19,3	19,5	19,7
0,110	19,8	20,0	20,2	20,3	20,5	20,6	20,8	20,9	21,1	21,2
0,120	21,4	21,5	21,7	21,8	22,0	22,1	22,3	22,4	22,6	22,7
0,130	22,9	23,0	23,2	23,3	23,5	23,6	23,8	23,9	24,1	24,2
0,140	24,4	24,5	24,7	24,8	25,0	25,1	25,3	25,4	25,6	25,7
0,150	25,8	26,0	26,1	26,3	26,4	26,6	26,7	26,8	27,0	27,1
0,160	27,3	27,4	27,6	27,7	27,9	28,0	28,1	28,3	28,4	28,6
0,170	28,7	28,9	29,0	29,1	29,3	29,4	29,6	29,7	29,9	30,0
0,180	30,1	30,3	30,4	30,5	30,7	30,8	30,9	31,0	31,2	31,3
0,190	31,4	31,6	31,7	31,8	32,0	32,1	32,2	32,3	32,5	32,6
0,200	32,7	32,9	33,0	33,1	33,2	33,4	33,5	33,6	33,7	33,9
0,210	34,0	34,1	34,2	34,3	34,5	34,6	34,7	34,8	35,0	-

#### 4.2.1.8.3 Determinação da Espessura de Parede da Tubulação Forçada

A metodologia para a determinação da espessura de parede de uma tubulação forçada é a mesma que é apresentada no item 4.2.1.5.2.

A pressão máxima interna  $p_i$  na tubulação, nesse caso, deve ser calculada considerando o golpe de aríete:

$$p_i = p + p_s$$

sendo:

$p_i$  = pressão hidrostática máxima interna, em  $\text{kgf/cm}^2$

$p$  = pressão hidrostática interna devido à altura da queda bruta  $H$ , em  $\text{kgf/cm}^2$ .

$p_s$  = sobrepressão hidrostática interna devido ao golpe de aríete  $h_s$ , em  $\text{kgf/cm}^2$ .

- Exemplo

Verificar a espessura de parede da tubulação forçada apresentada no Exemplo do item 4.2.2.3, sabendo-se que o tempo de fechamento para a turbina é de 6 segundos.

- Dados colhidos do Exemplo:

Queda bruta do aproveitamento	$H = 25,0 \text{ m}$
Comprimento da tubulação forçada	$L = 40,0 \text{ m}$
Diâmetro interno da tubulação forçada	$D = 901,7 \text{ mm}$
Velocidade da água no interior da tubulação forçada	$v = 4,70 \text{ m/s}$

Deduzidas as perdas  $h'_1$ ,  $h'_g$  e  $h'_a$  relativas ao canal de adução, a queda bruta em relação ao N.A. da câmara de carga da tubulação será:

$$H_1 = 25,0 - 0,012 - 0,044 - 0,325 = 24,619 \text{ m}$$

- Cálculo da sobrepressão e depressão

Para  $t = 6 \text{ s}$ :

$$\frac{f}{\theta} = \frac{vL}{gH_1 t} = \frac{4,70 \times 40}{9,81 \times 24,619 \times 6} = 0,130$$

Entrando-se nas TABELAS 4.2.1.8/III e IV com o parâmetro  $f/\theta = 0,130$ , encontra-se:

Sobrepessão:  $+ h_s = 13,9\%$  de  $H_1 = + 3,422$  m

Depressão :  $- h_s = 22,9\%$  de  $H_1 = - 5,638$  m

- Cálculo da espessura de parede da tubulação forçada

$$e = \frac{p_i D}{2G_f k_f} + e_s$$

onde:

$$p_i = H_1 + h_s = 24,619 + 3,422 = 28,041 \text{ m de coluna d'água}$$

$$p_i = 28,041 \text{ tf/m}^2 = 2,804 \text{ kgf/cm}^2$$

$$D = 901,7 \text{ mm}$$

$$G_f = 1400 \text{ kgf/cm}^2$$

$$k_f = 0,8$$

$$e_s = 1,00 \text{ mm}$$

$$e = \frac{2,804 \times 901,7}{2 \times 1400 \times 0,8} + 1,00 = 2,13 \text{ mm}$$

Espessura mínima:

$$e_{\min} = \frac{D + 508}{400} = \frac{901,7 + 508}{400} = 3,52 \text{ mm}$$

Pelos valores encontrados para  $e$  e  $e_{\min}$ , conclui-se que a espessura mínima permissível de 4,76 mm (3/16") foi adotada corretamente para a espessura de parede da tubulação forçada do Exemplo do item 4.2.2.3.

De acordo com a metodologia apresentada no item 4.2.1.5.2 deve ser calculado o diâmetro da tubulação de aeração para prevenção de colapso.

$$P_c = 882.500 \left(\frac{e}{D}\right)^3 = 0,3082 \text{ kgf/cm}^2$$

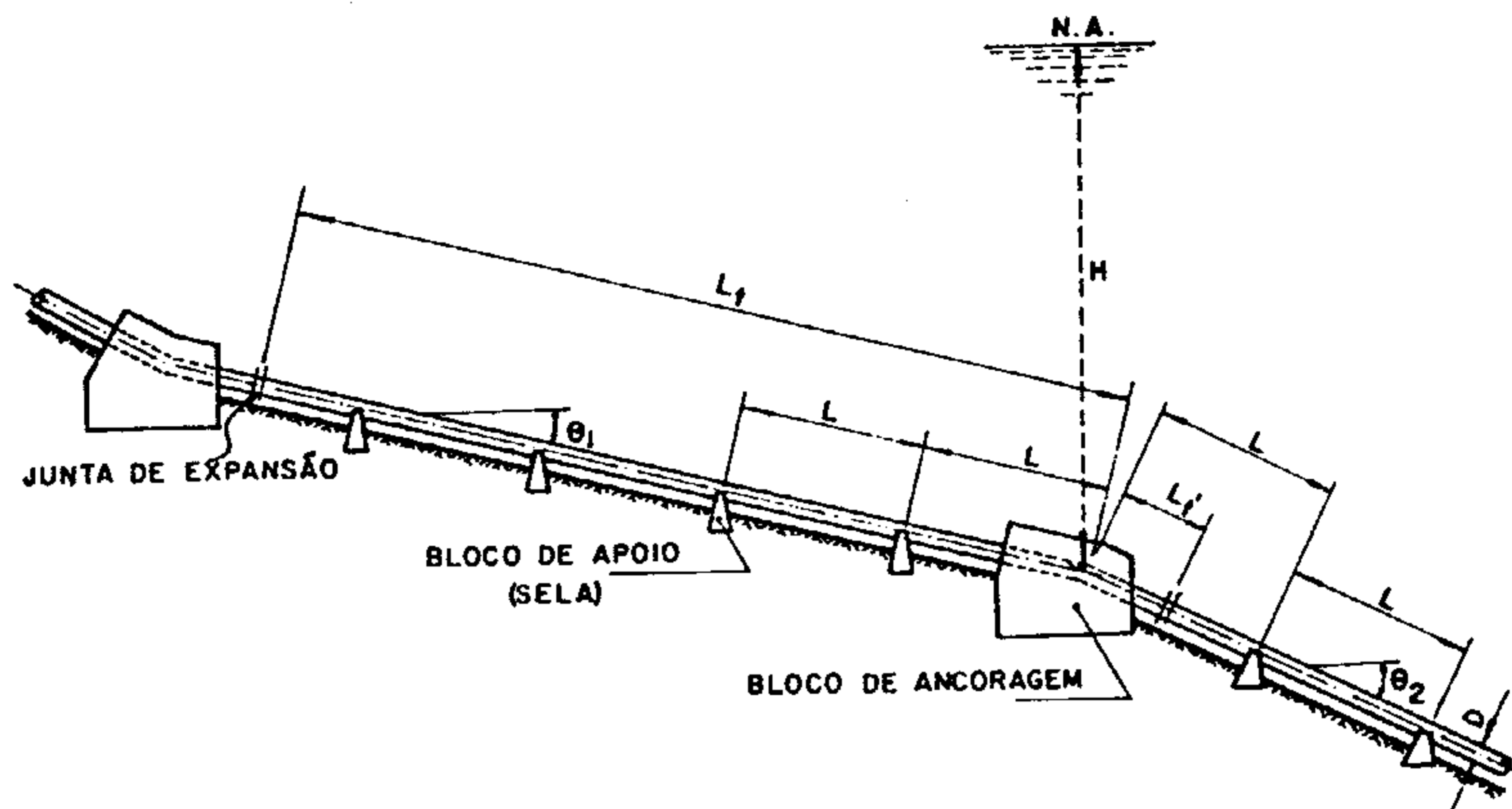
O diâmetro da tubulação da aeração será de:

$$d = 7,47 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{P_c}}} = 7,47 \sqrt{\frac{3}{\sqrt{0,3082}}} = 17,36 \text{ cm}$$

Portanto, adotar tubo de 8"  $\emptyset$  (bitola normal) = 20,3 cm  $\emptyset$ , tubo de fabricação padronizada de diâmetro mais próximo a 17,36 cm.

#### 4.2.1.8.4 Blocos de Apoio e de Ancoragem

A tubulação que aduz a água desde a tomada d'água até às máquinas deve ser instalada sobre blocos de apoio e de ancoragem. Os primeiros dão o necessário apoio à tubulação, permitindo seu deslizamento livre sobre eles e são geralmente construídos com espaçamentos iguais entre si. Os segundos têm a função de absorver os esforços longitudinais desenvolvidos na tubulação e são construídos em trechos retos longos e em pontos de mudanças de direção.



DIMENSÕES BÁSICAS

FIGURA 4.2.1.8/1

1 - Blocos de Apoio ou Selas

A) Dimensionamento do Bloco de Apoio (sela)

Foram dimensionadas 220 selas para tubulações de aço com 0,15 m a 1,20 m de diâmetro, de 0,05 m em 0,05 m de intervalos, com inclinações entre  $0^\circ$  e  $45^\circ$  e variação de  $5^\circ$  em  $5^\circ$ , em 3 tipos diferentes.

O ANEXO 4.2.1.8/C apresenta os tipos e as dimensões das selas e a TABELA 4.2.1.8/V dá os valores dos espaçamentos das mesmas.

Os estudos de dimensionamento acima foram feitos tendo como base as seguintes condições:

- Espaçamentos entre selas, normais de construção, equivalentes a uma relação entre flexa máxima e vão livre, em posição horizontal, de 1:65.000.
- Tubulações de aço com 6,35 mm (1/4") de espessura de parede (chapa).
- Tensões na base da sela, sempre de compressão, quer na face de montante como na face de jusante, com o limite máximo de 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> em qualquer uma das faces e o limite máximo médio entre as tensões nas faces, de aproximadamente 1,10 kgf/cm<sup>2</sup>.
- Coeficiente de deslizamento máximo  $-0,75 \leq \frac{-H}{V}$  ou  $\frac{+H}{V} \leq +0,75$
- Coeficiente de tombamento mínimo  $-2,0 \geq \frac{M_R}{-M_T}$  ou  $\frac{M_R}{+M_T} \geq +2,00$
- Foram tomados para C<sub>2</sub> ( ver ANEXO 4.2.1.8/C) os comprimentos mínimos admitidos em concreto:  
0,04 m para tubulação de 0,15 m Ø e 0,12 m para tubulação de 1,20 m Ø. Para as tubulações de diâmetros intermediários foram adotados comprimentos interpolados para C<sub>2</sub>.

#### B) Aspectos Construtivos

Os blocos de apoio deverão ser construídos de concreto, atendendo às especificações apresentadas no item 4.2.1.1.4 relativo a barragens de concreto.

O concreto deverá ser lançado sobre uma camada de aproximadamente 15cm de brita 3, previamente apiloada.

A tubulação de aço não deve ser apoiada diretamente sobre a superfície de concreto da sela. Esta superfície deve estar separada da tubulação, de preferência, com papelão grafitado, ou outro material que permita à tubulação deslizar sobre o bloco.

As tubulações com 0,80m de diâmetro ou mais, devem ter as suas paredes reforçadas na parte inferior, na área total de contato com a sela, com um pedaço de chapa de aço de 1/4" de espessura soldada em todo o seu contorno, a fim de evitar um possível amassamento do corpo da tubulação na zona de apoio sobre a sela.

Os tipos de terreno capazes de resistir a pressões de compressão iguais ou superiores a 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> são apresentados na TABELA 4.1.3./II do item "Estudos Geológicos e Geotécnicos".

BLOCOS DE APOIO (SELAS)  
 ESPAÇAMENTO ENTRE SELAS

TABELA 4.2.1.8/V

DIÂMETRO D (m)	ESPAÇAMENTO L (m)	DIÂMETRO D (m)	ESPAÇAMENTO L (m)	DIÂMETRO D (m)	ESPAÇAMENTO L (m)
0,15	3,00	0,55	5,50	0,95	6,80
0,20	3,50	0,60	5,70	1,00	6,90
0,25	3,90	0,65	5,90	1,05	7,10
0,30	4,20	0,70	6,00	1,10	7,20
0,35	4,50	0,75	6,20	1,15	7,30
0,40	4,80	0,80	6,40	1,20	7,40
0,45	5,00	0,85	6,50	-	-
0,50	5,30	0,90	6,70	-	-

NOTAS:

- Foram adotados espaçamentos usuais de construção em tubulações, o que leva a uma relação flexão máxima/espaçamento = 1/65000

$$L = 182,61 \sqrt[3]{\frac{(D + 0,0127)^4 - D^4}{p}}$$

sendo:

D - diâmetro interno da tubulação, em m,

p - peso unitário da tubulação de aço cheia de água, em kg/m,

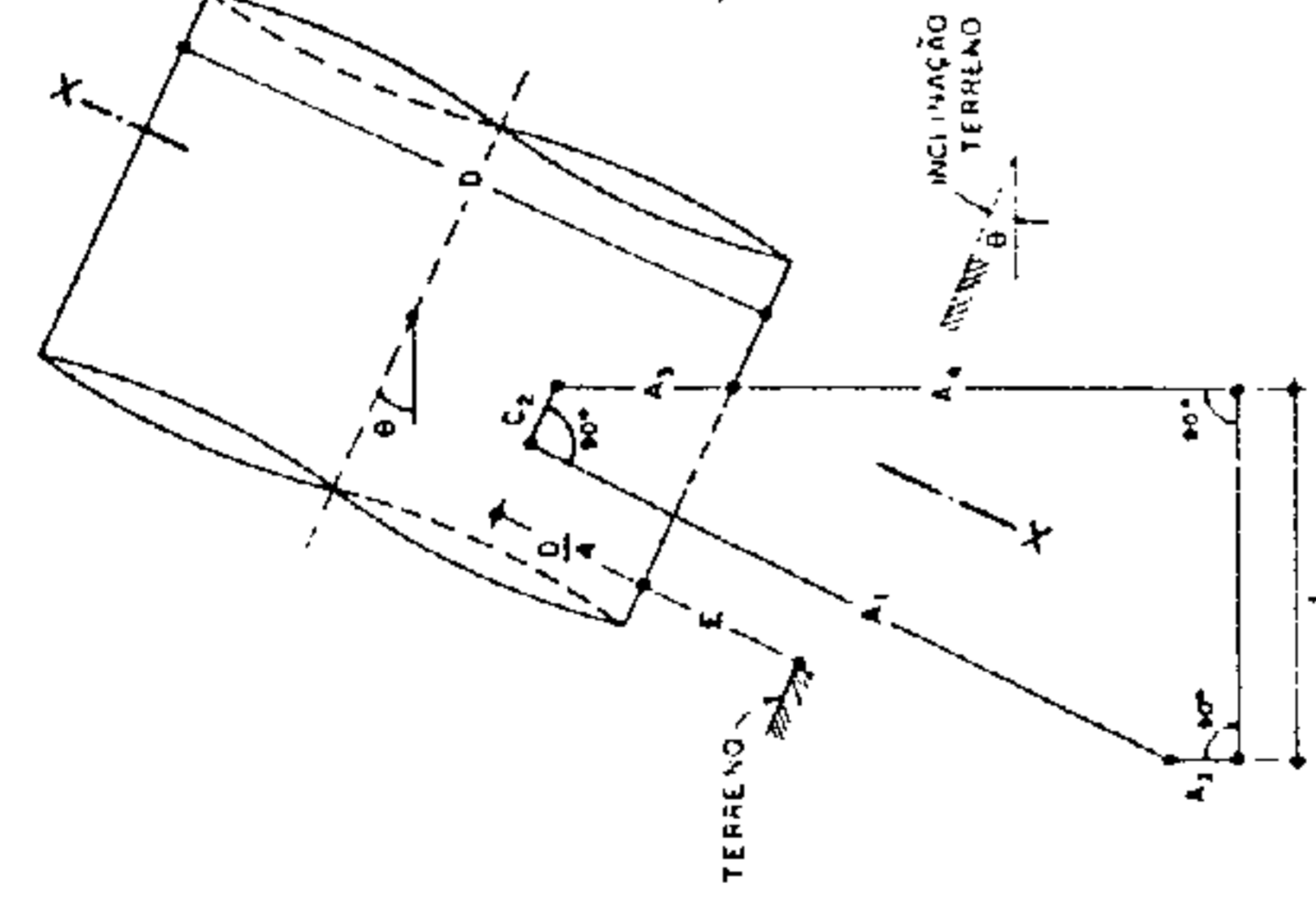
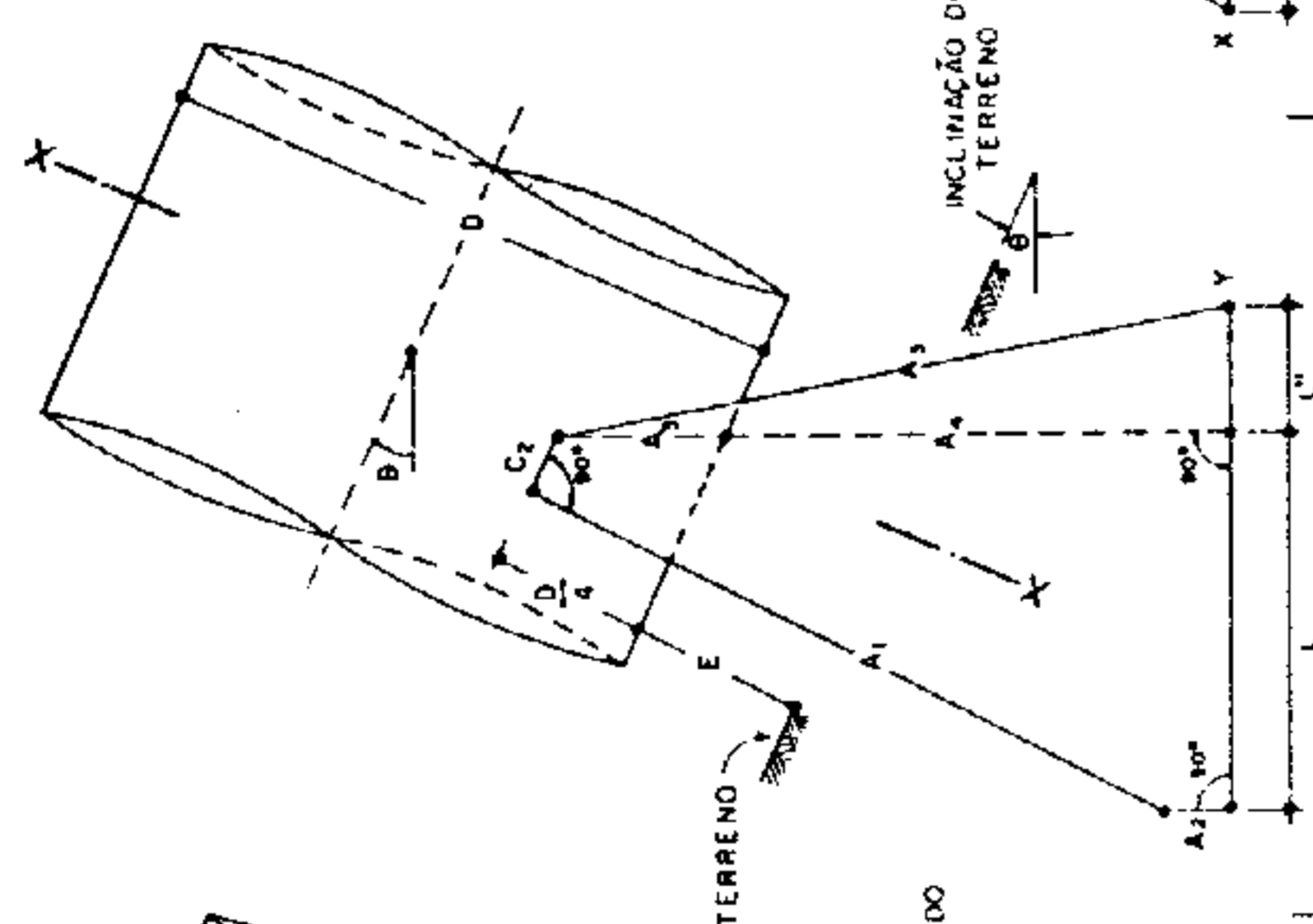
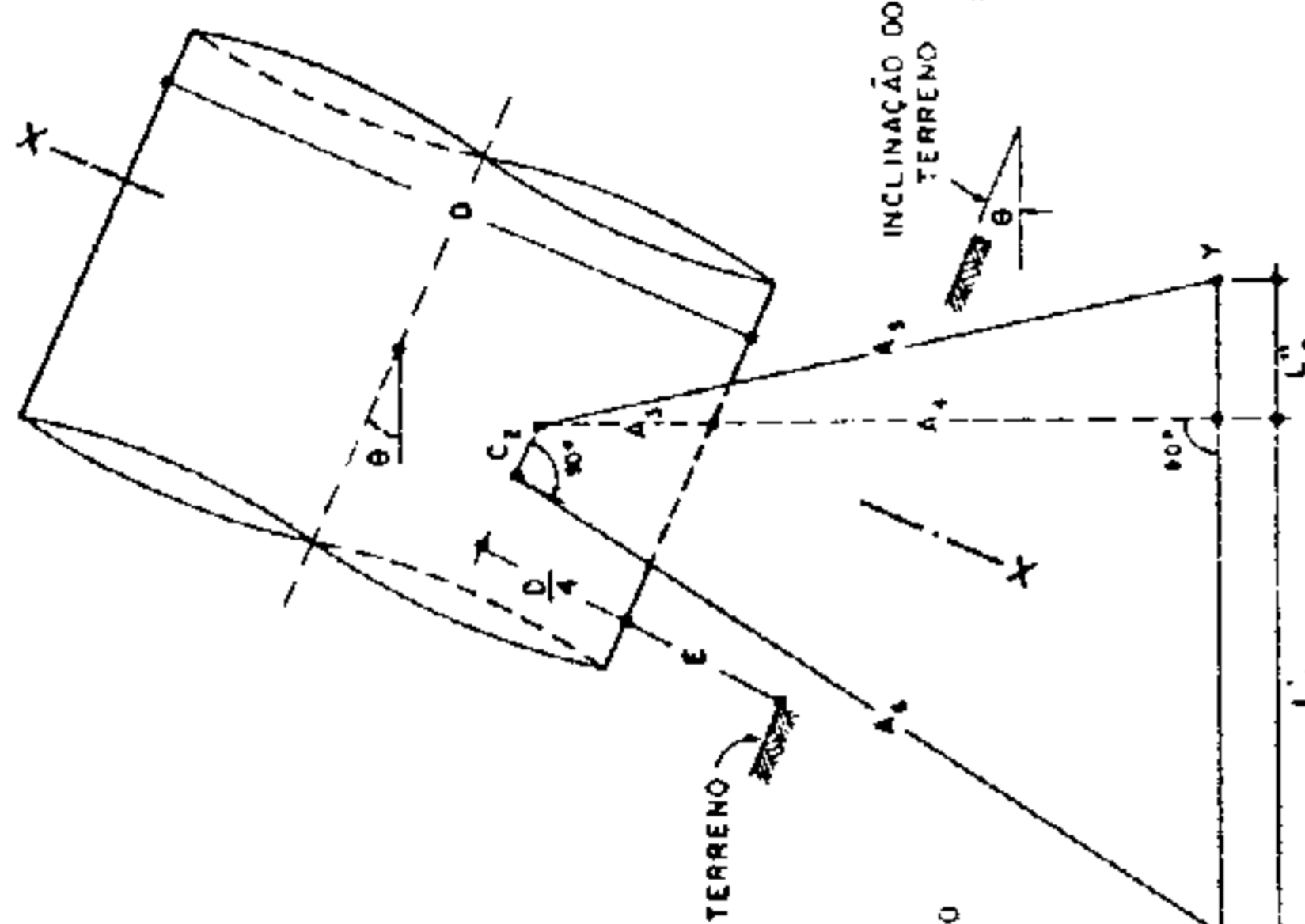
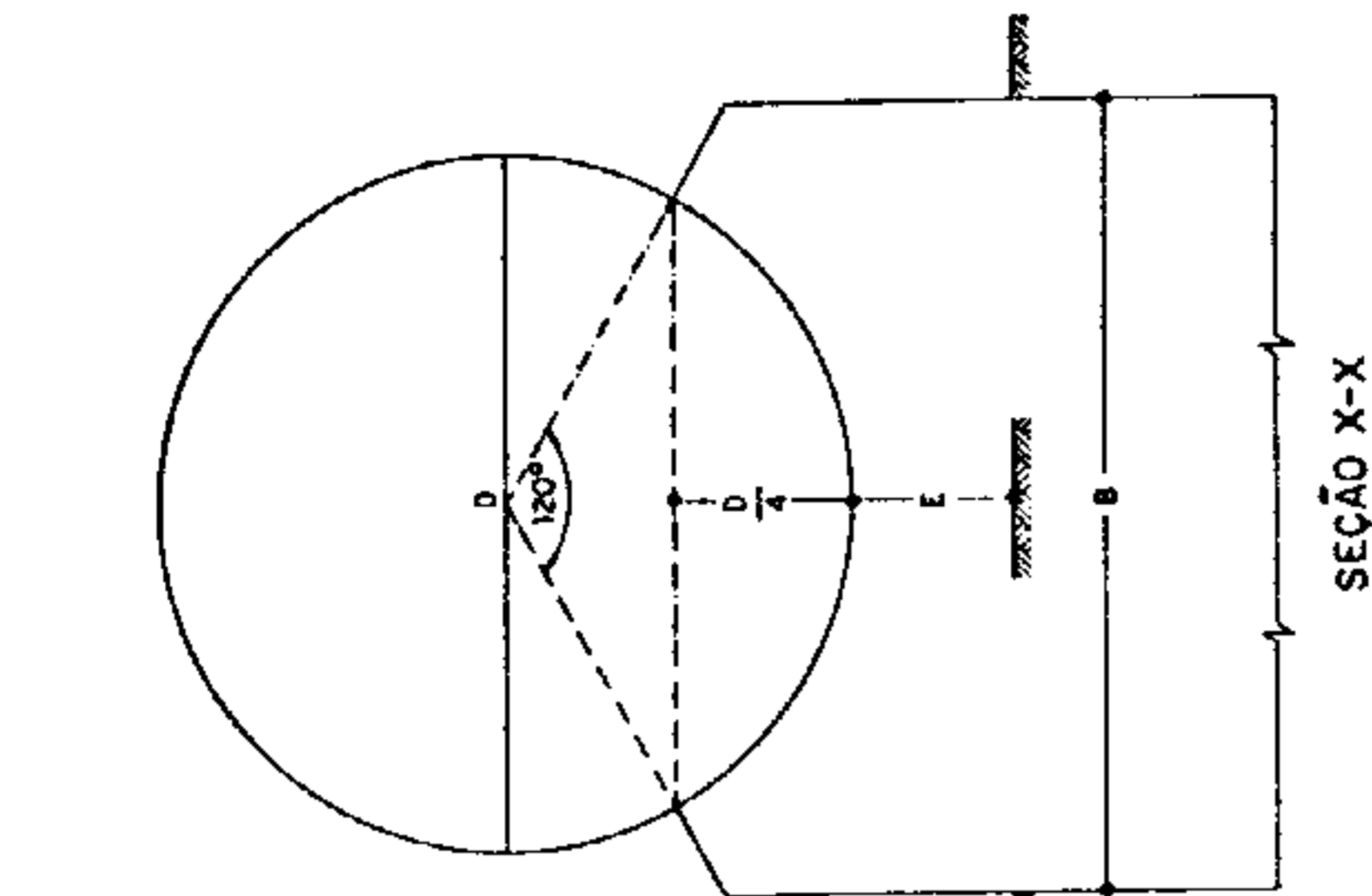
$$p = 785,4 D^2 + 156,6 D + 0,99$$

para tubulações com 6,35 mm (1/4") de espessura de parede em chapa de aço.

TIPO III -  $10^\circ \geq \theta \geq 0^\circ$

TIPO II -  $25^\circ \geq \theta \geq 10^\circ$

TIPO I -  $45^\circ \geq \theta \geq 25^\circ$



$$C_1 = (0,25 \operatorname{tg} \theta + 0,076) D + 0,029$$

$$A = 0,476D + 0,329$$

$$A_1 = 0,5 (C_1 + A \operatorname{tg} \theta) \operatorname{tg} \theta + A + \frac{D}{4}$$

$$A_2 = 0,5 (C_1 + A \operatorname{tg} \theta) \operatorname{sen} \theta$$

$$A_3 = \frac{D}{4 \cos \theta}$$

$$A_4 = \frac{A}{\cos \theta}$$

$$C_2 = 0,076D + 0,029$$

$$E = 0,238D + 0,114$$

$$B = 1,048D + 0,143$$

$$I_3 = \left( \frac{C_1 + A \operatorname{tg} \theta}{2} \right) \left( \frac{1}{\cos \theta} + \cos \theta \right)$$

$$A_5 = \frac{D + A}{\cos \theta \cos (25^\circ - \theta)}$$

$$L''_B = \frac{D + A}{\cos \theta} \operatorname{tg} (25^\circ - \theta)$$

$$A_6 = (2A_1 - A - \frac{D}{4}) \frac{\cos \theta}{\cos 15^\circ}$$

$$L'_B = (2A_1 - A - \frac{D}{4}) \frac{\operatorname{sen}(15^\circ - \theta)}{\cos 15^\circ} + (A_1 - A - \frac{D}{4}) \operatorname{sen} \theta + LB$$

DIMENSÕES BÁSICAS: D e  $\theta$   
 D em metro  
 $\theta$  em grau

BLOCO DE APOIO (SELA)  
 DIMENSIONAMENTO

NOTAS:  
 Os valores de  $\operatorname{sen}$ ,  $\cos$  e  $\operatorname{tg}$  são obtidos através das TABELAS 4.2.1.8/XXII.  
 As arestas nos pontos X e Y devem ser chanfradas durante a construção.



## 2 - Blocos de Ancoragem

Os blocos de ancoragem devem ser utilizados em longos trechos retos de tubulação, com espaçamento máximo entre si de 80 m e nos pontos de mudança de direção do alinhamento do eixo da tubulação.

### A) Dimensionamento do Bloco de Ancoragem

Os estudos de estabilidade e dimensionamento econômico dos blocos de ancoragem foram feitos tendo como base as seguintes condições:

- Espaçamentos entre selas, normais de construção, equivalentes a uma relação entre flexa máxima e vão livre, em posição horizontal, de 1:65.000.
- Tubulações de aço com 6,35 mm (1/4") de espessura de parede (chapa).
- Tensões na base do bloco, sempre de compressão, quer na face de montante como na face de jusante, com o limite máximo de 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> em qualquer uma das faces e o limite máximo médio entre as tensões das faces, de aproximadamente 1,10 kgf/cm<sup>2</sup>, na condição da tubulação em expansão
- Coeficiente de deslizamento máximo  $-0,75 \leq \frac{-H}{V}$  ou  $\frac{+H}{V} \leq +0,75$
- Coeficiente de tombamento mínimo  $-2,00 \geq \frac{M_R}{-M_T}$  ou  $\frac{M_R}{+M_T} \geq +2,00$
- Sobrepressão (Golpe de Aríete) = + 35% sobre a pressão estática da água.
- Velocidade de escoamento da água no interior da tubulação = 5 m/s (máxima permitida).
- Coeficiente de atrito na tubulação sobre as selas = 0,25.
- Coeficiente de atrito nas juntas de expansão = 500 lbs/pé = 744 kg/m.
- Não foi considerado o esforço devido à redução de diâmetro da tubulação, por se admitir tubulações com diâmetro invariável em minicentrals hidrelétricas.

As TABELAS 4.2.1.8/VI a 4.2.1.8/IX dão os valores do comprimento  $C_1$  em função dos parâmetros básicos D,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ , H e  $L_t$ .

Os claros, sem valores, apresentados nas referidas tabelas, traduzem a incompatibilidade de H com o próprio desnível entre as bocas de montante e de jusante no trecho da tubulação em projeto. Esse desnível dá o valor mínimo de H a ser considerado no dimensionamento do bloco de ancoragem.

Os ANEXOS 4.2.1.8/D e 4.2.1.8/E dão as fórmulas para calcular as dimensões dos blocos de ancoragem, respectivamente, para  $\theta_1 < \theta_2$  (convexo) e

$\theta_1 \geq \theta_2$  (côncavos e retos) em função dos parâmetros  $D$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  e  $C_1$ . Os blocos de ancoragem dimensionados dessa forma estarão de acordo com as especificações acima e terão mínimos os seus volumes de concreto, pois os valores de  $C_1$  tabelados foram otimizados para isso por computador.

#### B) Aspectos Construtivos

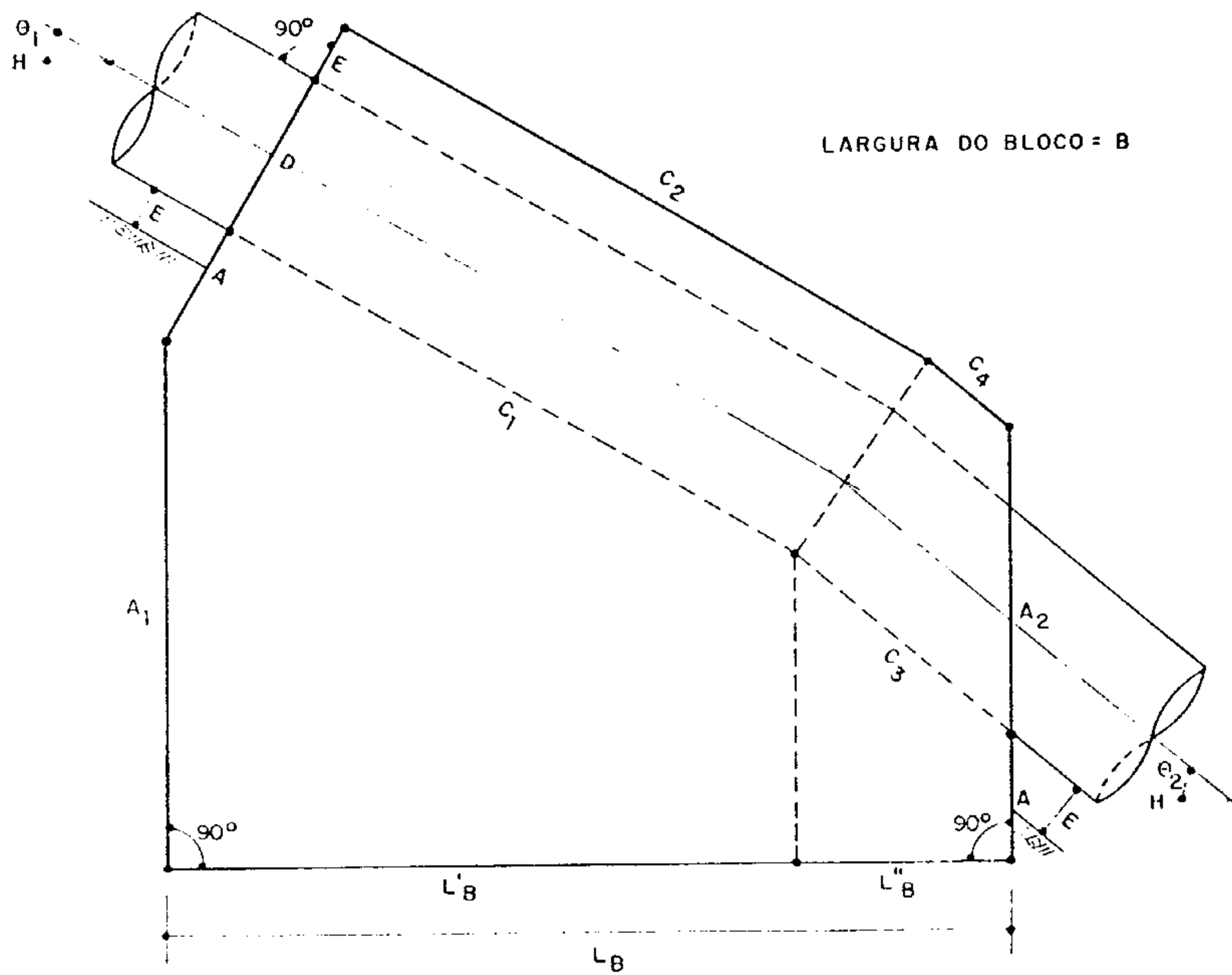
- Para as tubulações expostas ao tempo, não enterradas ou embutidas no concreto, sofrendo uma variação máxima de temperatura cerca de  $50^\circ\text{C}$  quando vazias, aconselha-se uma distância máxima de 80m entre o bloco de ancoragem e a junta de expansão de montante. Nestas condições, haverá uma expansão linear da tubulação na junta de aproximadamente 5cm, o que pode ser considerado como razoável para o trabalho de atrito que sofre o material vedante (geralmente corda alcatroada), resultando um longo período de funcionamento da junta de expansão sem transtornos, isto é, sem vazamentos e sem a necessidade de constantes reparos dos seus flanges. As juntas de expansão devem ser instaladas em cada trecho entre dois blocos de ancoragem, a uma distância aproximada de  $L_t' = 1,5 C_3$  do bloco de ancoragem de montante (ver FIGURA 4.2.1.8/1).
  - O concreto para a construção dos blocos deverá atender às especificações apresentadas no item 4.2.1.1.4 relativo a barragens de concreto. Deverá ser assentado sobre uma base de aproximadamente 15 cm de brita 3, previamente apiloada.
  - Para os blocos de ancoragem do tipo "convexo", sujeitos a empuxos ascendentes, deve-se instalar estribos de aço envolvendo a tubulação e engastados na base do bloco, a fim de reforçar a união entre a tubulação e o bloco de ancoragem no trabalho de resistência aos referidos empuxos.
  - A fim de reforçar o engastamento da tubulação no interior do bloco de ancoragem, aconselha-se dificultar um possível deslizamento entre as superfícies do aço da tubulação e do concreto do bloco, com a instalação de peças metálicas soldadas na superfície externa da tubulação, como anéis em chapa ou em perfis metálicos, vergalhões, etc.
  - Para os blocos de ancoragem de grandes volumes de concreto, a concretagem deve ser feita em duas fases distintas:
    - 1ª fase - Concretagem da base do bloco (concreto primário) com a junta de construção devidamente denteada, com os grampos destinados à montagem da tubulação, as caixas destinadas ao chumbamento dos tirantes de ancoragem e os ferros de cintagem.
    - 2ª fase - Concretagem da parte superior (concreto secundário) após a tubulação ter sido colocada em posição correta sobre a base, o que é feito com calços metálicos que ficarão embutidos no concreto e tirantes de ancoragem.
- A fim de aumentar a resistência de deslizamento entre o bloco e o terreno, aconselha-se também dentear a base do bloco de ancoragem.

BI.LOCO DE ANCORAGEM CONVEXO

4.2.1.8/D

$\theta_1 < \theta_2$   
DIMENSIONAMENTO

ANEXO



DIMENSÖES BÁSICAS:

D,  $\theta_1$  e  $\theta_2$  (D em metros)

$C_1$  = Valor dado nas TABELAS

$$A = 0,476 D + 0,329$$

$$E = 0,238 D + 0,114$$

$$B = D + 2 E$$

$$C_3 = 1,381 D + 0,243$$

$$A_1 = C_1 \text{ sen } \theta_1 + C_3 \text{ sen } \theta_2 + A (1 - \text{cos } \theta_1)$$

$$A_2 = \frac{D + E}{\text{cos } \theta_2}$$

$$C_2 = C_1 + (D + E) \text{tg } \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}$$

$$C_4 = C_3 - (D + E) (\text{tg } \theta_2 - \text{tg } \frac{\theta_2 - \theta_1}{2})$$

$$L'_B = C_1 \text{ cos } \theta_1 + A \text{ sen } \theta_1$$

$$L''_B = C_3 \text{ cos } \theta_2$$

$$L_B = L'_B + L''_B$$

NOTA: Os valores de sen, cos e tg são obtidos através das TABELAS 4.2.1.8/X a XII

VALORES DE  $C_1$  (m)  
 BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

$L_t = 30$  m

TABELA 4.2.1.8/VI

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 0^\circ$								$\theta_1 = 5^\circ$	
		$\theta_2=10^\circ$	$\theta_2=15^\circ$	$\theta_2=20^\circ$	$\theta_2=25^\circ$	$\theta_2=30^\circ$	$\theta_2=35^\circ$	$\theta_2=40^\circ$	$\theta_2=45^\circ$	$\theta_2=15^\circ$	$\theta_2=20^\circ$
5	0,2	0,79	0,82	0,86	0,91	0,96	1,01	1,07	1,13	0,87	0,91
	0,4	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,29	1,38	1,47	1,02	1,09
	0,6	0,97	1,06	1,15	1,25	1,35	1,45	1,57	1,69	1,05	1,14
	0,8	0,92	1,05	1,17	1,29	1,42	1,55	1,69	1,84	1,00	1,13
	1,0	0,83	0,99	1,14	1,29	1,44	1,60	1,77	1,95	0,91	1,07
	1,2	0,69	0,89	1,07	1,25	1,43	1,62	1,82	2,03	0,79	0,99
10	0,2	0,80	0,84	0,89	0,93	0,99	1,05	1,11	1,17	0,88	0,93
	0,4	0,97	1,05	1,12	1,20	1,28	1,36	1,45	1,55	1,05	1,13
	0,6	1,03	1,14	1,24	1,35	1,46	1,57	1,69	1,82	1,10	1,21
	0,8	1,01	1,16	1,30	1,43	1,57	1,71	1,86	2,02	1,09	1,24
	1,0	0,95	1,14	1,31	1,48	1,64	1,81	1,99	2,18	1,03	1,22
	1,2	0,85	1,08	1,29	1,48	1,68	1,88	2,09	2,31	0,94	1,17
15	0,2	0,81	0,85	0,90	0,96	1,01	1,07	1,16	1,26	0,89	0,94
	0,4	1,00	1,08	1,16	1,25	1,33	1,42	1,54	1,68	1,08	1,16
	0,6	1,08	1,20	1,32	1,43	1,55	1,67	1,79	1,96	1,15	1,28
	0,8	1,09	1,26	1,41	1,55	1,70	1,85	2,01	2,17	1,16	1,33
	1,0	1,06	1,27	1,45	1,63	1,81	1,99	2,17	2,37	1,13	1,34
	1,2	0,99	1,24	1,47	1,68	1,88	2,09	2,31	2,53	1,06	1,32
20	0,2	0,82	0,87	0,92	0,98	1,04	1,13	1,24	1,35	0,90	0,95
	0,4	1,03	1,12	1,20	1,29	1,38	1,52	1,67	1,83	1,10	1,19
	0,6	1,13	1,26	1,38	1,50	1,62	1,76	1,96	2,16	1,20	1,33
	0,8	1,16	1,34	1,50	1,66	1,81	1,96	2,17	2,41	1,23	1,41
	1,0	1,16	1,38	1,58	1,77	1,95	2,14	2,33	2,61	1,22	1,45
	1,2	1,11	1,39	1,62	1,84	2,06	2,27	2,49	2,76	1,18	1,46
25	0,2	0,83	0,88	0,94	0,99	1,09	1,20	1,36	1,54	0,91	0,96
	0,4	1,05	1,15	1,24	1,33	1,47	1,63	1,86	2,13	1,13	1,22
	0,6	1,17	1,31	1,44	1,57	1,70	1,92	2,13	2,38	1,24	1,38
	0,8	1,23	1,42	1,59	1,75	1,90	2,12	2,38	2,64	1,29	1,49
	1,0	1,24	1,48	1,69	1,88	2,07	2,27	2,57	2,87	1,30	1,55
	1,2	1,22	1,51	1,76	1,98	2,21	2,43	2,72	3,06	1,28	1,58
30	0,2	0,84	0,89	0,95	1,03	1,15	1,35	1,55	1,75	0,92	0,98
	0,4	1,08	1,18	1,27	1,39	1,57	1,88	2,18	2,49	1,15	1,25
	0,6	1,21	1,36	1,50	1,62	1,84	2,08	2,45	2,83	1,28	1,43
	0,8	1,29	1,49	1,66	1,83	2,03	2,30	2,58	2,98	1,35	1,55
	1,0	1,32	1,57	1,79	1,98	2,18	2,48	2,80	3,12	1,38	1,63
	1,2	1,32	1,62	1,88	2,11	2,34	2,62	2,98	3,34	1,38	1,69
35	0,2	0,85	0,90	0,96	1,07	1,29	1,51	1,74	1,96	0,93	0,99
	0,4	1,10	1,20	1,30	1,48	1,82	2,16	2,51	2,85	1,17	1,28
	0,6	1,25	1,41	1,54	1,72	2,02	2,44	2,86	3,28	1,31	1,47
	0,8	1,34	1,55	1,73	1,90	2,19	2,53	3,01	3,49	1,40	1,61
	1,0	1,39	1,65	1,87	2,08	2,35	2,68	3,05	3,57	1,45	1,71
	1,2	1,41	1,72	1,98	2,22	2,47	2,85	3,22	3,60	1,46	1,78
40	0,2	0,85	0,91	0,99	1,19	1,43	1,68	1,93	2,17	0,93	1,00
	0,4	1,12	1,23	1,35	1,68	2,07	2,45	2,83	3,21	1,19	1,30
	0,6	1,29	1,44	1,59	1,86	2,33	2,80	3,27	3,73	1,35	1,51
	0,8	1,39	1,61	1,79	2,03	2,41	2,95	3,48	4,00	1,45	1,67
	1,0	1,46	1,73	1,95	2,17	2,52	2,98	3,56	4,13	1,51	1,79
	1,2	1,49	1,81	2,08	2,32	2,67	3,06	3,56	4,18	1,54	1,87





VALORES DE  $C_1$  (m)  
BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

$L_t = 30$  m

(continuação)

TABELA 4.2.1.8/VI

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 25^\circ$			$\theta_1 = 30^\circ$		$\theta_1 = 35^\circ$				
		$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$				
5	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
10	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
15	0,2	1,11	1,19	1,27	1,16	1,25	*				
	0,4	1,28	1,41	1,54	1,34	1,48	*				
	0,6	1,34	1,52	1,69	1,39	1,59	*				
	0,8	1,35	1,58	1,80	1,40	1,65	*				
	1,0	1,31	1,60	1,87	1,36	1,68	*				
	1,2	1,25	1,59	1,90	1,30	1,74	*				
20	0,2	1,12	1,20	1,29	1,18	1,27	1,23				
	0,4	1,31	1,45	1,58	1,37	1,52	1,43				
	0,6	1,39	1,58	1,77	1,45	1,66	1,51				
	0,8	1,42	1,67	1,90	1,47	1,75	1,54				
	1,0	1,41	1,71	2,00	1,46	1,80	1,53				
	1,2	1,37	1,73	2,07	1,42	1,82	1,66				
25	0,2	1,14	1,22	1,31	1,19	1,28	1,25				
	0,4	1,34	1,48	1,62	1,40	1,56	1,46				
	0,6	1,44	1,64	1,84	1,50	1,72	1,57				
	0,8	1,48	1,75	2,00	1,54	1,83	1,62				
	1,0	1,49	1,82	2,12	1,55	1,91	1,63				
	1,2	1,48	1,86	2,22	1,53	1,95	1,74				
30	0,2	1,15	1,23	1,33	1,20	1,30	1,26				
	0,4	1,37	1,52	1,66	1,43	1,59	1,49				
	0,6	1,48	1,70	1,90	1,54	1,78	1,62				
	0,8	1,54	1,82	2,08	1,61	1,92	1,69				
	1,0	1,57	1,91	2,23	1,64	2,01	1,72				
	1,2	1,57	1,98	2,35	1,64	2,08	1,81				
35	0,2	1,16	1,25	1,34	1,21	1,32	1,27				
	0,4	1,39	1,55	1,70	1,45	1,63	1,52				
	0,6	1,52	1,75	1,96	1,59	1,84	1,67				
	0,8	1,60	1,89	2,16	1,67	1,99	1,75				
	1,0	1,65	2,00	2,33	1,72	2,11	1,81				
	1,2	1,67	2,09	2,47	1,74	2,20	1,87				
40	0,2	1,17	1,26	1,36	1,22	1,33	1,29				
	0,4	1,41	1,58	1,74	1,48	1,66	1,55				
	0,6	1,56	1,79	2,01	1,63	1,89	1,71				
	0,8	1,66	1,96	2,24	1,73	2,06	1,82				
	1,0	1,72	2,09	2,42	1,79	2,20	1,89				
	1,2	1,75	2,19	2,58	1,83	2,31	1,93				





VALORES DE  $C_1$  (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

$L_t = 60\text{m}$

TABELA 4.2.1.8/VII

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 5^\circ$					$\theta_1 = 10^\circ$				
		$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	1,49	1,53	1,57	1,62	1,68	*	*	*	*	*
	0,4	1,91	1,97	2,04	2,12	2,20	*	*	*	*	*
	0,6	2,19	2,27	2,37	2,47	2,58	*	*	*	*	*
	0,8	2,39	2,49	2,61	2,74	2,88	*	*	*	*	*
	1,0	2,53	2,66	2,81	2,96	3,13	*	*	*	*	*
	1,2	2,63	2,79	2,96	3,14	3,33	*	*	*	*	*
15	0,2	1,49	1,53	1,57	1,62	1,68	1,50	1,54	1,58	1,62	1,68
	0,4	1,92	1,98	2,05	2,13	2,22	1,87	1,93	2,00	2,07	2,15
	0,6	2,21	2,30	2,40	2,50	2,62	2,10	2,19	2,28	2,38	2,49
	0,8	2,43	2,54	2,67	2,80	2,95	2,25	2,37	2,49	2,62	2,76
	1,0	2,59	2,73	2,88	3,05	3,22	2,35	2,50	2,65	2,81	2,98
	1,2	2,71	2,88	3,06	3,25	3,46	2,42	2,59	2,77	2,96	3,16
20	0,2	1,49	1,53	1,57	1,63	1,69	1,50	1,54	1,58	1,63	1,68
	0,4	1,92	1,99	2,07	2,15	2,24	1,88	1,94	2,01	2,08	2,17
	0,6	2,23	2,32	2,43	2,54	2,66	2,11	2,20	2,30	2,41	2,53
	0,8	2,46	2,59	2,72	2,86	3,01	2,28	2,40	2,53	2,67	2,82
	1,0	2,64	2,80	2,96	3,13	3,31	2,39	2,55	2,71	2,88	3,06
	1,2	2,79	2,97	3,16	3,35	3,56	2,47	2,66	2,85	3,05	3,26
25	0,2	1,48	1,53	1,58	1,71	1,85	1,50	1,54	1,58	1,63	1,69
	0,4	1,93	2,00	2,08	2,24	2,47	1,88	1,94	2,02	2,10	2,19
	0,6	2,25	2,35	2,45	2,57	2,77	2,13	2,22	2,33	2,44	2,56
	0,8	2,50	2,63	2,76	2,91	3,11	2,30	2,43	2,57	2,71	2,87
	1,0	2,69	2,85	3,02	3,20	3,39	2,42	2,59	2,76	2,94	3,13
	1,2	2,85	3,04	3,24	3,45	3,66	2,51	2,72	2,92	3,13	3,35
30	0,2	1,48	1,53	1,69	1,85	2,02	1,50	1,54	1,58	1,63	1,69
	0,4	1,94	2,01	2,24	2,50	2,76	1,88	1,95	2,02	2,11	2,20
	0,6	2,27	2,37	2,49	2,79	3,11	2,14	2,24	2,35	2,46	2,59
	0,8	2,53	2,66	2,80	3,02	3,27	2,32	2,46	2,60	2,75	2,91
	1,0	2,74	2,91	3,08	3,29	3,58	2,45	2,63	2,81	3,00	3,19
	1,2	2,92	3,11	3,32	3,53	3,84	2,55	2,77	2,99	3,21	3,43
35	0,2	1,48	1,63	1,82	2,00	2,18	1,50	1,54	1,58	1,63	1,76
	0,4	1,94	2,18	2,47	2,75	3,04	1,89	1,96	2,03	2,12	2,35
	0,6	2,28	2,39	2,75	3,11	3,47	2,15	2,25	2,37	2,49	2,64
	0,8	2,56	2,70	2,90	3,28	3,69	2,34	2,49	2,64	2,79	2,96
	1,0	2,78	2,95	3,15	3,45	3,80	2,49	2,67	2,86	3,05	3,25
	1,2	2,97	3,18	3,38	3,70	4,04	2,60	2,82	3,05	3,27	3,51
40	0,2	1,54	1,74	1,94	2,15	2,35	1,50	1,54	1,58	1,68	1,87
	0,4	2,04	2,37	2,68	3,00	3,32	1,89	1,96	2,04	2,25	2,55
	0,6	2,30	2,63	3,03	3,43	3,83	2,16	2,27	2,39	2,51	2,87
	0,8	2,59	2,75	3,19	3,65	4,11	2,36	2,51	2,67	2,83	3,07
	1,0	2,83	3,00	3,29	3,75	4,25	2,51	2,71	2,90	3,10	3,35
	1,2	3,03	3,24	3,51	3,88	4,32	2,63	2,87	3,10	3,34	3,58

VALORES DE  $C_1$  (m)  
 BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

$L_t = 60 \text{ m}$

TABELA 4.2.1.8/VII

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 10^\circ$	$\theta_1 = 15^\circ$					$\theta_1 = 20^\circ$				
		$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	1,74	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	2,24	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	2,61	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	2,91	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	3,16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	3,37	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	0,2	1,74	1,57	1,61	1,66	1,72	1,78	*	*	*	*	*
	0,4	2,26	1,93	2,00	2,09	2,18	2,27	*	*	*	*	*
	0,6	2,65	2,15	2,26	2,38	2,50	2,63	*	*	*	*	*
	0,8	2,97	2,31	2,45	2,60	2,76	2,92	*	*	*	*	*
	1,0	3,25	2,41	2,59	2,78	2,97	3,17	*	*	*	*	*
	1,2	3,48	2,49	2,70	2,92	3,14	3,38	*	*	*	*	*
25	0,2	1,75	1,57	1,61	1,67	1,72	1,79	1,63	1,69	1,75	1,82	*
	0,4	2,28	1,94	2,01	2,10	2,19	2,29	1,99	2,09	2,19	2,29	*
	0,6	2,69	2,17	2,28	2,40	2,53	2,67	2,22	2,35	2,49	2,63	*
	0,8	3,03	2,33	2,48	2,64	2,81	2,98	2,37	2,55	2,73	2,91	*
	1,0	3,32	2,45	2,64	2,84	3,04	3,24	2,48	2,70	2,92	3,14	*
	1,2	3,58	2,53	2,76	3,00	3,23	3,47	2,55	2,81	3,07	3,33	*
30	0,2	1,80	1,57	1,62	1,67	1,73	1,79	1,64	1,69	1,75	1,82	*
	0,4	2,39	1,94	2,02	2,11	2,21	2,31	2,00	2,10	2,20	2,31	*
	0,6	2,74	2,18	2,30	2,43	2,56	2,70	2,23	2,37	2,52	2,67	*
	0,8	3,08	2,36	2,52	2,68	2,85	3,03	2,40	2,58	2,77	2,96	*
	1,0	3,39	2,48	2,69	2,89	3,10	3,31	2,52	2,75	2,98	3,21	*
	1,2	3,67	2,58	2,82	3,07	3,31	3,56	2,61	2,89	3,16	3,43	*
35	0,2	1,93	1,57	1,62	1,67	1,73	1,80	1,64	1,69	1,76	1,83	*
	0,4	2,62	1,95	2,03	2,12	2,22	2,33	2,01	2,11	2,22	2,33	*
	0,6	2,96	2,20	2,32	2,45	2,59	2,74	2,25	2,40	2,55	2,70	*
	0,8	3,22	2,38	2,55	2,72	2,90	3,08	2,43	2,62	2,81	3,01	*
	1,0	3,52	2,52	2,73	2,94	3,16	3,38	2,56	2,80	3,04	3,28	*
	1,2	3,77	2,62	2,88	3,13	3,39	3,64	2,66	2,95	3,23	3,51	*
40	0,2	2,06	1,57	1,62	1,67	1,74	1,80	1,64	1,70	1,76	1,84	*
	0,4	2,85	1,95	2,04	2,13	2,24	2,42	2,02	2,12	2,23	2,35	*
	0,6	3,25	2,21	2,34	2,48	2,62	2,78	2,27	2,42	2,57	2,73	*
	0,8	3,47	2,40	2,58	2,75	2,94	3,13	2,45	2,65	2,85	3,06	*
	1,0	3,68	2,55	2,77	2,99	3,21	3,44	2,59	2,84	3,09	3,34	*
	1,2	3,95	2,66	2,93	3,19	3,45	3,72	2,70	3,00	3,30	3,59	*

VALORES DE  $C_1$  (m)  
BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

$L_t = 60$  m

(continuação)

TABELA 4.2.1.8/VII

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 25^\circ$			$\theta_1 = 30^\circ$		$\theta_1 = 35^\circ$				
		$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$				
5	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
10	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
15	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
20	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
25	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
30	0,2	1,70	1,77	1,84	1,77	1,85	*				
	0,4	2,07	2,18	2,30	2,14	2,27	*				
	0,6	2,29	2,45	2,62	2,36	2,55	*				
	0,8	2,45	2,66	2,87	2,52	2,76	*				
	1,0	2,57	2,83	3,09	2,70	3,01	*				
	1,2	2,82	3,12	3,45	3,30	3,67	*				
35	0,2	1,71	1,77	1,85	1,78	1,86	1,86				
	0,4	2,08	2,19	2,32	2,15	2,29	2,24				
	0,6	2,31	2,48	2,65	2,38	2,58	2,47				
	0,8	2,48	2,70	2,92	2,55	2,80	2,63				
	1,0	2,61	2,88	3,15	2,69	3,00	3,17				
	1,2	2,81	3,10	3,43	3,29	3,65	3,87				
40	0,2	1,71	1,78	1,86	1,78	1,87	1,86				
	0,4	2,09	2,21	2,33	2,16	2,30	2,25				
	0,6	2,33	2,51	2,68	2,41	2,61	2,50				
	0,8	2,51	2,74	2,97	2,58	2,85	2,67				
	1,0	2,65	2,93	3,21	2,71	3,03	3,17				
	1,2	2,79	3,09	3,41	3,28	3,64	3,86				

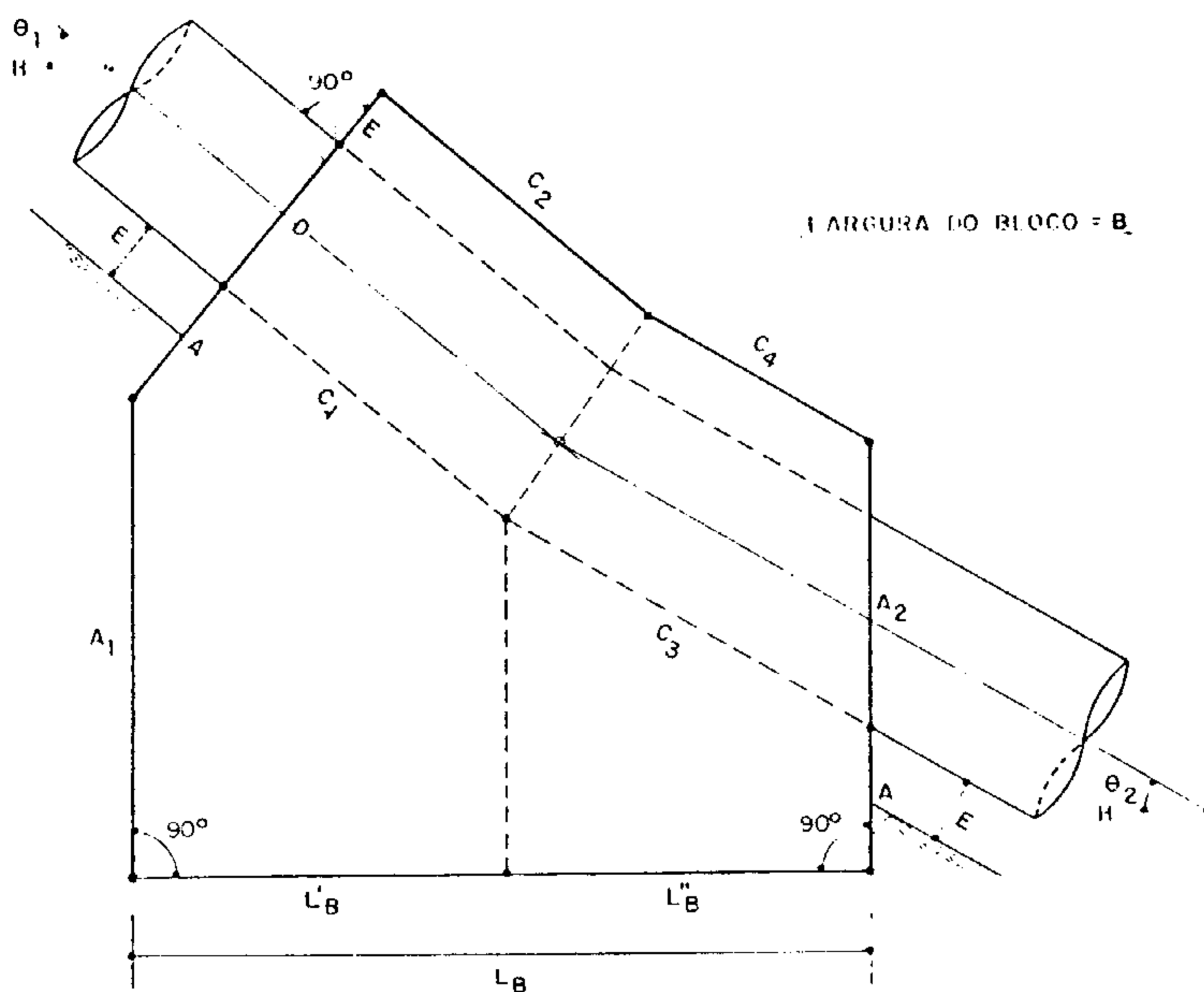
BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVO E RETO

$$\theta_1 > \theta_2 \text{ E } \theta_1 = \theta_2$$

DIMENSIONAMENTO

4.2.1.8./E

ANEXO



DIMENSÕES BÁSICAS:

$D, \theta_1 \text{ e } \theta_2$  ( $D$  em metros)

$C_1$  = Valor dado nas TABELAS

$$A = 0,476 D + 0,329$$

$$E = 0,238 D + 0,114$$

$$B = D + 2 E$$

$$C_3 = \frac{C_1}{\cos \theta_2}$$

$$A_1 = C_1 \sin \theta_1 + C_3 \sin \theta_2 + A(1 - \cos \theta_1)$$

$$A_2 = \frac{D + E}{\cos \theta_2}$$

$$C_2 = C_1 - (D + E) \operatorname{tg} \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$$

$$C_4 = C_3 - (D + E) (\operatorname{tg} \theta_2 + \operatorname{tg} \frac{\theta_1 - \theta_2}{2})$$

$$L'_B = C_1 \cos \theta_1 + A \sin \theta_1$$

$$L''_B = C_3 \cos \theta_2 = C_1$$

$$L_B = L'_B + L''_B$$

NOTA: Os valores de sen, cos e tg são obtidos através das TABELAS 4.2.1.8/X a XII

VALORES DE  $C_1$  (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

TABELA 4.2.1.8/VIII

$L_t = 30m$

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 0^\circ$	$\theta_1 = 5^\circ$		$\theta_1 = 10^\circ$			$\theta_1 = 15^\circ$			
		$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$
5	0,2	0,60	0,62	0,64	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	0,80	0,81	0,83	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	0,95	0,96	0,98	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	1,08	1,09	1,11	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	1,20	1,20	1,22	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	1,31	1,31	1,33	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	0,60	0,61	0,64	0,61	0,64	0,67	0,61	0,63	0,65	0,68
	0,4	0,80	0,80	0,83	0,79	0,82	0,85	0,77	0,79	0,82	0,86
	0,6	0,95	0,95	0,98	0,93	0,96	0,99	0,90	0,92	0,95	0,99
	0,8	1,08	1,07	1,11	1,05	1,08	1,11	1,01	1,04	1,07	1,10
	1,0	1,20	1,19	1,22	1,16	1,19	1,22	1,12	1,14	1,17	1,21
	1,2	1,31	1,29	1,33	1,26	1,29	1,32	1,22	1,24	1,27	1,30
15	0,2	0,60	0,61	0,64	0,61	0,63	0,67	0,59	0,62	0,65	0,68
	0,4	0,80	0,79	0,83	0,77	0,81	0,85	0,74	0,78	0,81	0,86
	0,6	0,95	0,93	0,98	0,90	0,95	0,99	0,87	0,90	0,94	0,99
	0,8	1,08	1,06	1,11	1,02	1,06	1,11	0,98	1,01	1,05	1,10
	1,0	1,20	1,17	1,22	1,13	1,17	1,22	1,08	1,11	1,15	1,21
	1,2	1,31	1,28	1,33	1,23	1,27	1,32	1,23	1,21	1,25	1,30
20	0,2	0,60	0,60	0,64	0,60	0,63	0,67	0,58	0,61	0,64	0,68
	0,4	0,80	0,78	0,83	0,75	0,80	0,85	0,72	0,76	0,80	0,86
	0,6	0,95	0,92	0,98	0,88	0,93	0,99	0,84	0,88	0,93	0,99
	0,8	1,08	1,05	1,11	1,00	1,05	1,11	0,94	0,99	1,04	1,10
	1,0	1,20	1,16	1,22	1,11	1,16	1,22	1,04	1,09	1,14	1,21
	1,2	1,31	1,26	1,33	1,22	1,26	1,32	1,26	1,22	1,23	1,30
25	0,2	0,60	0,60	0,64	0,59	0,62	0,67	0,57	0,60	0,64	0,68
	0,4	0,80	0,77	0,83	0,74	0,79	0,85	0,70	0,74	0,80	0,86
	0,6	0,95	0,91	0,98	0,86	0,92	0,99	0,81	0,86	0,92	0,99
	0,8	1,08	1,03	1,11	0,98	1,04	1,11	0,91	0,96	1,03	1,10
	1,0	1,20	1,15	1,22	1,08	1,14	1,22	1,06	1,06	1,12	1,21
	1,2	1,31	1,25	1,33	1,23	1,24	1,32	1,29	1,24	1,21	1,30
30	0,2	0,60	0,59	0,64	0,58	0,62	0,67	0,55	0,59	0,63	0,68
	0,4	0,80	0,77	0,83	0,72	0,78	0,85	0,68	0,73	0,79	0,86
	0,6	0,95	0,90	0,98	0,84	0,91	0,99	0,78	0,84	0,91	0,99
	0,8	1,08	1,02	1,11	0,95	1,03	1,11	0,88	0,94	1,01	1,10
	1,0	1,20	1,13	1,22	1,06	1,13	1,22	1,08	1,03	1,11	1,21
	1,2	1,31	1,23	1,33	1,25	1,23	1,32	1,32	1,25	1,21	1,30
35	0,2	0,60	0,59	0,64	0,57	0,61	0,67	0,54	0,58	0,63	0,68
	0,4	0,80	0,76	0,83	0,71	0,77	0,85	0,66	0,71	0,78	0,86
	0,6	0,95	0,89	0,98	0,83	0,90	0,99	0,76	0,82	0,89	0,99
	0,8	1,08	1,01	1,11	0,93	1,01	1,11	0,88	0,91	1,00	1,10
	1,0	1,20	1,12	1,22	1,05	1,11	1,22	1,10	1,04	1,09	1,21
	1,2	1,31	1,22	1,33	1,27	1,21	1,32	1,34	1,27	1,21	1,30
40	0,2	0,60	0,58	0,64	0,56	0,61	0,67	0,53	0,57	0,62	0,68
	0,4	0,80	0,75	0,83	0,69	0,77	0,85	0,64	0,70	0,77	0,86
	0,6	0,95	0,88	0,98	0,81	0,89	0,99	0,73	0,80	0,88	0,99
	0,8	1,08	1,00	1,11	0,91	1,00	1,11	0,89	0,89	0,98	1,10
	1,0	1,20	1,11	1,22	1,06	1,10	1,22	1,12	1,06	1,08	1,21
	1,2	1,31	1,21	1,33	1,29	1,22	1,32	1,37	1,29	1,22	1,30

VALORES DE  $C_1$  (m)

## BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

 $L_t = 30\text{m}$ 

(continuação)

TABELA 4.2.1.8/VIII

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 20^\circ$					$\theta_1 = 25^\circ$				
		$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
15	0,2	0,57	0,60	0,62	0,65	0,69	0,55	0,57	0,59	0,62	0,65
	0,4	0,71	0,74	0,77	0,81	0,86	0,67	0,69	0,72	0,76	0,80
	0,6	0,82	0,85	0,88	0,93	0,98	0,77	0,79	0,82	0,86	0,91
	0,8	0,93	0,95	0,99	1,03	1,09	0,86	0,88	0,91	0,95	1,00
	1,0	1,04	1,05	1,08	1,12	1,18	1,05	1,02	1,00	1,03	1,08
	1,2	1,26	1,23	1,20	1,21	1,27	1,28	1,24	1,20	1,18	1,18
20	0,2	0,56	0,58	0,61	0,65	0,69	0,53	0,55	0,58	0,61	0,65
	0,4	0,68	0,71	0,75	0,80	0,86	0,64	0,66	0,69	0,74	0,79
	0,6	0,79	0,82	0,86	0,92	0,98	0,73	0,75	0,79	0,83	0,89
	0,8	0,88	0,91	0,96	1,01	1,09	0,87	0,84	0,87	0,92	0,98
	1,0	1,07	1,03	1,05	1,10	1,18	1,09	1,04	1,01	0,99	1,06
	1,2	1,29	1,25	1,21	1,19	1,27	1,32	1,27	1,22	1,19	1,18
25	0,2	0,54	0,57	0,60	0,64	0,69	0,51	0,53	0,56	0,60	0,64
	0,4	0,65	0,69	0,73	0,79	0,86	0,60	0,63	0,67	0,72	0,78
	0,6	0,75	0,79	0,84	0,90	0,98	0,69	0,71	0,75	0,81	0,88
	0,8	0,87	0,88	0,93	1,00	1,09	0,89	0,85	0,83	0,89	0,96
	1,0	1,09	1,05	1,02	1,09	1,18	1,12	1,07	1,02	0,99	1,04
	1,2	1,33	1,27	1,23	1,20	1,27	1,36	1,29	1,24	1,19	1,18
30	0,2	0,52	0,56	0,59	0,64	0,69	0,50	0,52	0,55	0,59	0,64
	0,4	0,63	0,67	0,72	0,78	0,86	0,57	0,60	0,64	0,70	0,77
	0,6	0,72	0,76	0,82	0,89	0,98	0,70	0,68	0,72	0,78	0,86
	0,8	0,89	0,85	0,90	0,98	1,09	0,92	0,87	0,83	0,86	0,95
	1,0	1,12	1,07	1,02	1,07	1,18	1,15	1,09	1,03	0,99	1,02
	1,2	1,37	1,30	1,24	1,20	1,27	1,41	1,32	1,25	1,20	1,18
35	0,2	0,51	0,54	0,58	0,63	0,69	0,50	0,50	0,53	0,58	0,63
	0,4	0,60	0,64	0,70	0,77	0,86	0,54	0,57	0,62	0,68	0,76
	0,6	0,69	0,73	0,79	0,88	0,98	0,71	0,67	0,69	0,76	0,85
	0,8	0,91	0,86	0,88	0,97	1,09	0,94	0,88	0,84	0,83	0,93
	1,0	1,15	1,08	1,03	1,05	1,18	1,19	1,11	1,04	1,00	1,00
	1,2	1,40	1,32	1,25	1,20	1,27	1,45	1,35	1,27	1,21	1,18
40	0,2	0,50	0,53	0,57	0,63	0,69	0,50	0,50	0,52	0,57	0,62
	0,4	0,58	0,62	0,68	0,76	0,86	0,52	0,55	0,59	0,66	0,75
	0,6	0,71	0,70	0,77	0,86	0,98	0,73	0,69	0,66	0,73	0,83
	0,8	0,94	0,88	0,85	0,95	1,09	0,97	0,90	0,85	0,81	0,91
	1,0	1,18	1,10	1,04	1,04	1,18	1,22	1,13	1,06	1,00	0,98
	1,2	1,44	1,34	1,26	1,21	1,27	1,50	1,38	1,28	1,21	1,18

VALORES DE  $C_1$  (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

$L_t = 30m$

(continuação)

TABELA 4.2.1.8/VIII

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 25^\circ$	$\theta_1 = 30^\circ$						$\theta_1 = 35^\circ$			
		$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
15	0,2	0,69	0,51	0,53	0,55	0,58	0,61	0,65	0,69	*	*	*
	0,4	0,85	0,62	0,64	0,66	0,69	0,73	0,78	0,84	*	*	*
	0,6	0,96	0,71	0,73	0,75	0,78	0,82	0,88	0,94	*	*	*
	0,8	1,06	0,85	0,82	0,83	0,86	0,90	0,95	1,03	*	*	*
	1,0	1,14	1,06	1,02	0,99	0,97	0,97	1,02	1,10	*	*	*
1,2	1,22	1,28	1,23	1,19	1,16	1,15	1,15	1,18	*	*	*	
20	0,2	0,69	0,50	0,51	0,53	0,56	0,60	0,64	0,69	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,58	0,60	0,63	0,67	0,71	0,77	0,84	0,53	0,54	0,54
	0,6	0,96	0,67	0,68	0,71	0,74	0,79	0,86	0,94	0,67	0,64	0,64
	0,8	1,06	0,88	0,84	0,81	0,81	0,86	0,94	1,03	0,87	0,83	0,83
	1,0	1,14	1,09	1,04	1,00	0,97	0,95	1,00	1,10	1,09	1,03	1,03
1,2	1,22	1,33	1,27	1,21	1,17	1,14	1,15	1,18	1,32	1,32	1,25	
25	0,2	0,69	0,50	0,50	0,52	0,55	0,59	0,63	0,69	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,55	0,57	0,60	0,64	0,69	0,76	0,84	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,96	0,69	0,66	0,66	0,71	0,77	0,84	0,94	0,69	0,65	0,65
	0,8	1,06	0,90	0,86	0,82	0,79	0,83	0,92	1,03	0,90	0,85	0,85
	1,0	1,14	1,13	1,07	1,01	0,97	0,95	0,98	1,10	1,10	1,13	1,06
1,2	1,22	1,38	1,30	1,23	1,17	1,14	1,14	1,18	1,18	1,37	1,28	
30	0,2	0,69	0,50	0,50	0,50	0,53	0,58	0,63	0,69	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,52	0,53	0,57	0,61	0,67	0,75	0,84	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,96	0,71	0,67	0,64	0,67	0,74	0,83	0,94	0,71	0,67	0,67
	0,8	1,06	0,93	0,87	0,83	0,79	0,80	0,90	1,03	0,93	0,87	0,87
	1,0	1,14	1,17	1,09	1,03	0,98	0,95	0,96	1,10	1,17	1,17	1,08
1,2	1,22	1,43	1,33	1,24	1,18	1,14	1,14	1,18	1,18	1,43	1,31	
35	0,2	0,69	0,50	0,50	0,50	0,52	0,56	0,62	0,69	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,51	0,50	0,53	0,58	0,65	0,73	0,84	0,51	0,50	0,50
	0,6	0,96	0,73	0,68	0,64	0,63	0,71	0,81	0,94	0,73	0,68	0,68
	0,8	1,06	0,96	0,89	0,84	0,79	0,77	0,83	1,03	0,96	0,89	0,89
	1,0	1,14	1,21	1,12	1,04	0,98	0,95	0,95	1,10	1,21	1,11	1,11
1,2	1,22	1,48	1,36	1,26	1,18	1,14	1,14	1,18	1,48	1,48	1,35	
40	0,2	0,69	0,50	0,50	0,50	0,50	0,55	0,62	0,69	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,52	0,50	0,50	0,56	0,63	0,72	0,84	0,52	0,50	0,50
	0,6	0,96	0,75	0,69	0,65	0,62	0,68	0,80	0,94	0,75	0,69	0,69
	0,8	1,06	0,99	0,91	0,85	0,80	0,77	0,86	1,03	0,99	0,90	0,90
	1,0	1,14	1,25	1,14	1,05	0,99	0,95	0,95	1,10	1,25	1,13	1,13
1,2	1,22	1,53	1,40	1,28	1,19	1,14	1,13	1,18	1,53	1,53	1,38	

VALORES DE C<sub>1</sub> (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

L<sub>t</sub> = 30m

(continuação)

TABELA 4.2.1.8/VIII

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 35^\circ$						$\theta_1 = 40^\circ$			
		$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	0,2	0,50	0,51	0,54	0,58	0,63	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,56	0,59	0,63	0,68	0,74	0,82	0,50	0,50	0,50	0,51
	0,6	0,62	0,65	0,69	0,75	0,82	0,91	0,66	0,63	0,60	0,57
	0,8	0,79	0,76	0,75	0,80	0,88	0,99	0,86	0,81	0,76	0,73
	1,0	0,98	0,94	0,91	0,91	0,94	1,05	1,07	1,00	0,94	0,89
	1,2	1,18	1,12	1,09	1,08	1,10	1,17	1,30	1,21	1,13	1,06
25	0,2	0,50	0,50	0,53	0,57	0,62	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,52	0,55	0,60	0,66	0,73	0,82	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,62	0,60	0,65	0,71	0,80	0,91	0,68	0,64	0,60	0,57
	0,8	0,80	0,76	0,74	0,76	0,86	0,99	0,89	0,83	0,77	0,72
	1,0	0,99	0,94	0,91	0,90	0,92	1,05	1,11	1,02	0,95	0,88
	1,2	1,20	1,13	1,08	1,07	1,09	1,17	1,35	1,24	1,14	1,05
30	0,2	0,50	0,50	0,51	0,56	0,62	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,52	0,57	0,63	0,72	0,82	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,63	0,60	0,60	0,68	0,79	0,91	0,70	0,65	0,60	0,57
	0,8	0,81	0,76	0,74	0,73	0,84	0,99	0,92	0,84	0,77	0,72
	1,0	1,00	0,94	0,90	0,89	0,91	1,05	1,15	1,05	0,95	0,88
	1,2	1,21	1,13	1,07	1,05	1,08	1,17	1,40	1,27	1,15	1,05
35	0,2	0,50	0,50	0,50	0,55	0,61	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,50	0,54	0,61	0,71	0,82	0,51	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,63	0,60	0,58	0,65	0,77	0,91	0,72	0,66	0,61	0,56
	0,8	0,82	0,77	0,73	0,72	0,82	0,99	0,95	0,86	0,78	0,71
	1,0	1,02	0,94	0,89	0,88	0,90	1,05	1,19	1,07	0,96	0,87
	1,2	1,23	1,13	1,07	1,04	1,07	1,17	1,45	1,30	1,16	1,04
40	0,2	0,50	0,50	0,50	0,53	0,60	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,50	0,51	0,59	0,69	0,82	0,52	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,64	0,60	0,57	0,62	0,75	0,91	0,74	0,67	0,61	0,56
	0,8	0,83	0,77	0,73	0,72	0,80	0,99	0,98	0,88	0,79	0,71
	1,0	1,03	0,94	0,89	0,87	0,90	1,05	1,23	1,09	0,97	0,87
	1,2	1,24	1,13	1,06	1,03	1,06	1,17	1,50	1,33	1,17	1,03



VALORES DE  $C_1$  (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

$L_t = 30$  m

(continuação)

TABELA 4.2.1.8/VIII

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 40^\circ$					$\theta_1 = 45^\circ$					
		$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	0,2	0,50	0,52	0,56	0,61	0,67	*	*	*	*	*	*
	0,4	0,54	0,58	0,64	0,71	0,80	*	*	*	*	*	*
	0,6	0,58	0,62	0,69	0,78	0,88	*	*	*	*	*	*
	0,8	0,70	0,69	0,73	0,82	0,94	*	*	*	*	*	*
	1,0	0,85	0,83	0,84	0,88	0,99	*	*	*	*	*	*
	1,2	1,01	0,98	0,98	1,03	1,14	*	*	*	*	*	*
25	0,2	0,50	0,50	0,55	0,61	0,67	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,55	0,62	0,70	0,80	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,55	0,58	0,66	0,76	0,88	0,66	0,61	0,57	0,53	0,50	0,50
	0,8	0,69	0,68	0,69	0,80	0,94	0,86	0,79	0,72	0,66	0,62	0,62
	1,0	0,84	0,81	0,82	0,87	0,99	1,07	0,97	0,88	0,80	0,74	0,74
	1,2	0,99	0,95	0,96	1,02	1,14	1,29	1,16	1,05	0,94	0,86	0,86
30	0,2	0,50	0,50	0,53	0,60	0,67	0,66	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,51	0,59	0,69	0,80	0,77	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,54	0,53	0,62	0,74	0,88	0,84	0,62	0,57	0,52	0,50	0,50
	0,8	0,68	0,66	0,67	0,78	0,94	0,89	0,80	0,72	0,65	0,60	0,60
	1,0	0,82	0,79	0,80	0,85	0,99	0,95	0,99	0,88	0,78	0,71	0,71
	1,2	0,97	0,93	0,94	1,00	1,14	1,11	1,19	1,05	0,92	0,83	0,83
35	0,2	0,50	0,50	0,52	0,59	0,67	0,66	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,50	0,56	0,67	0,80	0,77	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,54	0,53	0,58	0,72	0,88	0,84	0,63	0,57	0,51	0,50	0,50
	0,8	0,67	0,65	0,66	0,75	0,94	0,89	0,81	0,72	0,64	0,58	0,58
	1,0	0,81	0,77	0,78	0,84	0,99	0,95	1,00	0,88	0,77	0,75	0,75
	1,2	0,95	0,91	0,91	0,98	1,14	1,11	1,21	1,05	0,90	0,90	0,90
40	0,2	0,50	0,50	0,51	0,58	0,67	0,66	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,50	0,54	0,66	0,80	0,77	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,53	0,52	0,55	0,70	0,88	0,84	0,64	0,57	0,51	0,50	0,50
	0,8	0,66	0,63	0,64	0,73	0,94	0,89	0,82	0,72	0,64	0,64	0,64
	1,0	0,79	0,76	0,76	0,83	0,99	0,95	1,02	0,88	0,81	0,81	0,81
	1,2	0,94	0,88	0,89	0,97	1,14	1,11	1,23	1,05	0,96	0,97	0,97

VALORES DE  $C_1$  (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

$L_t = 30\text{ m}$

(continuação)

TABELA 4.2.1.8/VIII

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 45^\circ$									
		$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$						
5	0,2	*	*	*	*						
	0,4	*	*	*	*						
	0,6	*	*	*	*						
	0,8	*	*	*	*						
	1,0	*	*	*	*						
	1,2	*	*	*	*						
10	0,2	*	*	*	*						
	0,4	*	*	*	*						
	0,6	*	*	*	*						
	0,8	*	*	*	*						
	1,0	*	*	*	*						
	1,2	*	*	*	*						
15	0,2	*	*	*	*						
	0,4	*	*	*	*						
	0,6	*	*	*	*						
	0,8	*	*	*	*						
	1,0	*	*	*	*						
	1,2	*	*	*	*						
20	0,2	*	*	*	*						
	0,4	*	*	*	*						
	0,6	*	*	*	*						
	0,8	*	*	*	*						
	1,0	*	*	*	*						
	1,2	*	*	*	*						
25	0,2	0,50	0,50	0,52	0,58						
	0,4	0,50	0,50	0,57	0,66						
	0,6	0,50	0,50	0,59	0,70						
	0,8	0,59	0,59	0,62	0,73						
	1,0	0,70	0,69	0,72	0,80						
	1,2	0,80	0,79	0,82	0,54						
30	0,2	0,50	0,50	0,50	0,57						
	0,4	0,50	0,50	0,54	0,65						
	0,6	0,50	0,50	0,55	0,68						
	0,8	0,57	0,57	0,59	0,70						
	1,0	0,67	0,66	0,69	0,78						
	1,2	0,78	0,74	0,78	0,54						
35	0,2	0,50	0,50	0,50	0,57						
	0,4	0,50	0,50	0,51	0,63						
	0,6	0,50	0,50	0,51	0,66						
	0,8	0,55	0,54	0,57	0,67						
	1,0	0,71	0,62	0,66	0,76						
	1,2	0,86	0,77	0,74	0,54						
40	0,2	0,50	0,50	0,50	0,56						
	0,4	0,50	0,50	0,50	0,61						
	0,6	0,50	0,50	0,50	0,64						
	0,8	0,60	0,52	0,55	0,64						
	1,0	0,77	0,68	0,63	0,74						
	1,2	0,93	0,84	0,70	0,54						

VALORES DE  $C_1$  (m)

## BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

TABELA 4.2.1.8/IX

 $L_t = 60m$ 

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 0^\circ$	$\theta_1 = 5^\circ$		$\theta_1 = 10^\circ$			$\theta_1 = 15^\circ$			
		$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$
5	0,2	0,88	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	1,18	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	1,42	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	1,62	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	1,80	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	1,97	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	0,88	0,88	0,92	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	1,18	1,17	1,21	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	1,42	1,39	1,44	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	1,62	1,58	1,64	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	1,80	1,76	1,81	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	1,97	1,92	1,97	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	0,88	0,88	0,92	0,87	0,91	0,95	*	*	*	*
	0,4	1,18	1,16	1,21	1,12	1,17	1,23	*	*	*	*
	0,6	1,42	1,38	1,44	1,32	1,39	1,45	*	*	*	*
	0,8	1,62	1,57	1,64	1,51	1,57	1,63	*	*	*	*
	1,0	1,80	1,74	1,81	1,67	1,74	1,80	*	*	*	*
	1,2	1,97	1,90	1,97	1,83	1,89	1,95	*	*	*	*
20	0,2	0,88	0,87	0,92	0,86	0,90	0,95	0,83	0,87	0,92	0,96
	0,4	1,18	1,15	1,21	1,10	1,17	1,23	1,05	1,11	1,17	1,23
	0,6	1,42	1,37	1,44	1,30	1,37	1,45	1,24	1,30	1,37	1,44
	0,8	1,62	1,56	1,64	1,48	1,56	1,63	1,40	1,47	1,54	1,62
	1,0	1,80	1,73	1,81	1,64	1,72	1,80	1,56	1,63	1,70	1,78
	1,2	1,97	1,89	1,97	1,80	1,87	1,95	1,73	1,77	1,84	1,92
25	0,2	0,88	0,87	0,92	0,85	0,90	0,95	0,82	0,87	0,91	0,96
	0,4	1,18	1,14	1,21	1,09	1,16	1,23	1,03	1,10	1,16	1,23
	0,6	1,42	1,35	1,44	1,28	1,36	1,45	1,21	1,28	1,36	1,44
	0,8	1,62	1,54	1,64	1,46	1,54	1,63	1,37	1,45	1,53	1,62
	1,0	1,80	1,71	1,81	1,62	1,71	1,80	1,52	1,60	1,68	1,78
	1,2	1,97	1,87	1,97	1,77	1,86	1,95	1,76	1,76	1,83	1,92
30	0,2	0,88	0,86	0,92	0,84	0,89	0,95	0,81	0,86	0,91	0,96
	0,4	1,18	1,13	1,21	1,07	1,15	1,23	1,01	1,08	1,16	1,23
	0,6	1,42	1,34	1,44	1,26	1,35	1,45	1,18	1,26	1,35	1,44
	0,8	1,62	1,53	1,64	1,44	1,53	1,63	1,34	1,42	1,52	1,62
	1,0	1,80	1,70	1,81	1,59	1,69	1,80	1,49	1,57	1,67	1,78
	1,2	1,97	1,86	1,97	1,74	1,84	1,95	1,78	1,77	1,81	1,92
35	0,2	0,88	0,86	0,92	0,83	0,89	0,95	0,79	0,85	0,91	0,96
	0,4	1,18	1,12	1,21	1,06	1,14	1,23	0,99	1,07	1,15	1,23
	0,6	1,42	1,33	1,44	1,24	1,34	1,45	1,16	1,24	1,34	1,44
	0,8	1,62	1,52	1,64	1,41	1,52	1,63	1,31	1,40	1,50	1,62
	1,0	1,80	1,68	1,81	1,57	1,68	1,80	1,50	1,55	1,66	1,78
	1,2	1,97	1,84	1,97	1,72	1,83	1,95	1,81	1,79	1,80	1,92
40	0,2	0,88	0,85	0,92	0,82	0,88	0,95	0,78	0,84	0,90	0,96
	0,4	1,18	1,11	1,21	1,04	1,13	1,23	0,97	1,05	1,14	1,23
	0,6	1,42	1,32	1,44	1,23	1,33	1,45	1,13	1,22	1,33	1,44
	0,8	1,62	1,50	1,64	1,39	1,51	1,63	1,28	1,38	1,49	1,62
	1,0	1,80	1,67	1,81	1,54	1,67	1,80	1,52	1,52	1,64	1,78
	1,2	1,97	1,83	1,97	1,74	1,81	1,95	1,84	1,81	1,79	1,92

VALORES DE  $C_1$  (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

$L_t = 60$  m

(continuação)

TABELA 4.2.1.8/IX

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 20^\circ$					$\theta_1 = 25^\circ$				
		$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
25	0,2	0,78	0,83	0,87	0,92	0,97	*	*	*	*	*
	0,4	0,97	1,03	1,09	1,16	1,23	*	*	*	*	*
	0,6	1,13	1,20	1,27	1,34	1,43	*	*	*	*	*
	0,8	1,28	1,35	1,42	1,50	1,59	*	*	*	*	*
	1,0	1,51	1,50	1,56	1,65	1,74	*	*	*	*	*
	1,2	1,82	1,81	1,82	1,84	1,89	*	*	*	*	*
30	0,2	0,77	0,81	0,87	0,92	0,97	0,72	0,77	0,81	0,87	0,92
	0,4	0,95	1,01	1,08	1,15	1,23	0,88	0,93	1,00	1,06	1,14
	0,6	1,10	1,17	1,25	1,33	1,43	1,02	1,07	1,14	1,22	1,31
	0,8	1,24	1,31	1,40	1,49	1,59	1,27	1,26	1,27	1,35	1,45
	1,0	1,53	1,52	1,53	1,63	1,74	1,58	1,56	1,55	1,56	1,59
	1,2	1,85	1,83	1,83	1,84	1,89	1,90	1,88	1,86	1,87	1,90
35	0,2	0,75	0,80	0,86	0,91	0,97	0,71	0,75	0,80	0,86	0,92
	0,4	0,92	0,99	1,06	1,14	1,23	0,85	0,91	0,97	1,05	1,13
	0,6	1,07	1,14	1,23	1,32	1,43	1,00	1,04	1,11	1,20	1,30
	0,8	1,26	1,28	1,37	1,48	1,59	1,30	1,28	1,27	1,33	1,44
	1,0	1,56	1,54	1,53	1,62	1,74	1,61	1,58	1,56	1,56	1,59
	1,2	1,89	1,86	1,84	1,85	1,89	1,94	1,91	1,88	1,88	1,90
40	0,2	0,74	0,79	0,85	0,91	0,97	0,69	0,74	0,79	0,85	0,91
	0,4	0,90	0,97	1,05	1,14	1,23	0,83	0,88	0,95	1,03	1,12
	0,6	1,04	1,12	1,21	1,31	1,43	1,02	1,01	1,08	1,18	1,28
	0,8	1,28	1,25	1,35	1,46	1,59	1,32	1,29	1,27	1,30	1,42
	1,0	1,59	1,56	1,54	1,60	1,74	1,64	1,60	1,58	1,57	1,59
	1,2	1,92	1,88	1,85	1,85	1,89	1,99	1,93	1,90	1,88	1,91

VALORES DE  $C_1$  (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

(continuação)

TABELA 4.2.1.8/IX

$L_t = 60$  m

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 25^\circ$	$\theta_1 = 30^\circ$						$\theta_1 = 35^\circ$		
		$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$
30	0,2	0,98	0,68	0,71	0,76	0,81	0,86	0,92	0,98	*	*
	0,4	1,22	0,81	0,86	0,91	0,97	1,04	1,12	1,21	*	*
	0,6	1,41	1,01	1,00	1,03	1,10	1,18	1,27	1,38	*	*
	0,8	1,56	1,30	1,28	1,27	1,27	1,30	1,41	1,52	*	*
	1,0	1,70	1,61	1,58	1,56	1,56	1,58	1,63	1,73	*	*
	1,2	1,98	1,94	1,90	1,87	1,87	1,89	1,95	2,07	*	*
35	0,2	0,98	0,66	0,70	0,74	0,79	0,85	0,91	0,98	0,60	0,64
	0,4	1,22	0,78	0,83	0,88	0,95	1,02	1,11	1,21	0,75	0,74
	0,6	1,41	1,03	1,01	1,00	1,07	1,16	1,26	1,38	1,04	1,02
	0,8	1,56	1,33	1,30	1,28	1,28	1,29	1,39	1,52	1,34	1,31
	1,0	1,70	1,64	1,61	1,58	1,57	1,58	1,63	1,73	1,66	1,61
	1,2	1,98	1,98	1,93	1,89	1,87	1,89	1,95	2,07	1,99	1,93
40	0,2	0,98	0,64	0,68	0,73	0,78	0,84	0,91	0,98	0,58	0,62
	0,4	1,22	0,75	0,80	0,85	0,92	1,01	1,10	1,21	0,76	0,75
	0,6	1,41	1,04	1,02	1,01	1,04	1,13	1,25	1,38	1,06	1,03
	0,8	1,56	1,35	1,32	1,29	1,28	1,29	1,37	1,52	1,37	1,32
	1,0	1,70	1,68	1,63	1,59	1,57	1,58	1,63	1,73	1,70	1,63
	1,2	1,98	2,03	1,96	1,91	1,88	1,89	1,94	2,07	2,04	1,96

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 35^\circ$					$\theta_1 = 40^\circ$				
		$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$
35	0,2	0,68	0,72	0,77	0,83	0,90	0,97	*	*	*	*
	0,4	0,78	0,84	0,91	0,99	1,09	1,19	*	*	*	*
	0,6	1,00	1,00	1,01	1,11	1,22	1,35	*	*	*	*
	0,8	1,28	1,26	1,27	1,30	1,36	1,48	*	*	*	*
	1,0	1,57	1,54	1,54	1,58	1,66	1,81	*	*	*	*
	1,2	1,87	1,84	1,83	1,87	1,97	2,16	*	*	*	*
40	0,2	0,66	0,70	0,76	0,82	0,89	0,97	0,53	0,55	0,58	0,62
	0,4	0,75	0,81	0,88	0,97	1,08	1,19	0,77	0,75	0,73	0,73
	0,6	1,01	1,00	1,00	1,08	1,21	1,35	1,06	1,02	0,99	0,97
	0,8	1,29	1,27	1,26	1,29	1,36	1,48	1,36	1,31	1,26	1,22
	1,0	1,58	1,55	1,54	1,57	1,65	1,81	1,68	1,60	1,54	1,49
	1,2	1,89	1,84	1,83	1,86	1,96	2,16	2,02	1,92	1,83	1,76

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 40^\circ$					$\theta_1 = 45^\circ$				
		$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
40	0,2	0,67	0,73	0,80	0,88	0,96	*	*	*	*	*
	0,4	0,75	0,83	0,93	1,04	1,17	*	*	*	*	*
	0,6	0,97	0,99	1,03	1,15	1,32	*	*	*	*	*
	0,8	1,21	1,23	1,28	1,38	1,55	*	*	*	*	*
	1,0	1,46	1,47	1,53	1,66	1,89	*	*	*	*	*
	1,2	1,73	1,74	1,80	1,96	2,25	*	*	*	*	*

VALORES DOS SENOS E COSENOS NATURAIS

TABELA 4.2.1.8/X

GRAUS	Seno							θ
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	0,01745	89
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	0,03490	88
2	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943	0,05234	87
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	0,06976	86
4	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426	0,08716	85
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	0,10453	84
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	0,12187	83
7	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629	0,13917	82
8	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	0,15643	81
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	0,17365	80
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795	0,19081	79
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	0,20791	78
12	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212	0,22495	77
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	0,24192	76
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	0,25882	75
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284	0,27564	74
16	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	0,29237	73
17	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625	0,30902	72
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	0,32557	71
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	0,34202	70
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	0,35837	69
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	0,37461	68
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	0,39073	67
23	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40141	0,40408	0,40674	66
24	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998	0,42262	65
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	0,43837	64
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140	0,45399	63
27	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690	0,46947	62
28	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226	0,48481	61
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748	0,50000	60
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	0,51504	59
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745	0,52992	58
32	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	0,54464	57
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678	0,55919	56
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119	0,57358	55
35	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543	0,58779	54
36	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	0,60182	53
37	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337	0,61566	52
38	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706	0,62932	51
39	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0,64056	0,64279	50
40	0,64279	0,64501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386	0,65606	49
41	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697	0,66913	48
42	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987	0,68200	47
43	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	0,69466	46
44	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505	0,70711	45
θ	Coseno							GRAUS
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

EXEMPLOS: sen 20° 40' = 0,35293

cos 48° 30' = 0,66262

VALORES DOS COSENOS E SENOS NATURAIS

TABELA 4.2.1.8/XI

GRAUS	Coseno							θ
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989	0,99985	89
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949	0,99939	88
2	0,99939	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878	0,99863	87
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776	0,99756	86
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644	0,99619	85
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482	0,99452	84
6	0,99452	0,99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290	0,99255	83
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067	0,99027	82
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0,98858	0,98814	0,98769	81
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531	0,98481	80
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0,98218	0,98163	79
11	0,98163	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875	0,97815	78
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502	0,97437	77
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100	0,97030	76
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667	0,96593	75
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96363	0,96285	0,96206	0,96126	74
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715	0,95630	73
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195	0,95106	72
18	0,95106	0,95015	0,94924	0,94832	0,94740	0,94646	0,94552	71
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0,94167	0,94068	0,93969	70
20	0,93969	0,93869	0,93769	0,93667	0,93565	0,93462	0,93358	69
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92935	0,92827	0,92718	68
22	0,92718	0,92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164	0,92050	67
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0,91472	0,91355	66
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90753	0,90631	65
25	0,90631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007	0,89879	64
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232	0,89101	63
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431	0,88295	62
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603	0,87462	61
29	0,87462	0,87321	0,87178	0,87036	0,86892	0,86748	0,86603	60
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0,86015	0,85866	0,85717	59
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959	0,84805	58
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025	0,83867	57
33	0,83867	0,83708	0,83549	0,83389	0,83228	0,83066	0,82904	56
34	0,82904	0,82741	0,82577	0,82413	0,82248	0,82082	0,81915	55
35	0,81915	0,81748	0,81580	0,81412	0,81242	0,81072	0,80902	54
36	0,80902	0,80730	0,80558	0,80386	0,80212	0,80038	0,79864	53
37	0,79864	0,79688	0,79512	0,79335	0,79158	0,78980	0,78801	52
38	0,78801	0,78622	0,78442	0,78261	0,78079	0,77897	0,77715	51
39	0,77715	0,77531	0,77347	0,77162	0,76977	0,76791	0,76604	50
40	0,76604	0,76417	0,76229	0,76041	0,75851	0,75661	0,75471	49
41	0,75471	0,75280	0,75088	0,74896	0,74703	0,74509	0,74314	48
42	0,74314	0,74120	0,73924	0,73728	0,73531	0,73333	0,73135	47
43	0,73135	0,72937	0,72737	0,72537	0,72337	0,72136	0,71934	46
44	0,71934	0,71732	0,71529	0,71325	0,71121	0,70916	0,70711	45
θ	Seno							GRAUS
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

EXEMPLOS:  $\cos 14^\circ 00' = 0,97030$

$\text{sen } 64^\circ 10' = 0,90007$

VALORES DAS TANGENTES E COTANGENTES NATURAIS

TABELA 4.2.1.8/XII

GRAUS	Tangentes							θ
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	0,01746	89
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201	0,03492	88
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949	0,05241	87
3	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700	0,06993	86
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	0,08749	85
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216	0,10510	84
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	0,12278	83
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13163	0,13461	0,13758	0,14054	82
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	0,15838	81
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	0,17633	80
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136	0,19438	79
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20348	0,20952	0,21256	78
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	0,23087	77
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624	0,24933	76
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483	0,26795	75
15	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	0,28675	74
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	0,30573	73
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	0,32492	72
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	0,34433	71
19	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	0,36397	70
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	0,38386	69
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	0,40403	68
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	0,42447	67
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	0,44523	66
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	0,46631	65
25	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414	0,48773	64
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587	0,50953	63
27	0,50953	0,51319	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798	0,53171	62
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	0,55431	61
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	0,57735	60
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	0,60086	59
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	0,62487	58
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528	0,64941	57
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028	0,67451	56
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	0,70021	55
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	0,72654	54
36	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900	0,75355	53
37	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	0,78129	52
38	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	0,80978	51
39	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	0,83910	50
40	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419	0,86929	49
41	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	0,90040	48
42	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	0,93252	47
43	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	0,96569	46
44	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	1,00000	45
θ	Cotangentes							GRAUS
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

EXEMPLOS:  $tg\ 29^\circ\ 20' = 0,56194$

$cotg\ 72^\circ\ 50' = 0,30891$



- Instruções para o Uso das TABELAS 4.2.1.8/VI a 4.2.1.8/IX

Os valores dos parâmetros  $D$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $H$  e  $L_t$  constantes nas tabelas acima em referência, básicos para a determinação dos valores do comprimento  $C_1$  quase sempre não são exatamente iguais aos valores reais dos parâmetros do projeto. A fim de se obter um valor para  $C_1$  não inferior ao valor mínimo (otimizado) desse comprimento, satisfazendo portanto as condições de estabilidade do bloco de ancoragem, o projetista deve seguir as seguintes instruções:

- Tomar os valores de  $H$  e  $D$  mais próximos superiores dos valores desejados;
- Tomar os valores de  $\theta_1$  mais próximos dos valores desejados;
- Tomar os valores de  $\theta_2$  mais próximos superiores dos valores desejados;
- Determinar o valor de  $C_1$  por interpolação linear (proporcional) aos valores encontrados para  $L_t = 30$  m e  $L_t = 60$  m.

- Exemplo

Determinar as dimensões de um bloco de ancoragem para uma tubulação em chapas de aço de 1/4" de espessura de parede, de 0,90 m de diâmetro interno, no ponto onde há uma pressão de coluna d'água de 23 m e um ângulo formado pelas inclinações de  $12^\circ$  e  $27^\circ$  das partes, respectivamente, de montante e jusante. O comprimento da parte de montante da tubulação é de 40 m.

Dados de Projeto:

$$H = 23 \text{ m}$$

$$D = 0,90 \text{ m}$$

$$\theta_1 = 12^\circ \quad \theta_1 < \theta_2 = \text{bloco convexo}$$

$$\theta_2 = 27^\circ$$

$$L_t = 40 \text{ m}$$

- Determinação do comprimento  $C_1$

Valores dos parâmetros de entrada nas TABELAS 4.2.1.8/VI e 4.2.1.8/VII.

$$H = 25 \text{ m}$$

$$D = 1,0 \text{ m}$$

$$\theta_1 = 10^\circ$$

$$\theta_2 = 30^\circ$$

$$L_t = 30 \text{ m e } 60 \text{ m}$$

Da TABELA 4.2.1.8/VI tira-se:  $C_1 = 1,84 \text{ m}$  ( $L_t = 30 \text{ m}$ )

Da TABELA 4.2.1.8/VII tira-se:  $C_1 = 2,76 \text{ m}$  ( $L_t = 60 \text{ m}$ )

Por interpolação proporcional (linear) determina-se o valor de  $C_1$  para  $L_t = 40 \text{ m}$

$$\Delta C_1 = 2,76 - 1,84 = 0,92 \text{ m}$$

$$\Delta L_t = 60 - 30 = 30 \text{ m}$$

$$C_1 = 1,84 + \frac{\Delta C_1}{\Delta L_t} (40 - 30)$$

$$C_1 = 1,84 + \frac{0,92}{30} \times 10 = 2,15 \text{ m}$$

O cálculo exato com os dados reais de projeto, feito por computador, dá 1,92 m para o valor de  $C_1$ . O valor a ser adotado 2,15 m é 12% maior, o que dará uma tensão de compressão no terreno ligeiramente inferior a  $1,5 \text{ kgf/cm}^2$ .

• Determinação das Dimensões do Bloco de Ancoragem

O valor encontrado para o comprimento  $C_1$ , juntamente com os valores de  $D$ ,  $\theta_1$  e  $\theta_2$  do projeto, permite determinar as dimensões do bloco de ancoragem através das fórmulas do ANEXO 4.2.1.8/D, conforme abaixo:

$$A = 0,476D + 0,329 = 0,476 \times 0,90 + 0,329 = 0,76 \text{ m}$$

$$E = 0,238D + 0,114 = 0,238 \times 0,90 + 0,114 = 0,33 \text{ m}$$

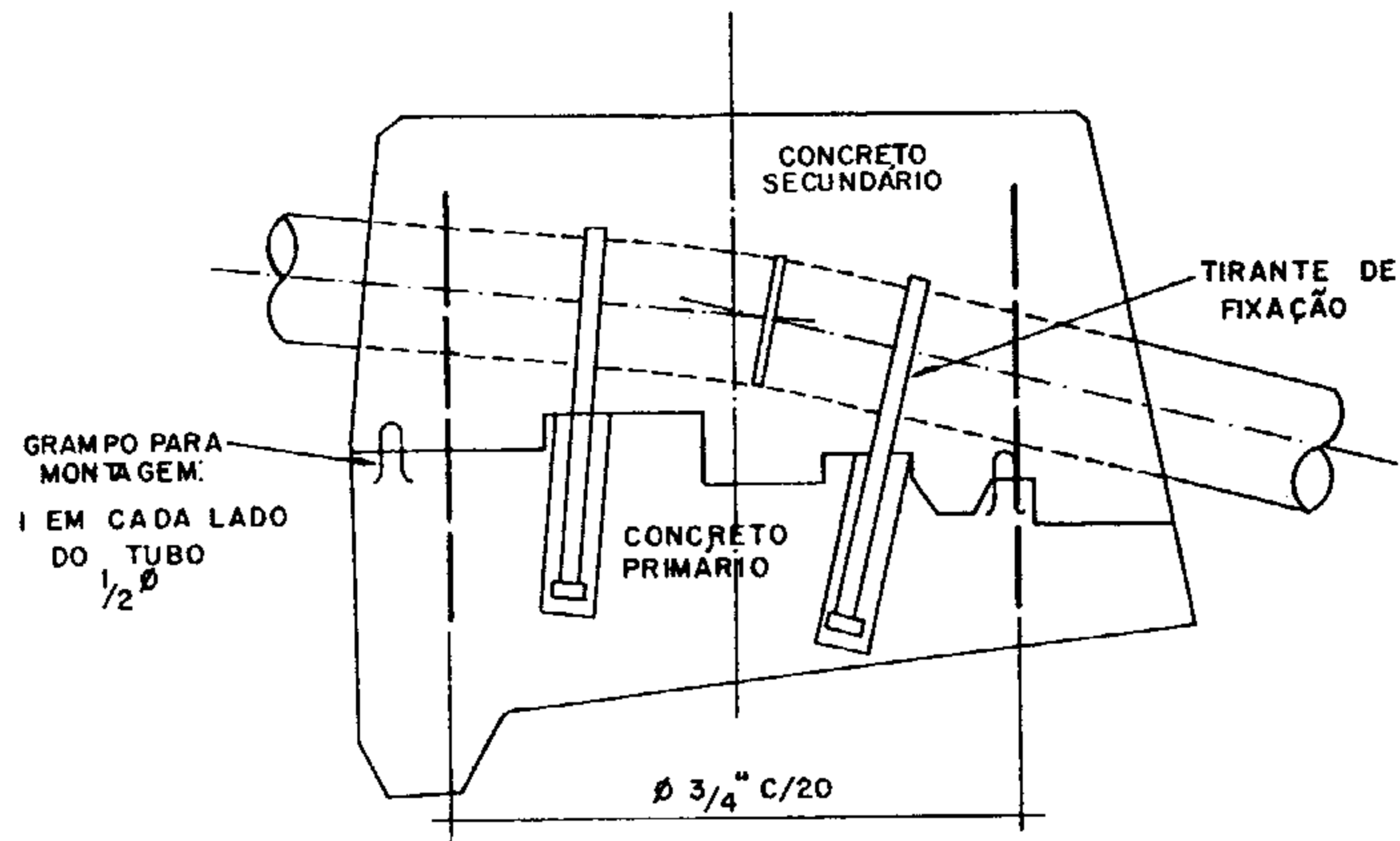
$$B = D + 2E = 0,90 + 2 \times 0,33 = 1,56 \text{ m}$$

$$C_3 = 1,381D + 0,243 = 1,381 \times 0,90 + 0,243 = 1,49 \text{ m}$$

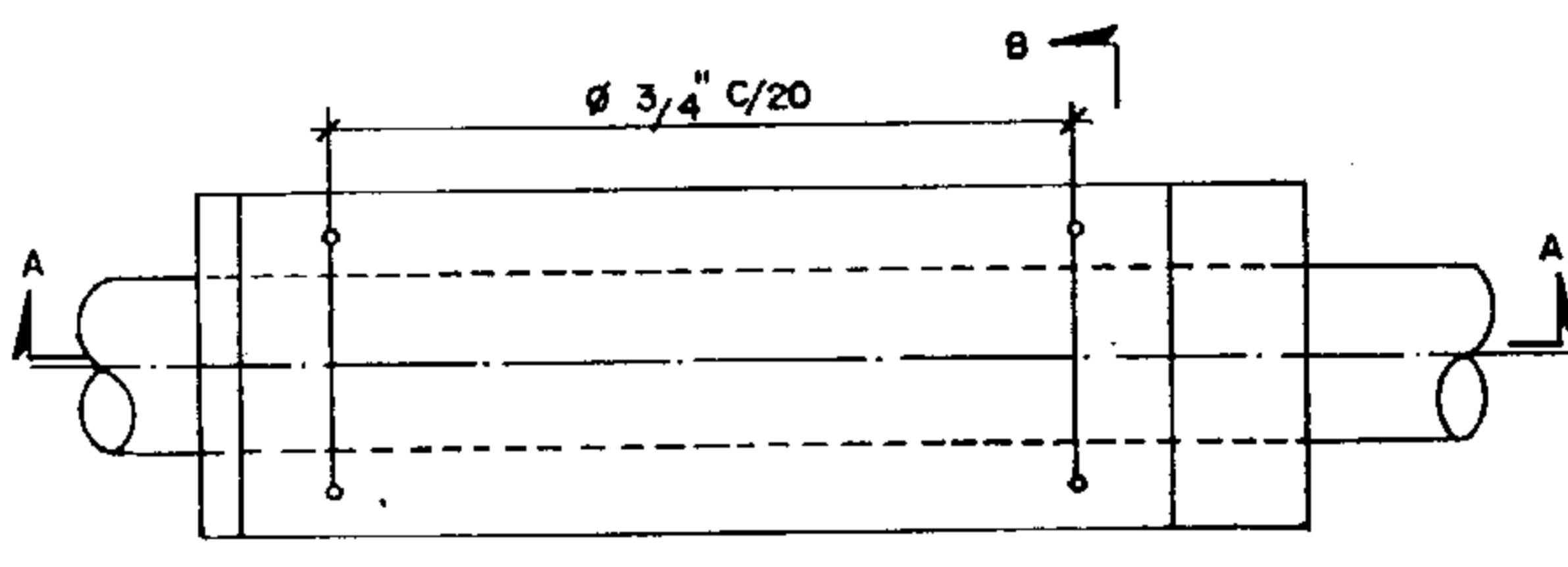
$$\begin{aligned}
A_1 &= C_1 \sin \theta_1 + C_3 \sin \theta_2 + A (1 - \cos \theta_1) \\
&= 2,15 \sin 12^\circ + 1,49 \sin 27^\circ + 0,76 (1 - \cos 12^\circ) \\
&= 2,15 \times 0,20791 + 1,49 \times 0,45399 + 0,76 (1 - 0,97815) = 1,14 \text{ m} \\
A_2 &= \frac{D+E}{\cos \theta_2} = \frac{0,90+0,33}{\cos 27^\circ} = \frac{0,90+0,33}{0,89101} = 1,38 \text{ m} \\
C_2 &= C_1 + (D+E) \operatorname{tg} \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \\
&= 2,15 + (0,90+0,33) \operatorname{tg} \frac{27^\circ - 12^\circ}{2} \\
&= 2,15 + (0,90+0,33) \operatorname{tg} 7^\circ 30' \\
&= 2,15 + (0,90+0,33) 0,13163 = 2,31 \text{ m} \\
C_4 &= C_3 - (D+E) (\operatorname{tg} \theta_2 - \operatorname{tg} \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}) \\
&= 1,49 - (0,90+0,33) (\operatorname{tg} 27^\circ - \operatorname{tg} \frac{27^\circ - 12^\circ}{2}) \\
&= 1,49 - (0,90+0,33) (0,50953 - 0,13163) = 1,03 \text{ m} \\
L'_B &= C_1 \cos \theta_1 + A \sin \theta_1 \\
&= 2,15 \cos 12^\circ + 0,76 \sin 12^\circ \\
&= 2,15 \times 0,97815 + 0,76 \times 0,20791 = 2,26 \text{ m} \\
L''_B &= C_3 \cos \theta_2 = 1,49 \times \cos 27^\circ = 1,49 \times 0,89101 = 1,33 \text{ m} \\
L_B &= L'_B + L''_B = 2,26 + 1,33 = 3,59 \text{ m}
\end{aligned}$$

EXEMPLO DE UM GRANDE BLOCO DE ANCORAGEM  
(CENTRAL HIDRELÉTRICA DE CHAMINÉ)

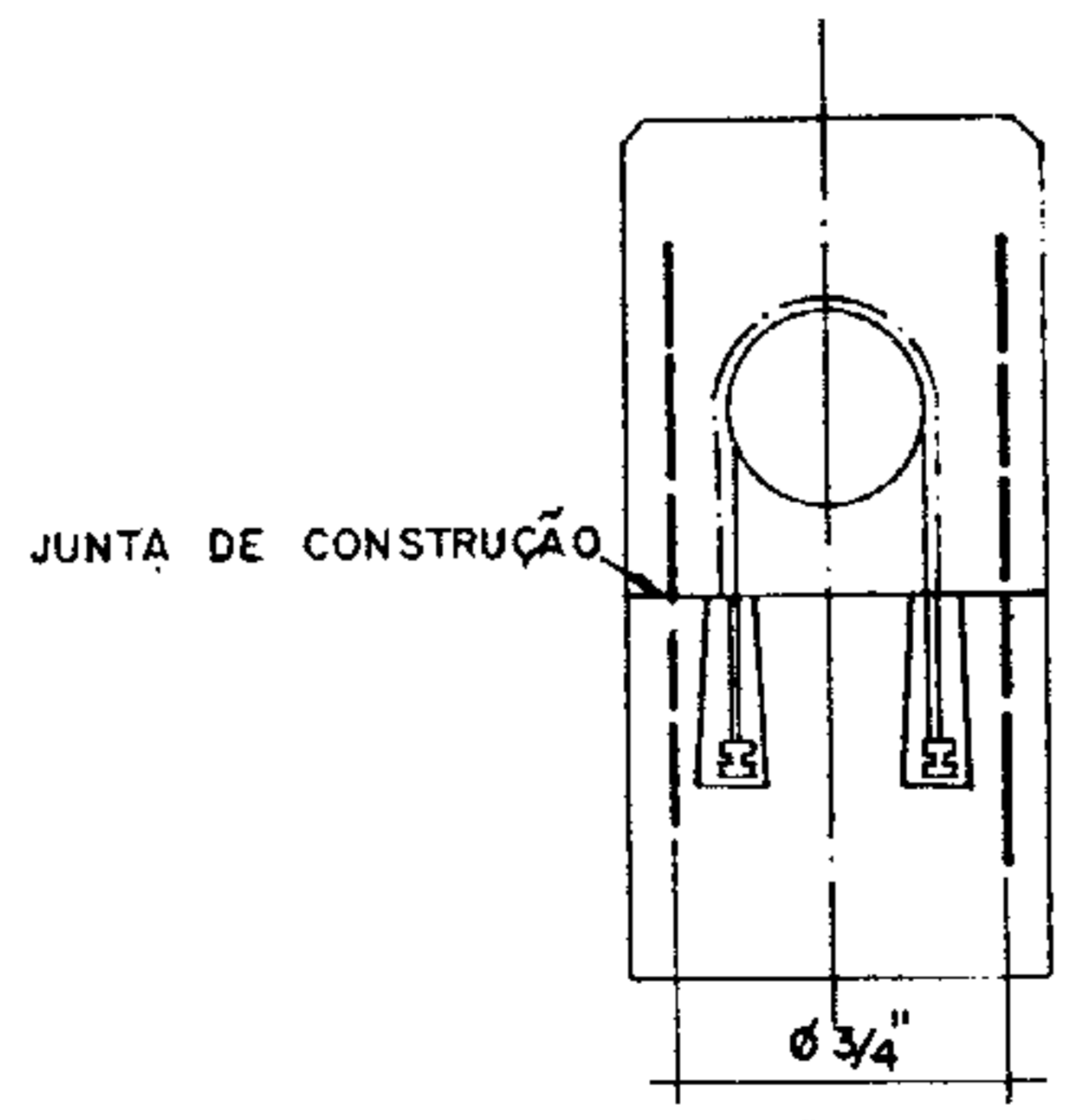
ANEXO



SEÇÃO A-A



PLANTA



SEÇÃO B-B

#### 4.2.1.9 Casa de Máquinas e Canal de Fuga

##### 4.2.1.9.1 Casa de Máquinas

A casa de máquinas é a edificação que abriga os grupos geradores destinados à produção de energia elétrica, bem como os equipamentos auxiliares necessários ao funcionamento da central hidrelétrica.

A posição da casa de máquinas em relação a câmara de carga e ao canal de fuga ou seja, local onde se deve restituir as águas turbinadas ao rio, é de suma importância devido basicamente aos custos envolvidos. Uma vez que a melhor posição da casa de máquinas for estabelecida, deve ser também verificado com bastante cuidado a cota do seu piso, de forma a evitar ser atingido pela cheia do rio.

No caso da instalação de uma turbina do tipo Francis, se as condições topográficas do terreno forem favoráveis ao afastamento da casa de máquinas da margem do rio tornando-a mais próxima da tomada d'água ou câmara de carga, e com isso diminuindo o comprimento da tubulação forçada e sem perder excessivamente a altura de queda, pode-se optar por uma casa de máquinas dotada de um canal de fuga com soleira afogadora para o tubo de sucção. Neste caso, ao invés do nível natural do rio, será obtido artificialmente um nível d'água de restituição das águas turbinadas, que serão encaminhadas para o rio através de um pequeno canal aberto no terreno ou, se houver, através de um talvegue existente entre a casa de máquinas e o rio. O mesmo pode ser efetuado no caso das instalações de turbinas de impulsão (Pelton, Banki, etc) e, nesses casos, não é necessário a construção da soleira afogadora.

Definida a posição da casa de máquina e a posição da turbina do ponto de vista hidráulico, pode-se avaliar a disposição dos equipamentos eletromecânicos. Uma vez estudada e acertada a disposição física em planta e em elevação, deve-se então procurar uma solução compatível de espaço ao redor dos equipamentos para efeito de montagem e possibilidade de futura manutenção (ocasionando possível desmontagem), o que então definirá o espaço útil interno da casa de máquinas. Uma vez estabelecido este espaço físico em planta e em elevação, procura-se dimensionar, convenientemente, a parte estrutural da casa de máquinas.

O projetista deve considerar que qualquer sofisticação acarretará custos adicionais que podem não ser compatíveis com a função da casa de máquinas, onerando desnecessariamente o custo da usina.

#### A) Aspectos Econômicos e Arquitetônicos

A preocupação da economia deve orientar o projeto da casa de máquinas. O método construtivo deve permitir, no menor prazo, a execução da cobertura e de um dispositivo simples de elevação e/ou movimentação das peças e acessórios mais pesados do grupo gerador, durante a fase de construção e montagem. O fabricante da turbina deverá ser consultado para definir o esquema de montagem desse equipamento.

A superestrutura deve ser construída em função dos materiais disponíveis nas proximidades da construção e nas condições mais econômicas.

Os aspectos arquitetônicos podem ser desconsiderados desde que sejam respeitadas as condições mínimas de estética. A construção de uma área de montagem específica é desnecessária, por questão de economia; a proteção e abrigo de peças e equipamentos armazenados durante o período de construção que não possam permanecer expostos ao tempo, poderão efetuar-se em galpão coberto, situado nas imediações da casa de máquinas.

#### B) Estruturas

As casas de máquinas consideradas neste Manual são do tipo "exterior" cobertas.

A infra-estrutura é função do circuito hidráulico e do tipo de turbina e a superestrutura é constituída pelas áreas destinadas à instalação do equipamento eletromecânico e de um pequeno banheiro.

##### - Infra-Estrutura

###### a) Fundações

O circuito hidráulico de alimentação da turbina e o de restituição das águas, geralmente são dispostos no lado do talude de margem do rio; o poço do tubo de sucção da turbina pode ser revestido com pedra ou executado em concreto; o fundo, dependendo do nível de afogamento das águas, do material que compõe a fundação e da velocidade do escoamento à saída do tubo de sucção, poderá dispensar revestimento.

As fundações para as turbinas e o gerador serão em base de concreto armado, assentes sobre o piso, com as dimensões, recomendadas pelos fabricantes desses equipamentos.

###### b) Piso

O piso da casa de máquinas deverá ser revestido com material que evite o acúmulo de poeira. Uma vez as máquinas devidamente instaladas, o piso poderá ser acabado com a-

plicação de lajotas, caliça assentada sobre terra batida e coberta com argamassa de cimento ou pedras irregulares rejuntadas com argamassa de cimento e areia.

O tipo de piso deverá ser compatibilizado com a movimentação da talha, caso seja empregado um pòrtico móvel equipado com rodas.

Quando o acoplamento entre turbina e gerador for por correia, existe a possibilidade de colocar o gerador em cota mais alta, sobre uma base, a fim de melhorar a proteção contra inundação.

#### - Superestrutura

##### a) Paredes

Podem ser de:

- . madeira bruta ou tratada
- . pedra de cantaria
- . alvenaria de tijolo
- . pré-moldados de concreto
- . outros

A iluminação natural interior deve ser ampla, feita com aberturas, sem fugir da estética mínima arquitetônica, o mais próximas possível do teto; não devem existir clarabóias devido ao perigo da condensação do vapor d'água. As aberturas devem auxiliar os aspectos da ventilação natural, pois o gerador cederá calor diretamente para o ambiente da casa de máquinas, podendo elevar excessivamente a temperatura do seu interior.

A porta principal deverá ter largura não inferior a 2,40 m, constituída por duas folhas de 1,20 m cada uma, e altura de 2,50 m, e deverá ser sempre compatível com as dimensões do equipamento, ou seja, no mínimo com uma folga a mais de 0,50 m na largura e 0,30 m na altura em relação a estas dimensões do equipamento.

##### b) Cobertura

A cobertura da casa de máquinas deverá ser construída com materiais de baixa condutibilidade térmica, de modo a evitar a condensação de vapor e o conseqüente gotejamento. Por este motivo, deve-se evitar a utilização de materiais metálicos em regiões de clima frio. São recomendados, basicamente, os seguintes materiais:

- telha francesa, tipo canal, etc.;
- cimento amianto;
- canaleta;
- outros semelhantes.

### C) Dimensionamento

#### a) Geral

A casa de máquinas é elemento principal da central hidrelétrica; dela partem as linhas da rede elétrica; nela estão concentrados os indicadores, dispositivos de proteção e quadro de controle e de comando necessários ao bom funcionamento da central.

Não foram consideradas as instalações para operador, além de um pequeno banheiro, nem dispositivos de comunicação à distância, como telefone ou outros, deixando-se a opção por essas facilidades operacionais por conta do proprietário.

Os grupos geradores (turbina e gerador) são assentados em fundações de acordo com o desenho fornecido pelo fabricante da turbina. Os equipamentos são aparafusados às fundações para facilitar a remoção em caso de manutenção e reparo.

O transformador, que entrega a corrente do grupo gerador diretamente à linha de alimentação, deve ser instalado fora da casa de máquinas, devido a maior ventilação e não comprometer o equipamento eletromecânico interno em caso de incêndio.

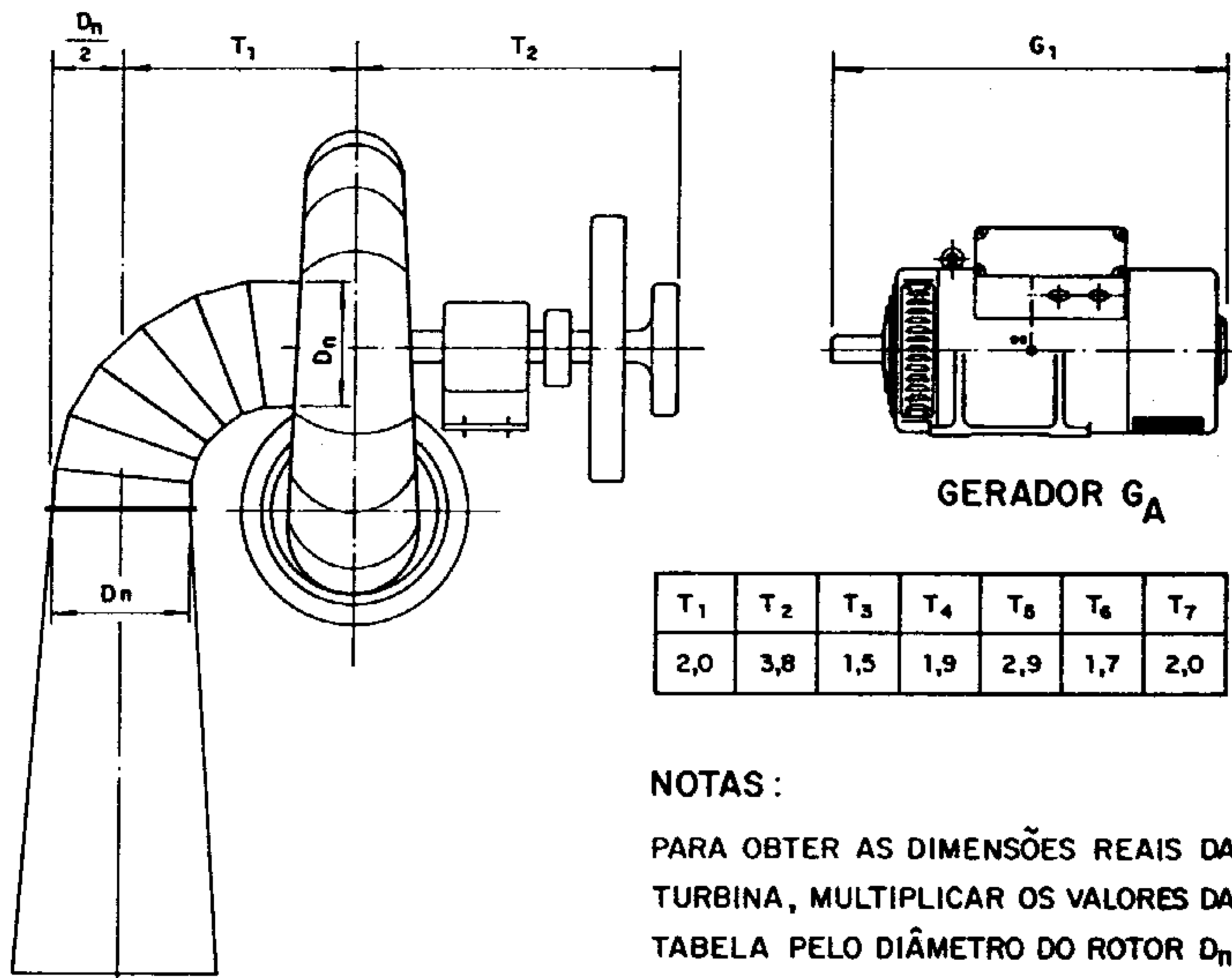
#### b) Instalação Típica (Recomendável)

O dimensionamento preliminar da casa de máquinas poderá ser feito com base nos ANEXOS 4.2.1.9/A a D, nos quais indicam-se valores das áreas destinadas aos principais equipamentos e as dimensões principais da casa de máquinas típica para uma turbina Francis com caixa espiral de rotor simples. Outras variações de turbina Francis estão ilustradas nos ANEXOS 4.2.1.9/E e F. Para definição do circuito hidráulico do canal de fuga, ver o item 4.2.1.9.2.

As dimensões que estão indicadas com letras, dependem das dimensões finais dos equipamentos, embora os quadros do ANEXO 4.2.1.9/D, indiquem as dimensões recomendáveis. As demais são fixadas, pois elas são os valores mínimos recomendáveis para atender os requisitos de iluminação, ventilação, circulação e movimentação dos equipamentos no interior da casa de máquinas. O arranjo dos equipamentos e as dimensões finais da casa de máquinas poderão ser fornecidos pelo fabricante da turbina.

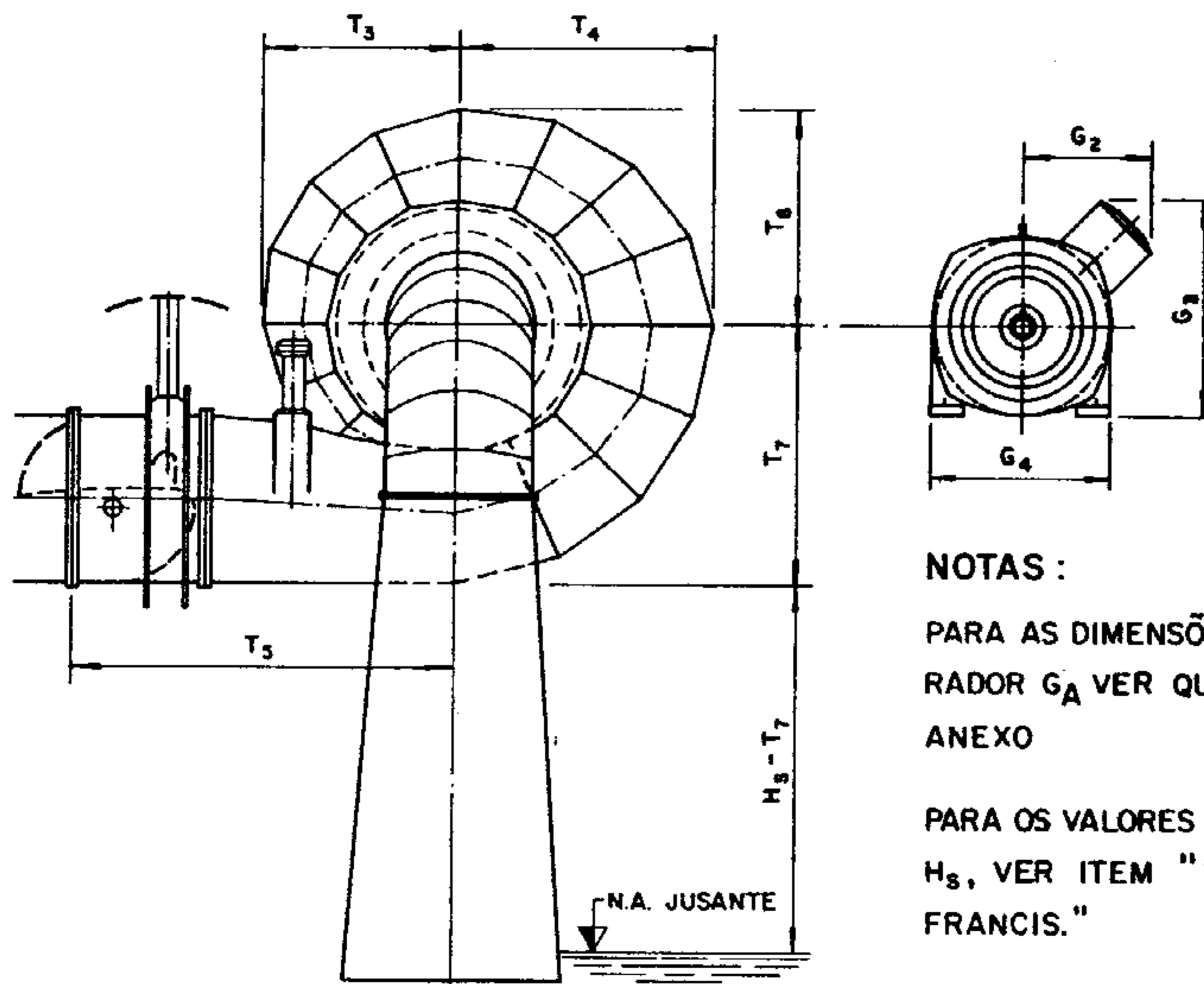


## DIMENSÕES BÁSICAS DO GRUPO TURBINA FRANCIS/GERADOR PARA O DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DA CASA DE MÁQUINAS.



### NOTAS :

PARA OBTER AS DIMENSÕES REAIS DA TURBINA, MULTIPLICAR OS VALORES DA TABELA PELO DIÂMETRO DO ROTOR  $D_n$ .



### NOTAS :

PARA AS DIMENSÕES DO GERADOR  $G_A$  VER QUADRO DO ANEXO

PARA OS VALORES DE  $D_n$  E  $H_s$ , VER ITEM "TURBINAS FRANCIS."

4.2.1.9/B

DIMENSÕES BÁSICAS DOS GERADORES  $G_A$

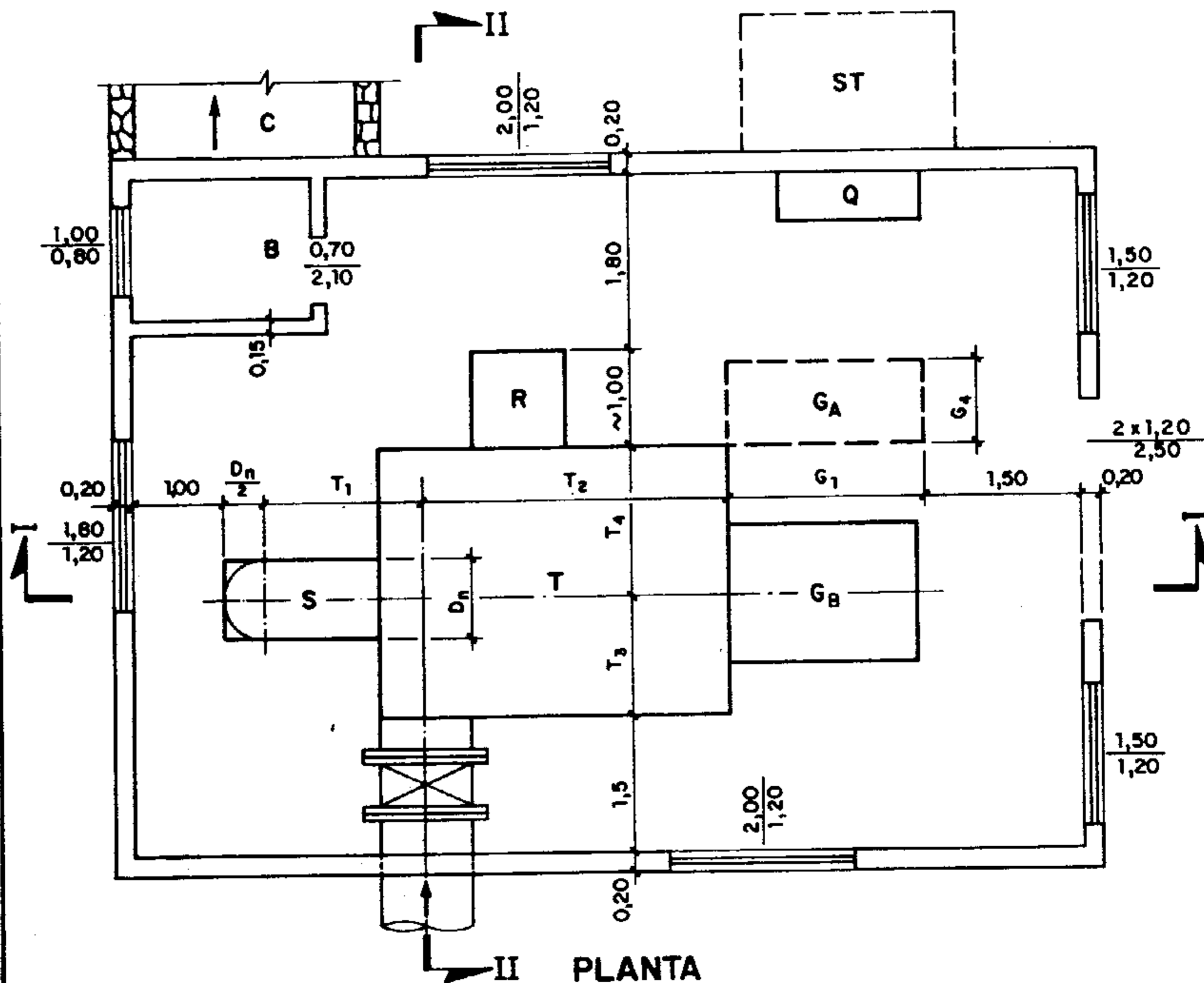
ANEXO

POTÊNCIA (kW)	$G_1$ (m)	$G_2$ (m)	$G_3$ (m)	$G_4$ (m)	POTÊNCIA (kW)	$G_1$ (m)	$G_2$ (m)	$G_3$ (m)	$G_4$ (m)
100	1,20	0,40	0,65	0,50	360	1,45	0,45	0,75	0,65
110	1,20	0,40	0,65	0,50	400	1,45	0,50	0,85	0,75
130	1,30	0,40	0,65	0,50	450	1,55	0,50	0,85	0,75
145	1,30	0,40	0,65	0,60	500	1,55	0,50	0,85	0,75
160	1,30	0,40	0,70	0,60	570	1,75	0,65	1,10	0,85
180	1,30	0,40	0,70	0,60	640	1,80	0,65	1,10	0,85
200	1,40	0,40	0,70	0,60	720	1,80	0,65	1,10	0,85
225	1,40	0,40	0,70	0,60	800	1,90	0,70	1,10	0,85
250	1,40	0,40	0,70	0,60	880	1,90	0,70	1,10	0,85
280	1,35	0,45	0,75	0,65	1000	2,10	0,70	1,10	0,85
320	1,45	0,45	0,75	0,65	-	-	-	-	-

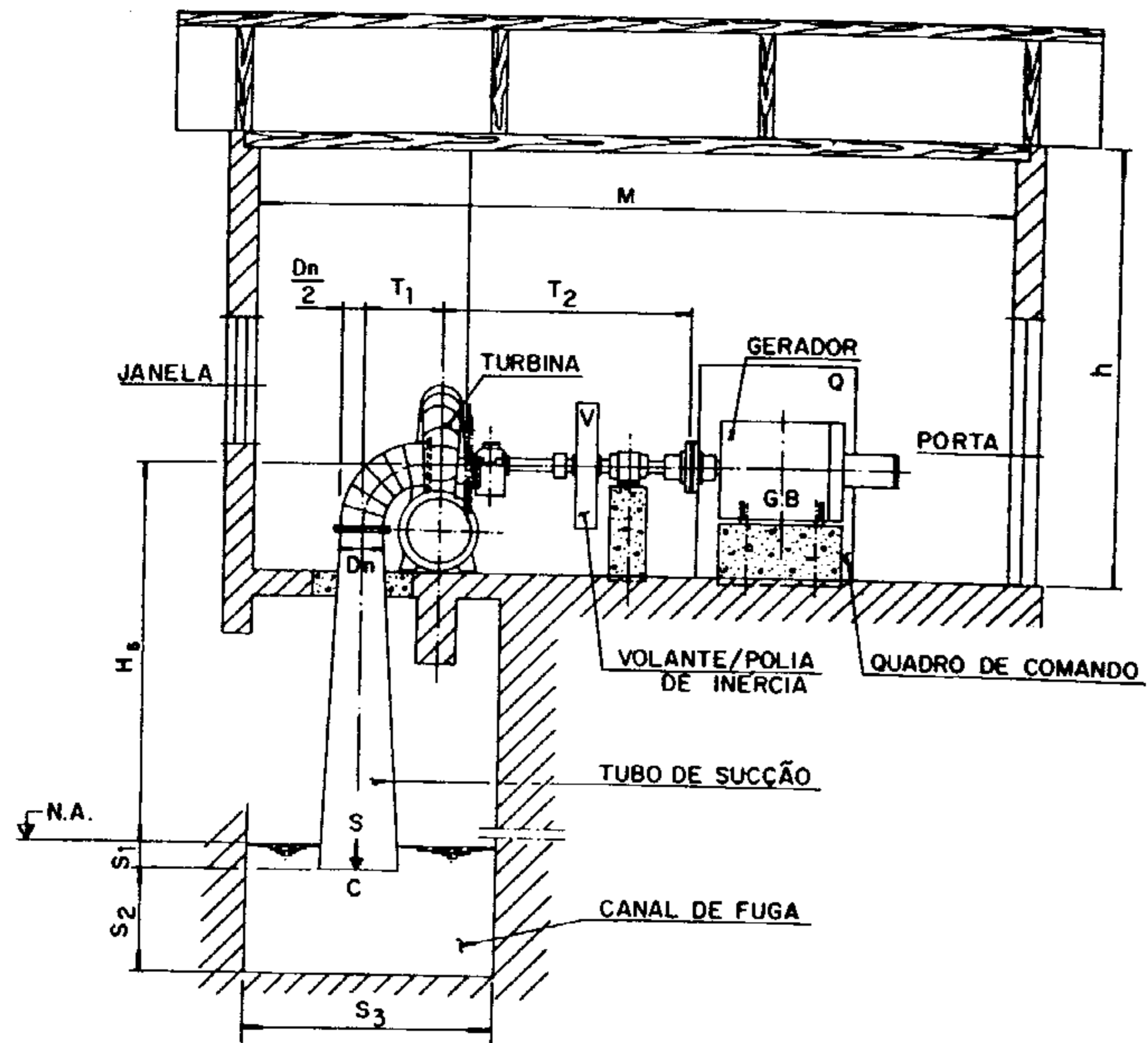
GERADORES TRIFÁSICOS - FATOR DE POTÊNCIA = 0,80, 4 POLOS, 1800 rpm.

CASA DE MÁQUINAS

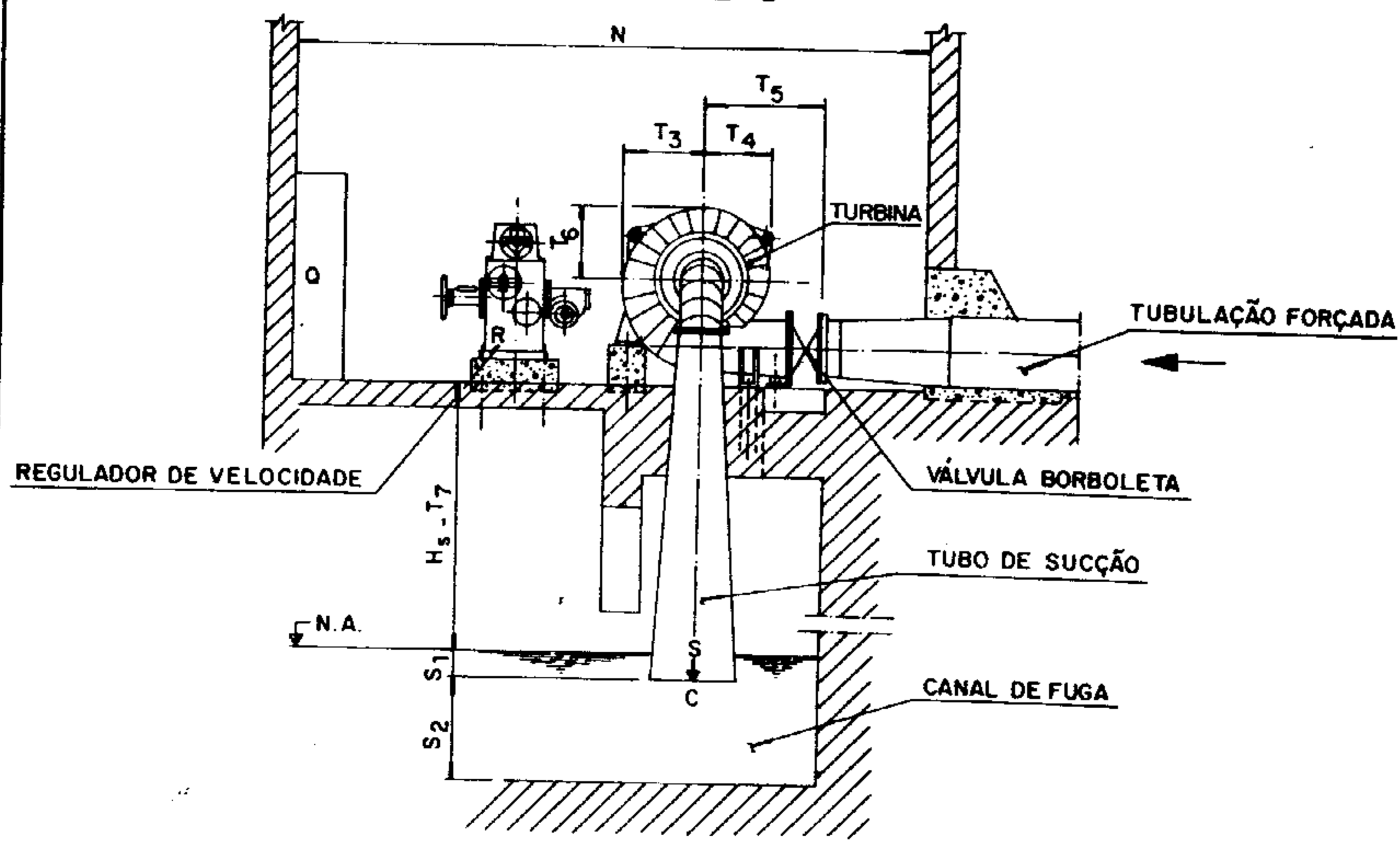
INSTALAÇÃO TÍPICA PARA TURBINA FRANCIS, CAIXA ESPIRAL, ROTOR SIMPLES



### CASA DE MÁQUINAS - CORTES



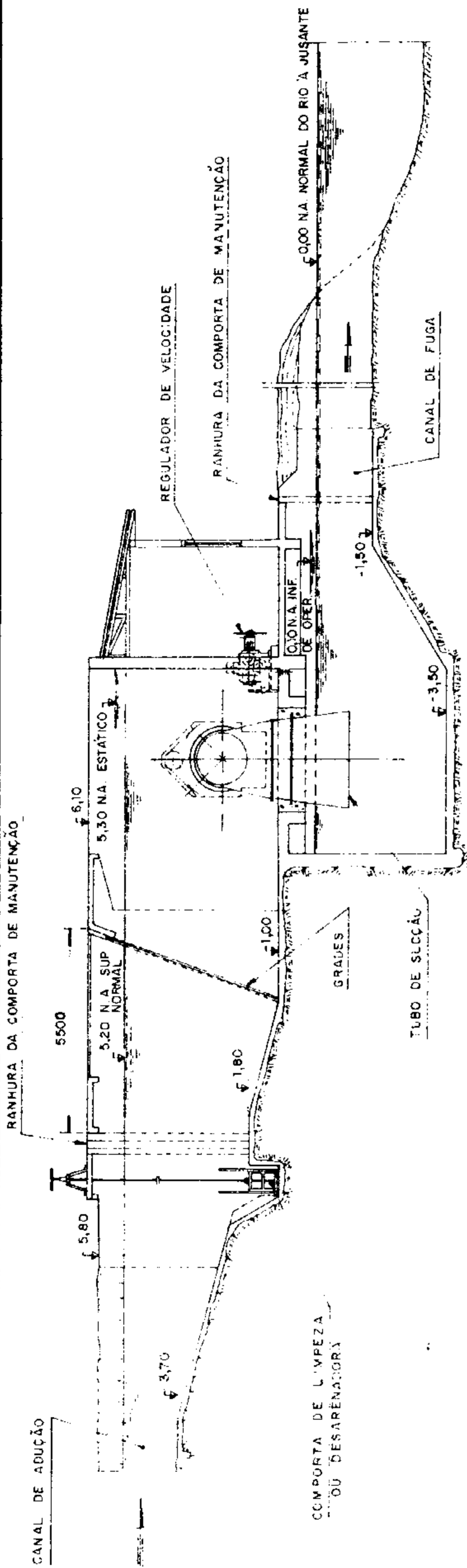
CORTE I-I



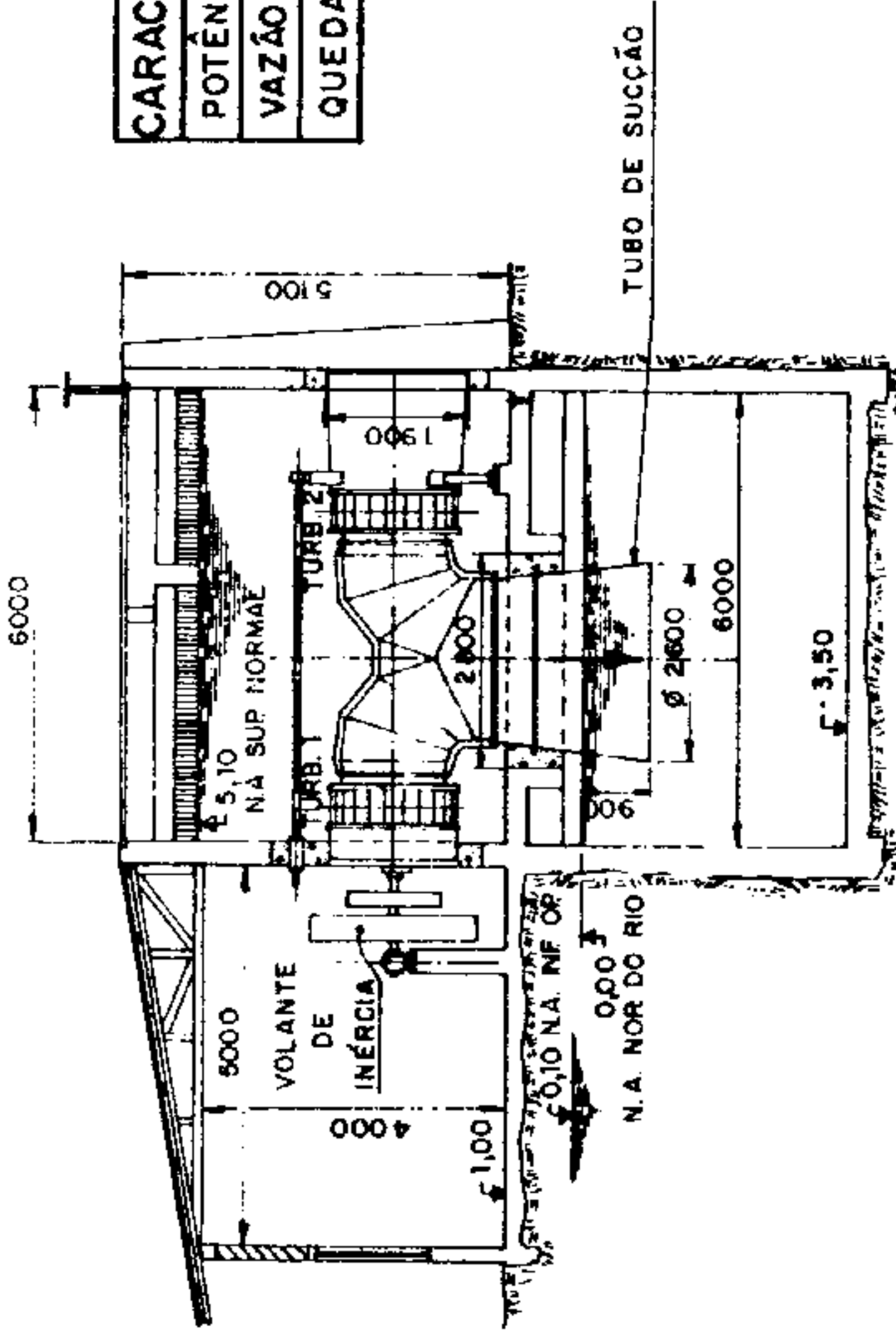
CORTE II-II

SIMBOLOGIA	DESIGNAÇÃO	OBSERVAÇÃO
T	TURBINA	FRANCIS-HORIZONTAL
V	VOLANTE/POLIA	-
R	REGULADOR DE VELOCIDADE	-
S	TUBO DE SUCÇÃO	-
C	CANAL DE FUGA	-
G <sub>A</sub>	GERADOR COM ACOPLAMENTO INDIRETO	POR CORREIA
G <sub>B</sub>	GERADOR COM ACOPLAMENTO DIRETO	-
Q	QUADRO DE COMANDO	-
ST	SUBESTAÇÃO	QUANDO HOVER
B	BANHEIRO	SANITÁRIO E PIA

DESIGNAÇÃO	REFERÊNCIA	DIMENSÕES (m)	OBSERVAÇÃO
COMPRIMENTO	M	$\frac{D}{2} + T_1 + T_2 + G_1 + 2,50$	DIMENSÃO MÍNIMA
LARGURA	N	$T_3 + T_4 + 4,30$	DIMENSÃO MÍNIMA
PÉ DIREITO	h	4,50 a 5,50	-
GERADOR G <sub>A</sub>	G <sub>1</sub>	-	VIDE ANEXO 4.2.1.9/B
GERADOR G <sub>B</sub>	G <sub>2</sub>	-	CONSULTAR FABRICANTE
SUCÇÃO	H <sub>s</sub> , S <sub>1</sub> e S <sub>2</sub>	-	VIDE ITEM 4.2.3.4.2
SUCÇÃO	T <sub>7</sub>	-	VIDE ANEXO 4.2.1.9/A
CANAL DE FUGA	-	-	VIDE ITEM 4.2.1.9.2
SUBESTAÇÃO	-	-	CONSULTAR FABRICANTE
BANHEIRO	B	1,50 x 2,00	-



CORTE LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL

CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO	
POTÊNCIA DA TURBINA	P = 400 kW
VAZÃO TURBINADA	Q = 11 m <sup>3</sup> /s
QUEDA BRUTA	H <sub>b</sub> = 5,3 m

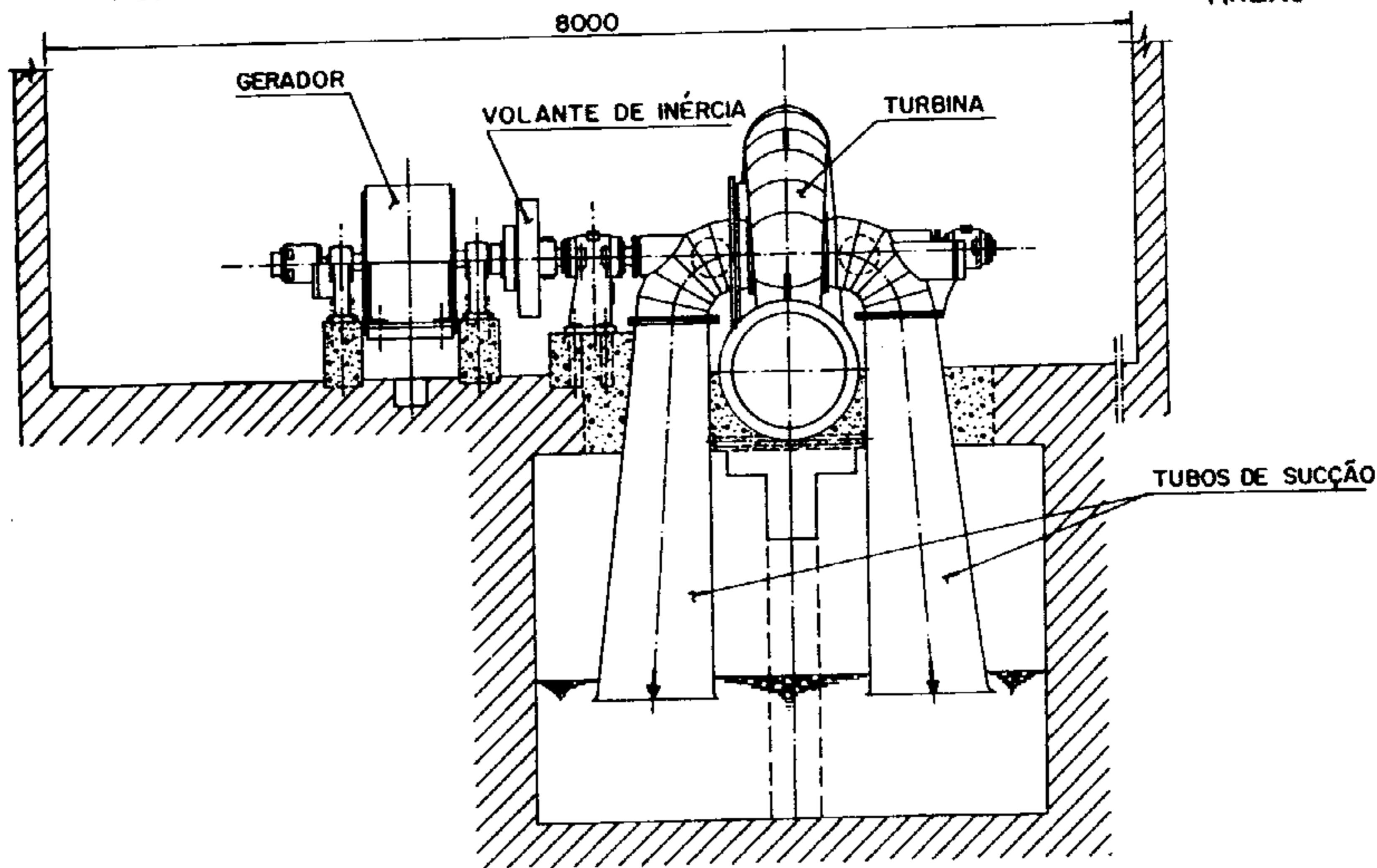
NOTA:  
1 - Dimensões em milímetro e elevações em metro.

CASA DE MÁQUINAS (ilustração) - Turbina FRANCIS, caixa aberta, rotor duplo

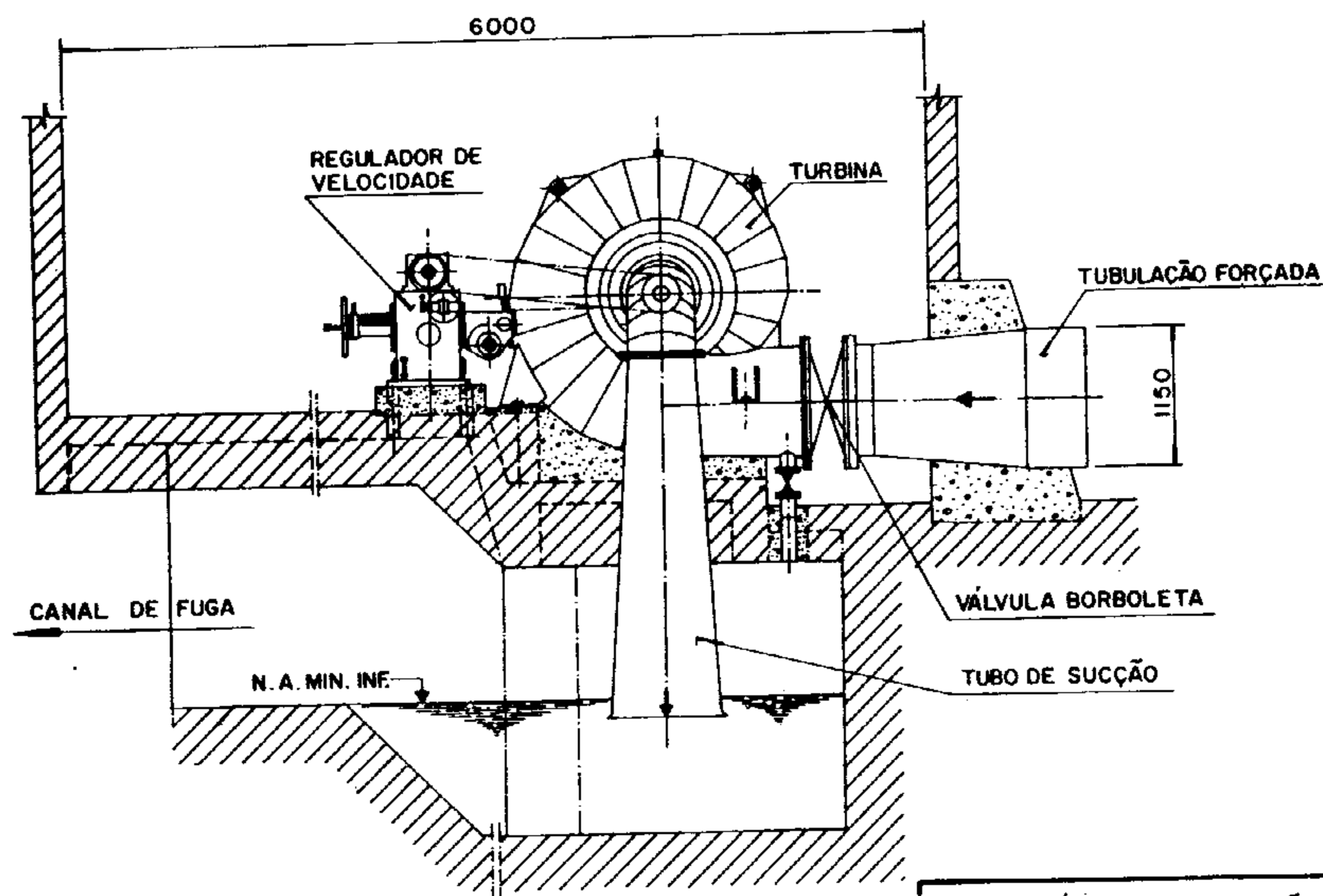
CASA DE MÁQUINAS (ILUSTRAÇÃO)  
TURBINA FRANCIS, CAIXA ESPIRAL, ROTOR GÊMEO

4.2.1.9/F

ANEXO



CORTE LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL

NOTA:  
1 - DIMENSÕES EM MILÍMETRO.

CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO	
POTÊNCIA DA TURBINA	$P = 515 \text{ kW}$
VAZÃO TURBINADA	$Q = 2,7 \text{ m}^3/\text{s}$
QUEDA BRUTA	$H_b = 27 \text{ m}$

#### 4.2.1.9.2 Canal de Fuga

##### A) Dimensionamento

Canal de fuga é a estrutura que faz recondução da água ao rio, após a passagem pela turbina.

Na saída da turbina, a água pode apresentar velocidade razoável, e para evitar erosões, quer no fundo do canal, quer nas paredes laterais, são apresentadas no ANEXO 4.2.1.9/G as dimensões básicas recomendadas para o canal de fuga.

No caso de turbinas que utilizam tubo de sucção, quando se de seja locar a casa de máquinas afastada da margem do rio em terreno mais alto, a fim de diminuir o comprimento da tubulação forçada ou ficar fora da área de inundação, torna-se necessária a instalação de uma soleira afogadora na saída do tubo de sucção. A soleira tem como função afogar a boca do tubo de sucção com a criação de um nível d'água de restituição artificial mais alto que o nível d'água natural do rio.

A altura de afogamento do tubo de sucção deve ser fornecida pelo fabricante da turbina, que deverá também confirmar as demais medidas recomendadas pelo Manual para o canal de fuga, tendo em vista as características da turbina por ele fabricada.

##### B) Recomendações Construtivas

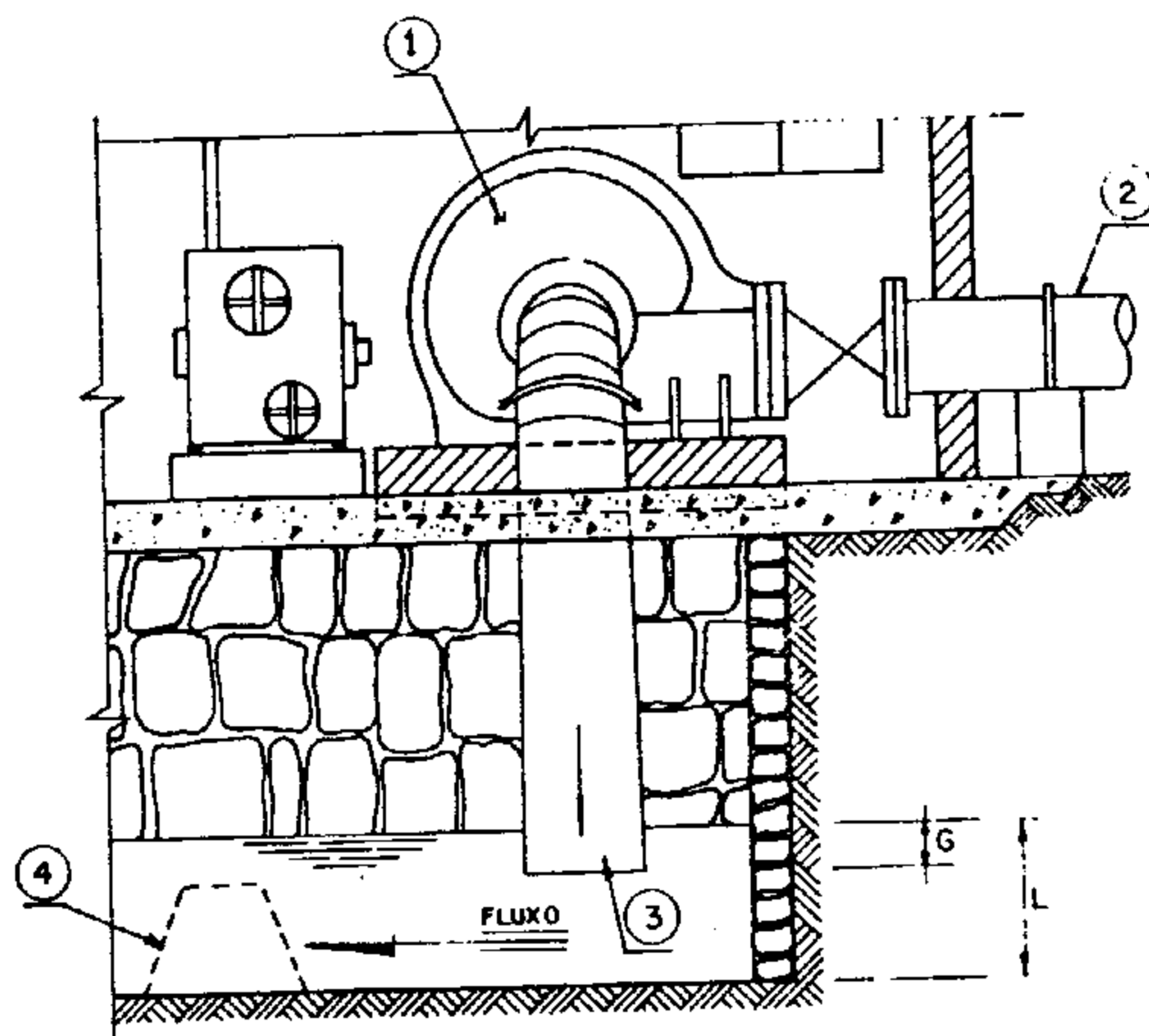
As pedras de revestimento das paredes do canal, deverão ser rejuntadas com argamassa de cimento e areia, na proporção 1:3 para obter revestimento de maior resistência contra erosão.

O fundo do canal, nas imediações da saída do tubo de sucção, deve ser adequadamente protegido com pedras argamassadas ou concreto, quando a área não for em rocha sã.

No caso da casa de máquinas afastada do rio, quando se tem uma soleira afogadora e o nível d'água de restituição artificial é mais alto que o nível natural, a água de restituição deve ser encaminhada ao rio através de um talvegue ou um pequeno canal adaptado ao terreno natural.

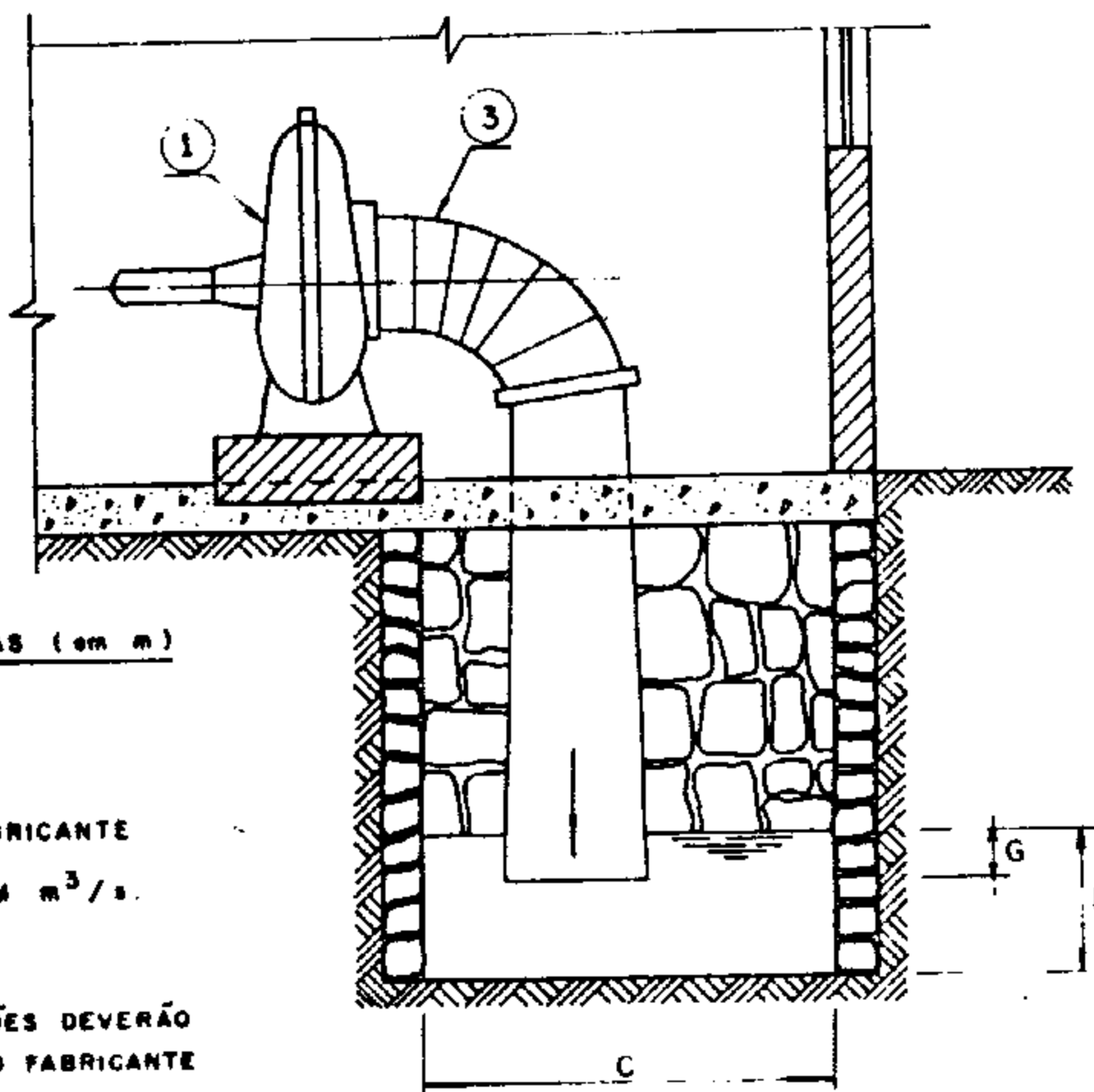
O fabricante das turbinas deverá ser consultado para indicar em seu projeto, sobre a necessidade e o posicionamento da soleira.

## CANAL DE FUGA (Dimensões básicas)



- ① TURBINA
- ② TUBULAÇÃO FORÇADA
- ③ TUBO DE SUÇÃO
- ④ SOLEIRA AFOGADORA

### SEÇÃO LONGITUDINAL



#### DIMENSÕES RECOMENDADAS (em m)

$$L = 0,1 Q + 1,30$$

$$C = 0,09 Q + 2,30$$

G = FORNECIDO PELO FABRICANTE

Q = VAZÃO TURBINADA EM  $m^3/s$ .

OBS: TODAS AS DIMENSÕES DEVERÃO SER CONFIRMADAS PELO FABRICANTE DA TURBINA.

### SEÇÃO TRANSVERSAL

OBS: AS DIMENSÕES INDICADAS, EM METRO, SÃO AS MÍNIMAS RECOMENDADAS



#### 4.2.1.10 Desvio do Rio

##### 4.2.1.10.1 Objetivo

Neste item são propostas três soluções básicas para desvios de rios nos locais de construção das barragens.

Na execução de várias barragens (homogênea de terra, concreto, madeira, de enrocamento com vedação central) que exigem construção a seco, o desvio do rio assume elevada importância nos locais que podem ser atingidos pelas águas do rio.

Na execução de barragens de enrocamento com vedação a montante, o desvio do rio pode não se constituir em uma fase distinta, podendo a estrutura ser construída totalmente com materiais lançados na água, não necessitando de ensecadeiras para construção a seco do corpo da barragem.

Recomenda-se, para complementação das informações contidas neste item, a leitura do exposto no item 4.2.1.2.3 - Dimensionamento do Vertedouro - Canal Extravasor.

##### 4.2.1.10.2 Descarga de Desvio

A decisão quanto à descarga de desvio será tomada conforme exposto no item 4.1.4 - "Estudos Hidrológicos".

##### 4.2.1.10.3 Projetos Típicos de Desvio

São apresentadas a seguir três soluções típicas de desvio para vales relativamente abertos:

- Caso 1 - Barragens de enrocamento com vedação a montante.
- Caso 2 - Outros tipos de barragens construídas a seco.
- Caso 3 - Barragens vertedouras.

##### A) Caso 1 - Barragens de enrocamento com vedação a montante.

No caso de barragens com seção de materiais granulares lançados na água, com vedação de solo a montante, não há necessidade de obras específicas para desvio do rio.

A seqüência de construção está descrita a seguir:

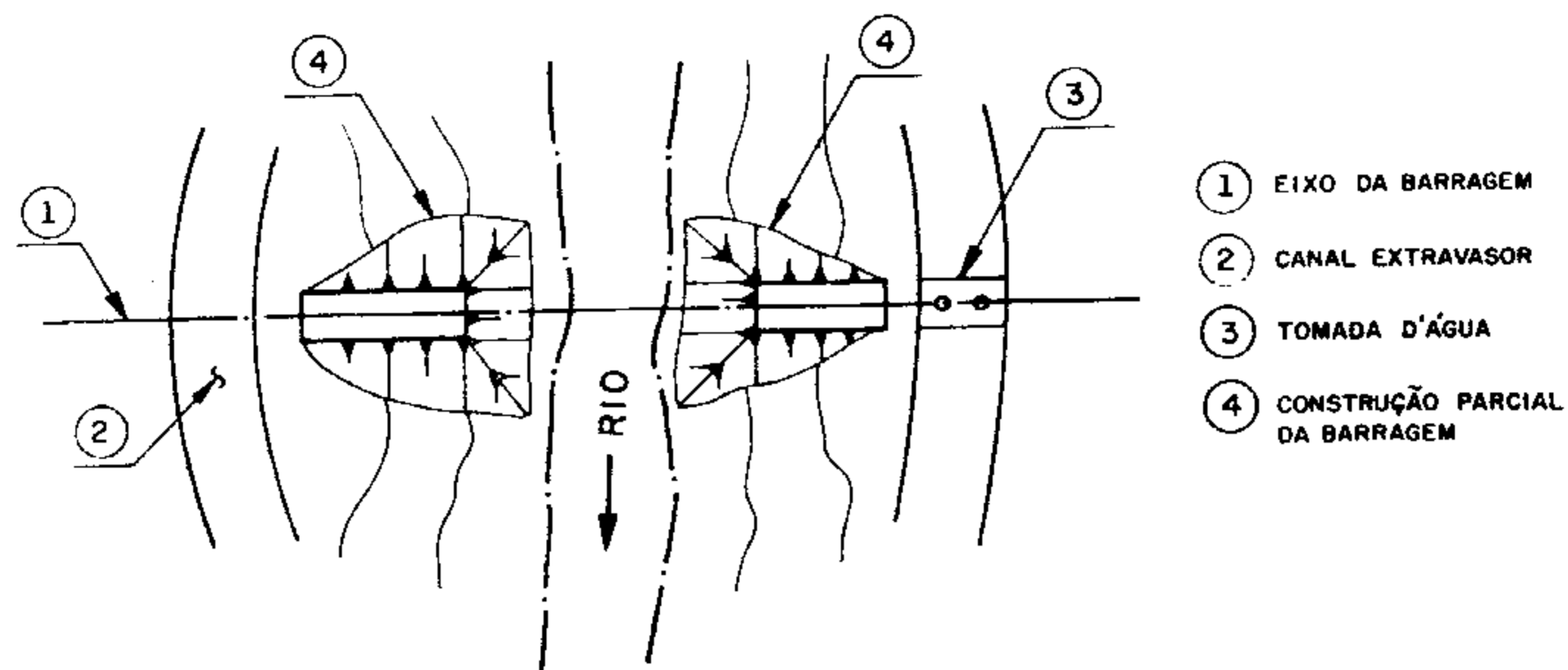


FIGURA 4.2.1.10/1

- ETAPA 1 (FIGURA 4.2.1.10/1)

- . Construção parcial da barragem, a seco, com materiais granulares, em ambas as margens;
- . Execução das demais obras e serviços previstos nesta etapa, ou seja, escavação do canal para implantação da tomada d'água ou do sistema de captação, conforme item 4.2.1.3, e escavação do canal extravasador para implantação do vertedouro, conforme item 4.2.1.2.

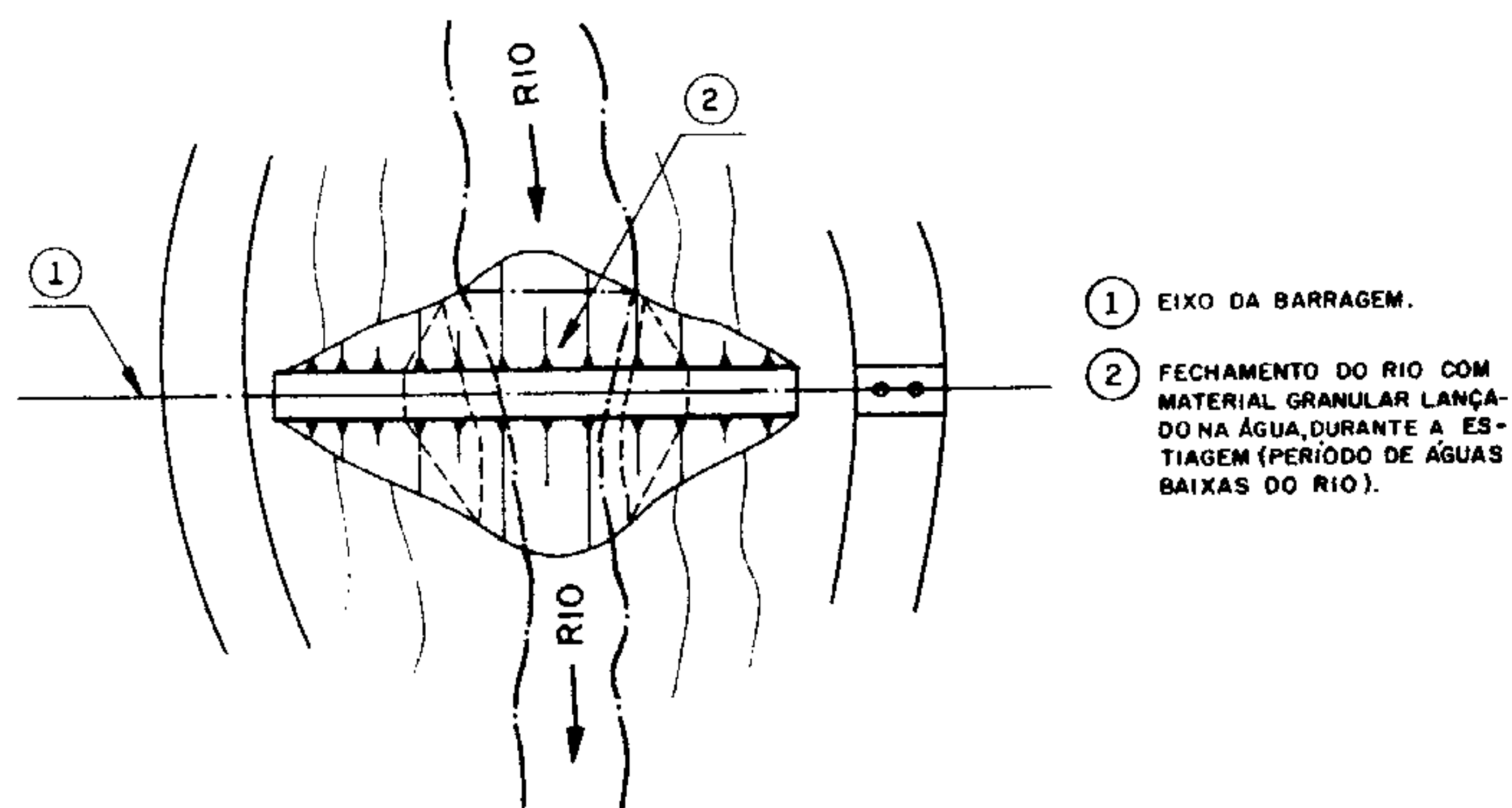


FIGURA 4.2.1.10/2

- ETAPA 2 (FIGURA 4.2.1.10/2)

- . Uma vez concluída a escavação para o canal extravasor, fecha-se o rio, na estiagem, com materiais francamente permeáveis (enrocamento, cascalho), com o fluxo do rio escoando, por percolação, através do maciço permeável da barragem.

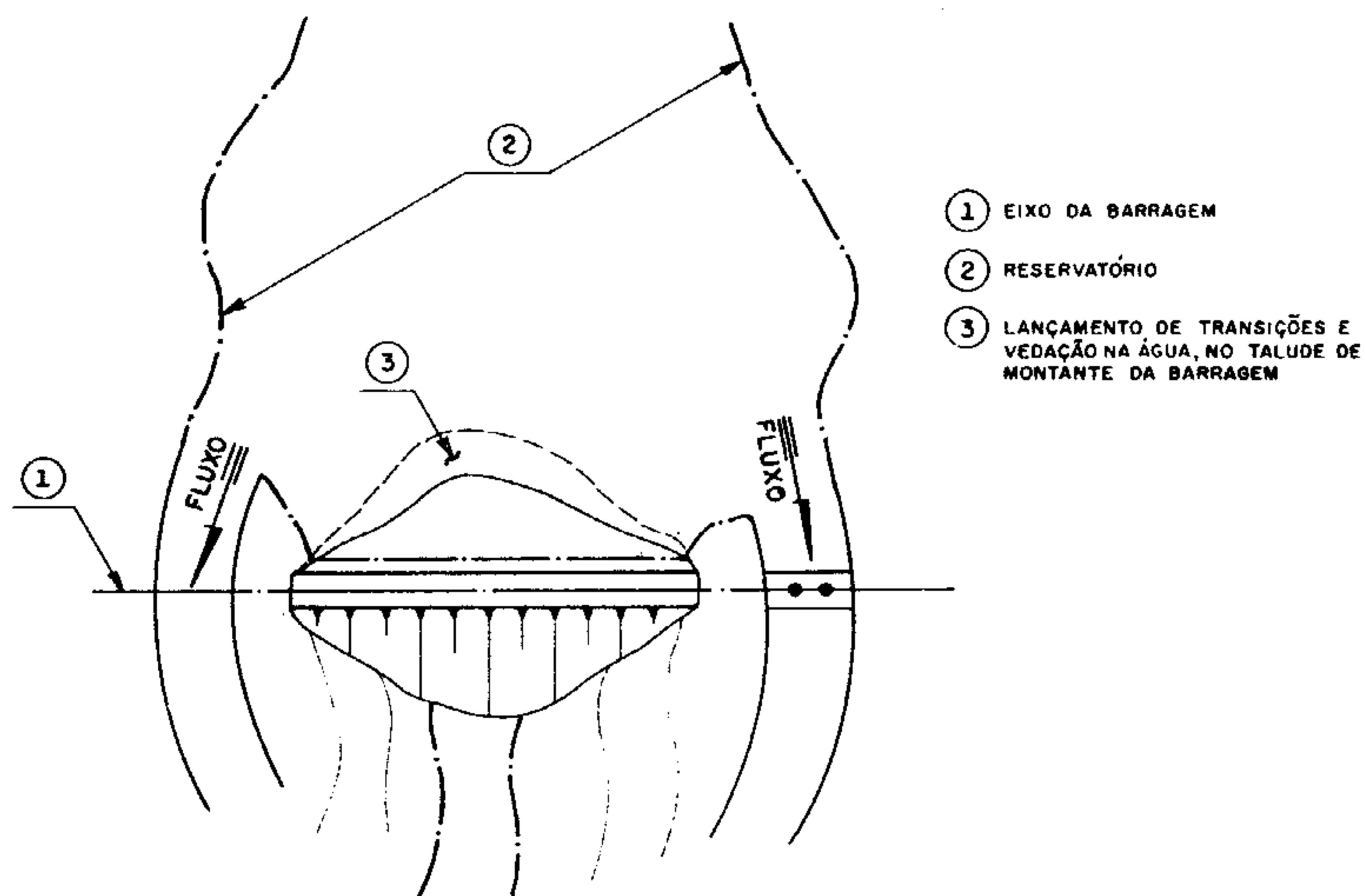


FIGURA 4.2.1.10/3

- ETAPA 3 (FIGURA 4.2.1.10/3)

- . Remoção eventual de materiais permeáveis sob a vedação de montante.
- . Lançamento, na água, de transições e da vedação a montante, com o conseqüente enchimento do reservatório.

B) Caso 2 - Outros tipos de barragem construídas a seco.

No caso de barragens de concreto, alvenaria, madeira, que exijam construção a seco, existem fases distintas e obras de desvio do rio. Neste caso está inserido também o de barragem de solo compactado (tipo homogênea), em locais onde há escassez de enrocamento e cascalho para construção de maciços lançados na água.

A seqüência de construção está descrita a seguir:

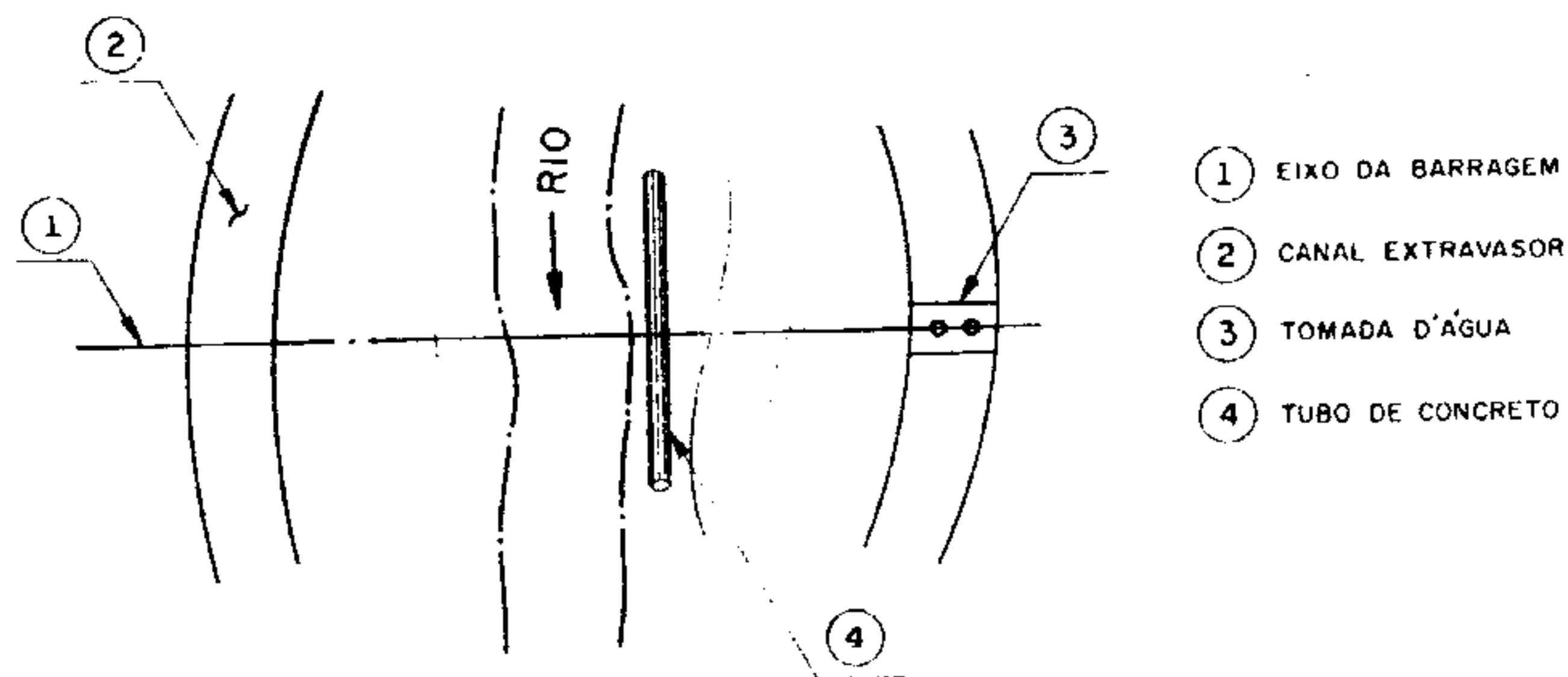


FIGURA 4.2.1.10/4

- ETAPA 1 (FIGURA 4.2.1.10/4)

- . Implantação da tubulação (tubo de concreto) para desvio. O tubo deverá ser colocado sobre um "berço" de material compactado, ou concreto, após pequena escavação para acomodá-lo sem desvios.
- . Execução das demais obras e serviços previstos nesta etapa, ou seja, escavação do canal para implantação da tomada d'água ou do sistema de captação, conforme item 4.2.1.3, e escavação do canal extravasador para implantação do vertedouro, conforme item 4.2.1.2.

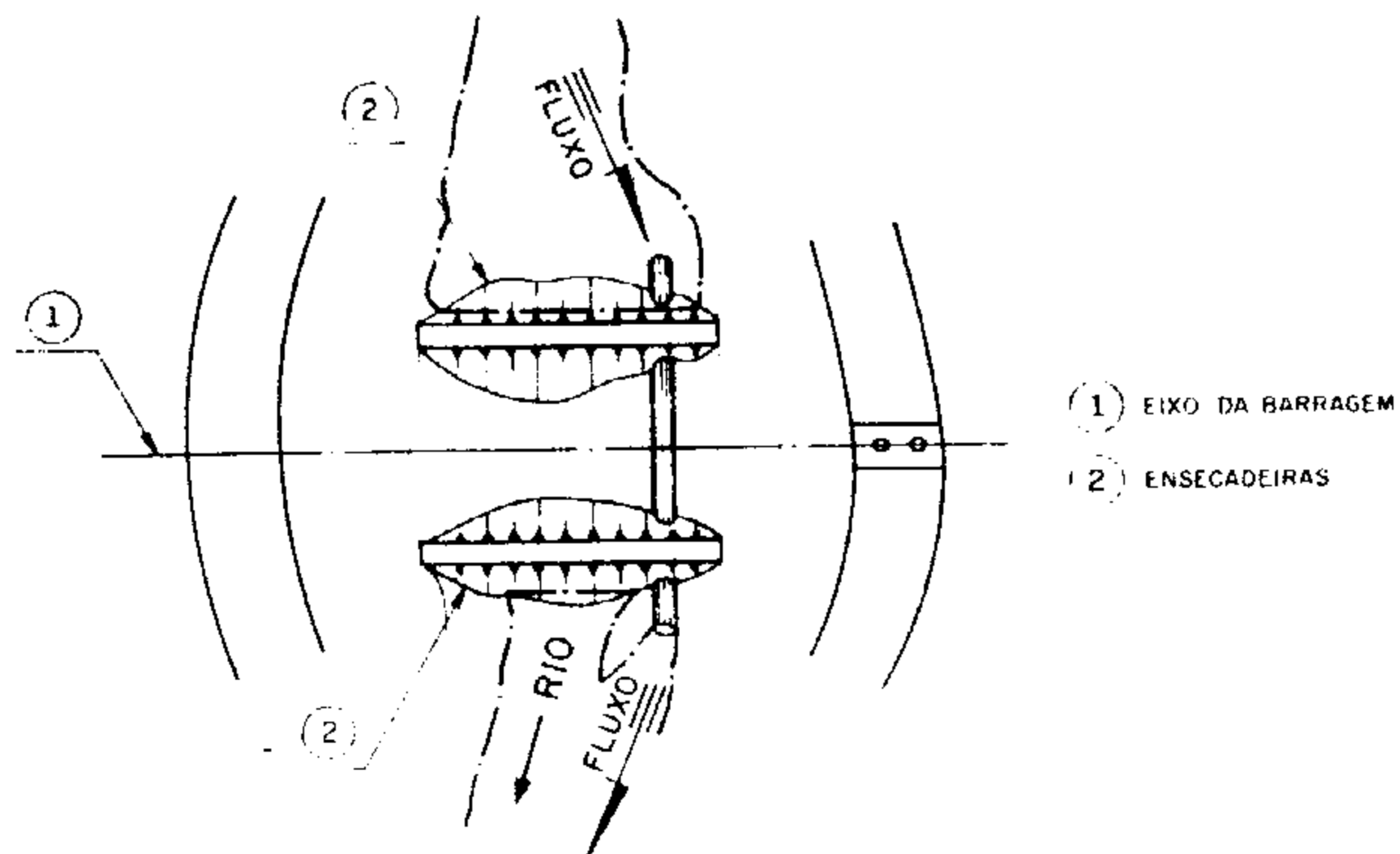


FIGURA 4.2.1.10/5

- ETAPA 2 (FIGURA 4.2.1.10/5)

- Construção de duas ensecadeiras transversais ao fluxo, de preferência com os materiais escavados nos canais da ETAPA 1, desviando o fluxo do rio através da tubulação de desvio.

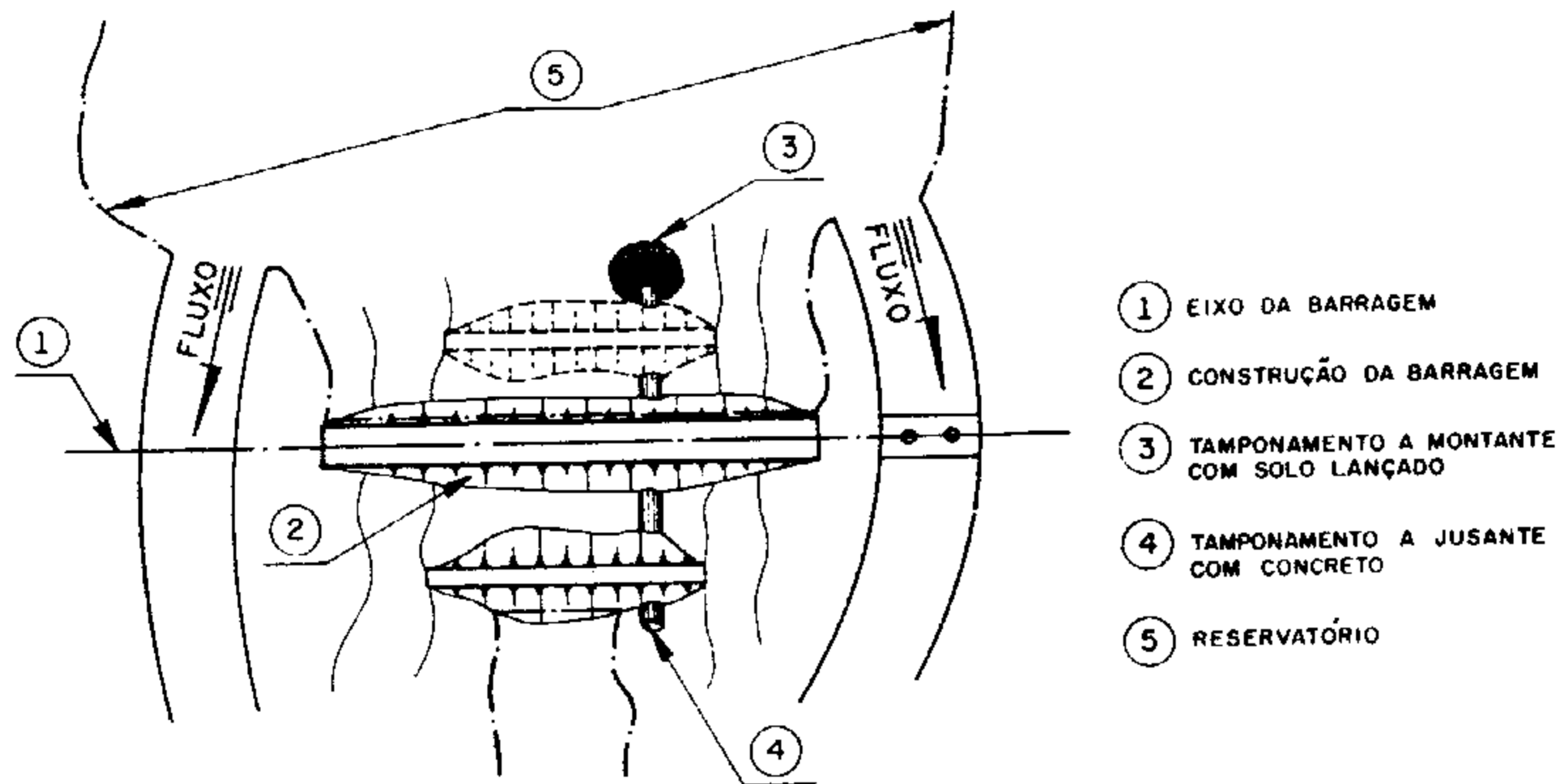


FIGURA 4.2.1.10/6

- ETAPA 3 (FIGURA 4.2.1.10/6)

- Com o leito natural do rio ensecado executa-se a barragem, fechando-se em seguida a tubulação de desvio, através de entupimento com uma mistura de brita, areia e argila pela boca de montante e tamponamento com concreto na boca de jusante.

- C) Caso 3 - Barragem vertedoura  
 A sequência de construção está descrita a seguir:

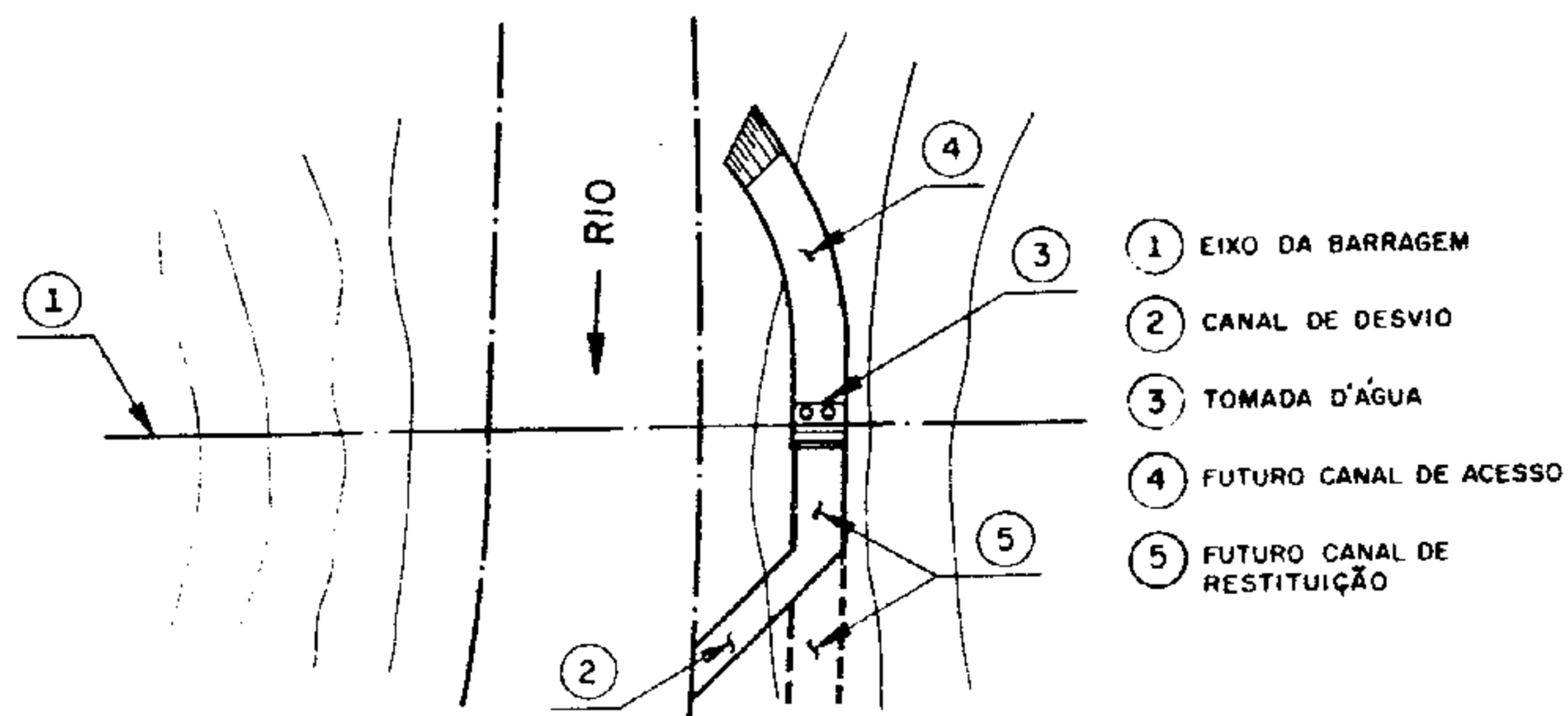


FIGURA 4.2.1.10/7

- ETAPA 1 (FIGURA 4.2.1.10/7)

- . Escavação do canal lateral a seco e construção da estrutura da tomada d'água, no eixo da barragem.

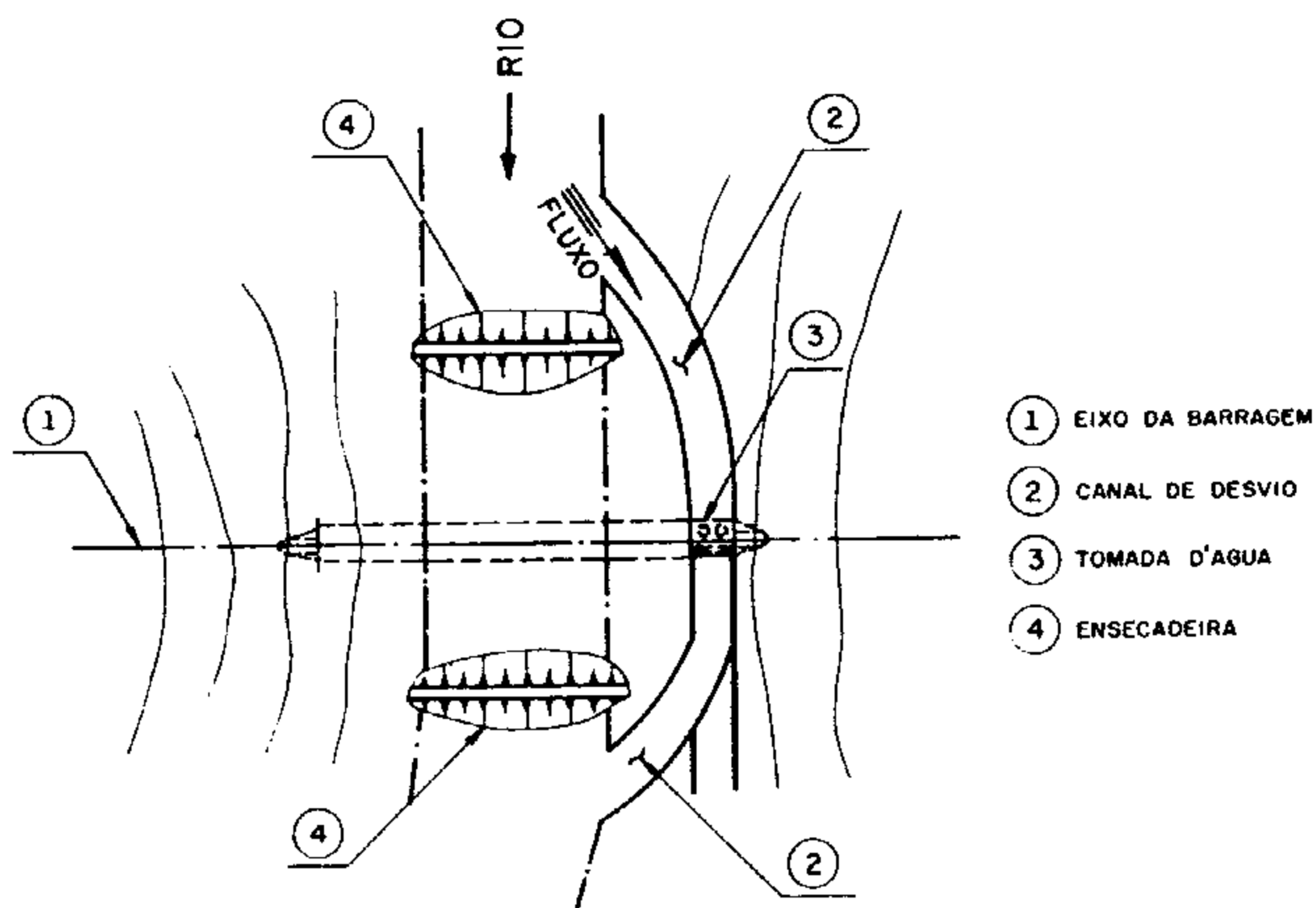


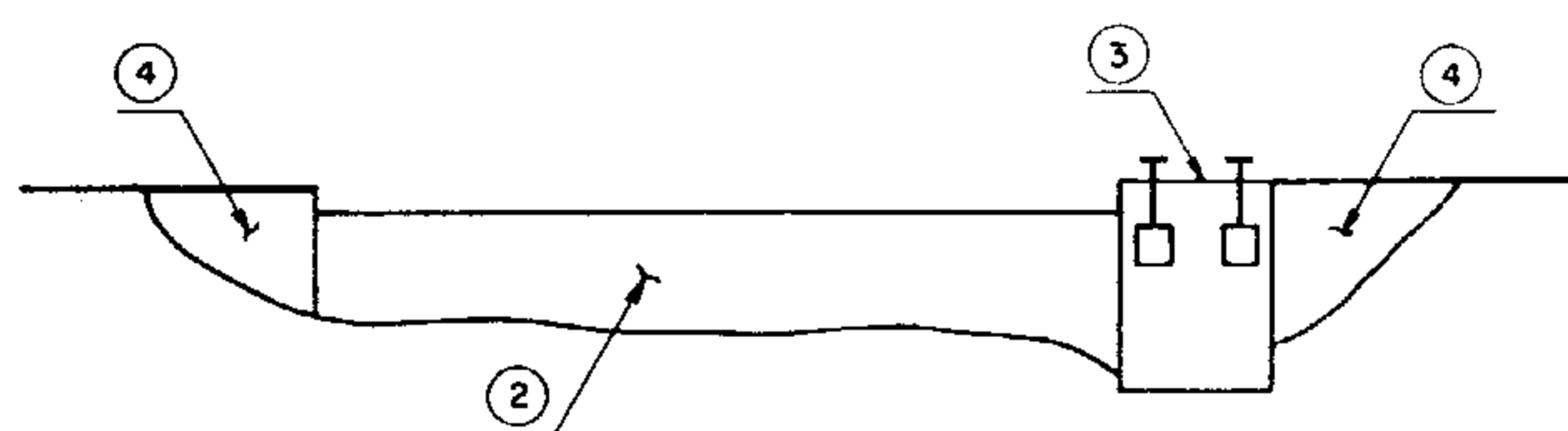
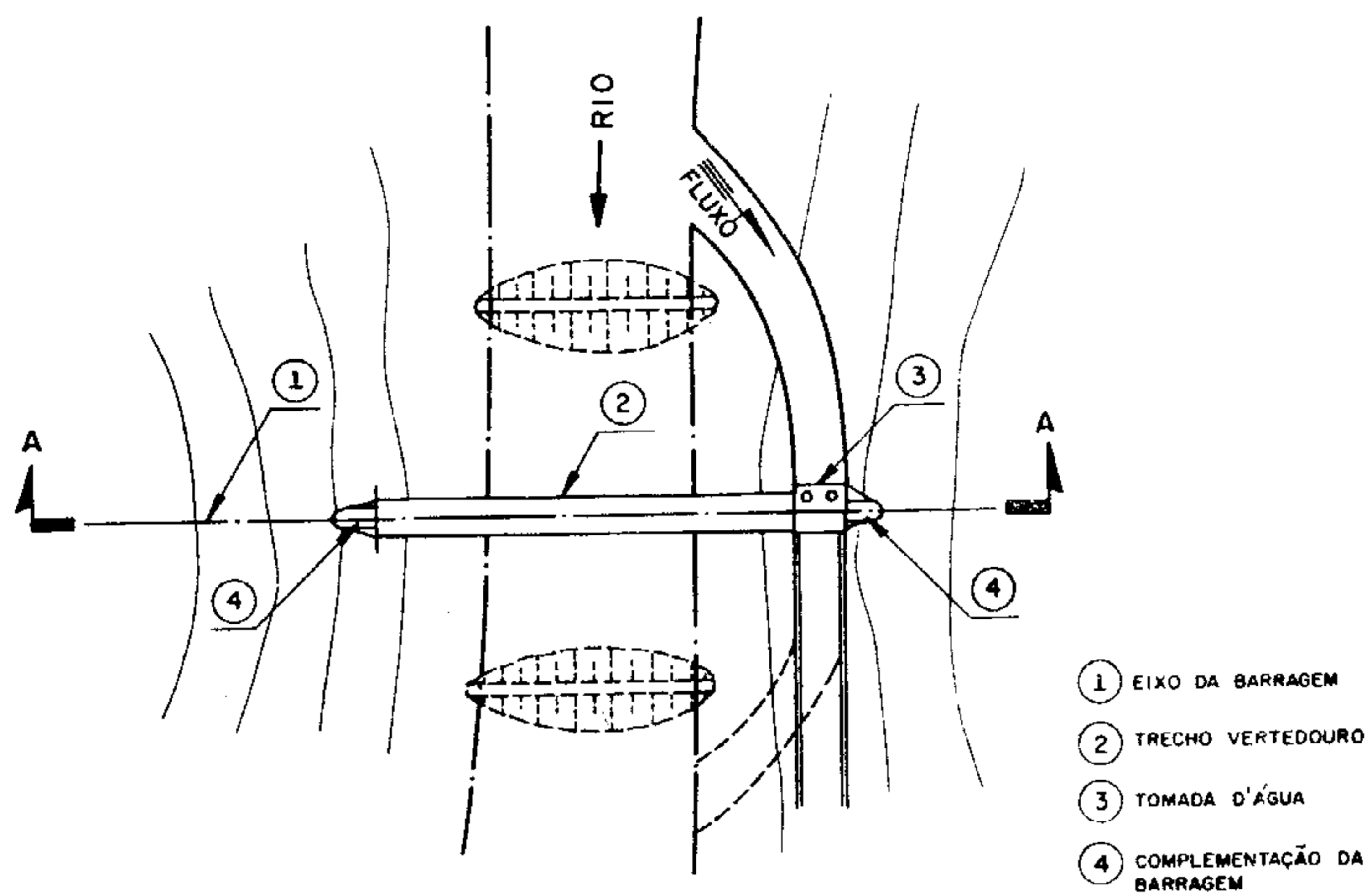
FIGURA 4.2.1.10/8

- ETAPA 2 (FIGURA 4.2.1.10/8)

- . Construção das ensecadeiras no leito do rio, que é desviado pelo canal lateral, fazendo com que as águas voltem ao leito natural através do canal de desvio.

- ETAPA 3 (FIGURA 4.2.1.10/9)

- . Na área ensecada, procede-se à construção da barragem vertedoura.
- . Após a construção da barragem vertedoura, procede-se ao fechamento do canal de desvio, liberando o canal de restituição. Ao mesmo tempo procede-se à remoção das ensecadeiras, sendo que no caso da de montante, só se esta puder trazer implicações na tomada d'água.



CORTE A - A

FIGURA 4.2.1.10/9

4.2.1.10.4 Tubulação de desvio - Dimensionamento

Recomenda-se a tabela abaixo para dimensionamento da tubulação de desvio a ser empregada no caso 2.

Em todas as situações a declividade mínima para assentamento do tubo deve ser  $i \geq 2\%$ .

TABELA 4.2.1.10/I  
CAPACIDADE DE VAZÃO DE TUBOS CIRCULARES DE CONCRETO

$Q_v (m^3/s)$	* ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA SOBRE A SOLEIRA DO TUBO (m)					
	D= 0,75m	D= 1,00m	D= 1,25m	D= 1,50m	D= 1,75m	D= 2,00 m
0,4	0,61	0,55	0,51	0,48	0,47	0,45
0,6	0,79	0,70	0,62	0,60	0,60	0,55
0,8	1,00	0,82	0,73	0,69	0,67	0,64
0,9	1,17	0,88	0,76	0,74	0,72	0,69
1,0	1,33	0,94	0,82	0,78	0,76	0,73
1,1	1,51	1,00	0,86	0,82	0,79	0,77
1,2	1,72	1,06	0,91	0,87	0,82	0,81
1,4	2,19	1,17	1,00	0,93	0,89	0,89
1,6	2,69	1,37	1,09	1,00	0,96	0,93
1,8		1,59	1,16	1,08	1,03	0,99
2,0		1,80	1,26	1,15	1,09	1,05
2,2		2,04	1,33	1,21	1,14	1,11
2,5		2,47	1,43	1,30	1,23	1,19
3,0			1,86	1,47	1,37	1,30
3,5			2,24	1,63	1,51	1,41
4,0			2,66	1,75	1,66	1,53
4,5			3,26	2,07	1,75	1,65
5,0				2,38	1,87	1,75
5,5				2,67	1,98	1,86
6,0				2,99	2,08	1,97
6,5				3,32	2,38	2,06
7,0					2,67	2,16
7,5					2,87	2,26
8,0					3,12	2,34
8,5					3,36	2,38
9,0					3,60	2,56
9,5						2,86
10,0						3,07
11,0						3,46
12,0						3,83

\* ver figura 4.2.1.10/10



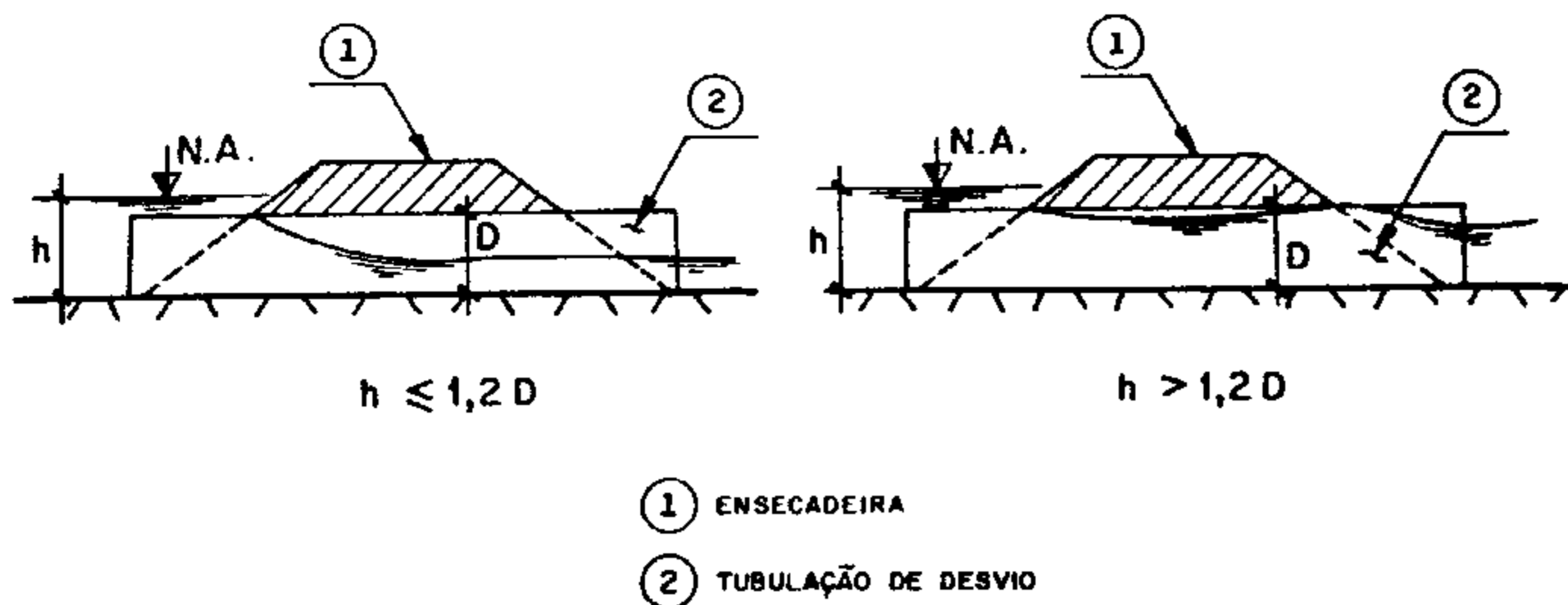


FIGURA 4.2.1.10/10

Nota:

Para  $h \leq 1,2D$ , os tubos trabalharão como canal, desafogados.

Para  $h > 1,2D$ , os tubos trabalharão sob pressão, afogados.

$Q_v$  = vazão do rio ( $m^3/s$ )

$D$  = diâmetro do tubo (m)

$h$  = altura da lâmina d'água sobre a soleira do tubo (m)

#### 4.2.1.10.5 Seção Típica das ensecadeiras

Recomendam-se as seguintes seções típicas para execução das ensecadeiras.

Seção A - Usada onde há disponibilidade do solo predominantemente argiloso (ver FIGURA 4.2.1.10/11).

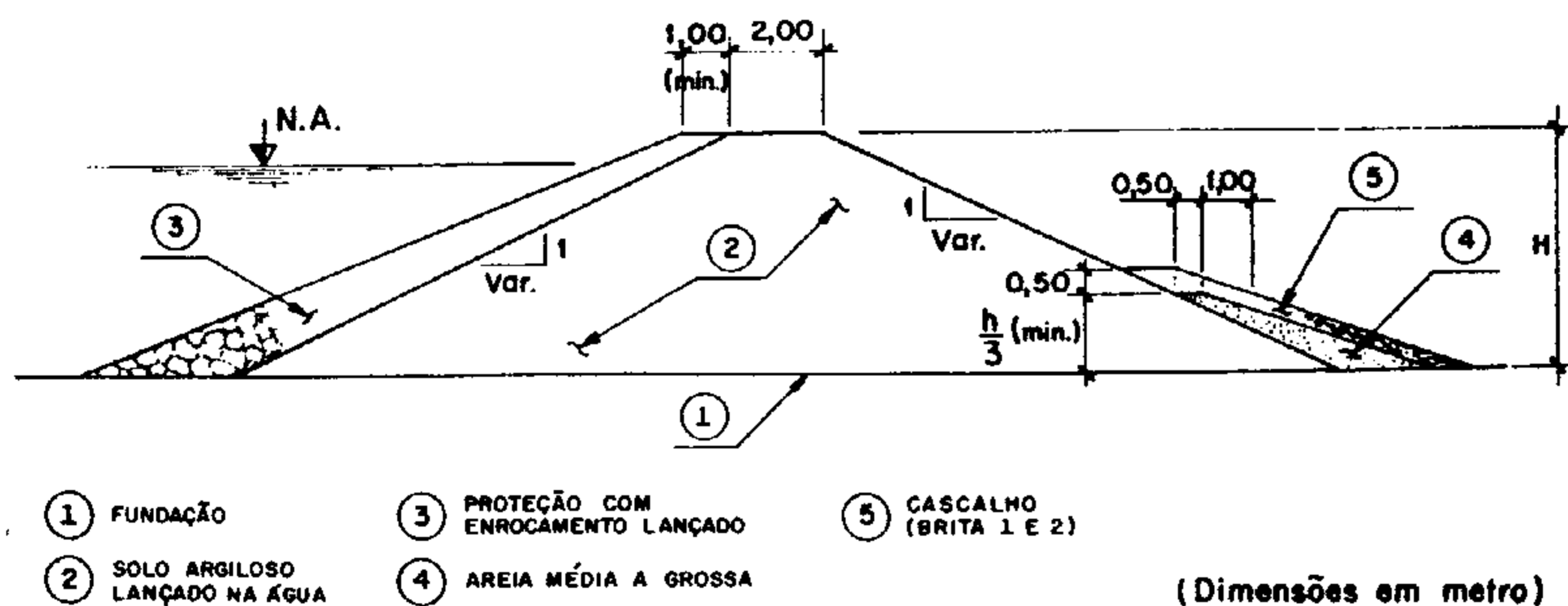


FIGURA 4.2.1.10/11

- . Os taludes serão aqueles estáveis naturalmente para o material lançado submerso.
- . A proteção do talude é de enrocamento não selecionado, simplesmente jogado.

Seção B - Usada onde há disponibilidade de rocha para enrocamento ou onde for inviável o fechamento em solo (ver FIGURA 4.2.1.10/12)

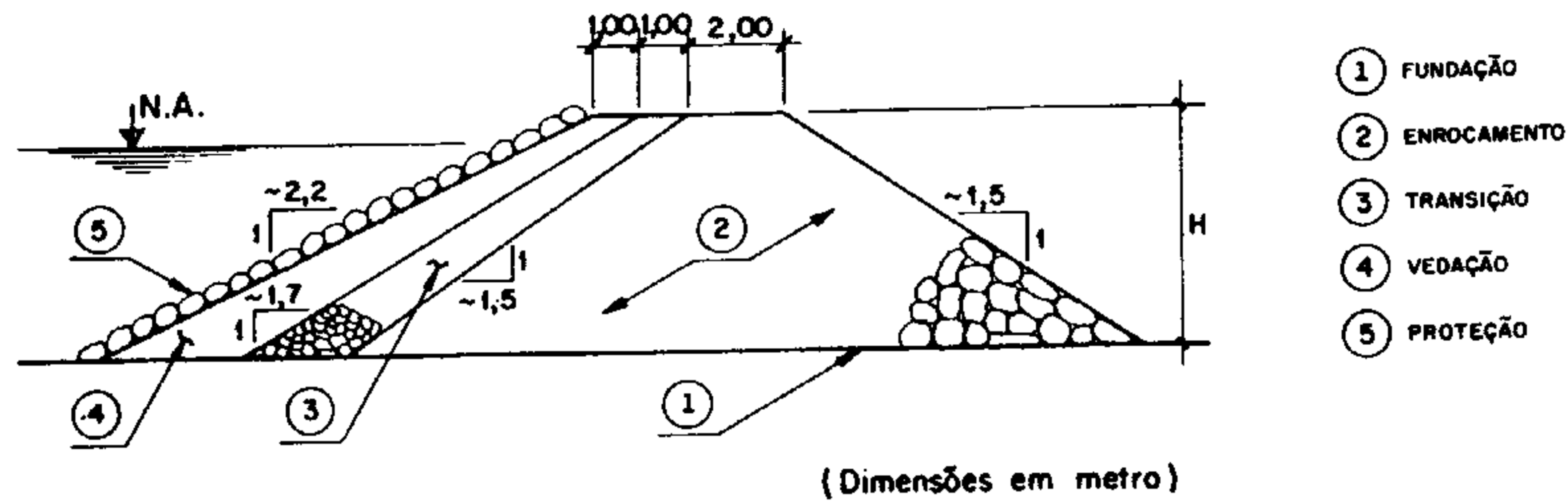


FIGURA 4.2.1.10/12

Transição - enrocamento fino, cascalho ou mistura de britas.

Vedação - material argiloso.

Proteção - enrocamento não selecionado, simplesmente jogado.

A proteção a montante é opcional e poderá ou não ser feita, dependendo do tempo de operação da enseadeira.

Seção C - (Alternativa) - Eventualmente, em enseadeiras de altura não superiores a um metro, poderão ser usados sacos cheios de terra para compor as enseadeiras, tomando-se o devido cuidado de vedar o contato dos sacos com a fundação, ombreiras ou tubos de concreto para desvio. A FIGURA 4.2.1.10/13 mostra uma seção típica com utilização de sacos para construção de enseadeira.

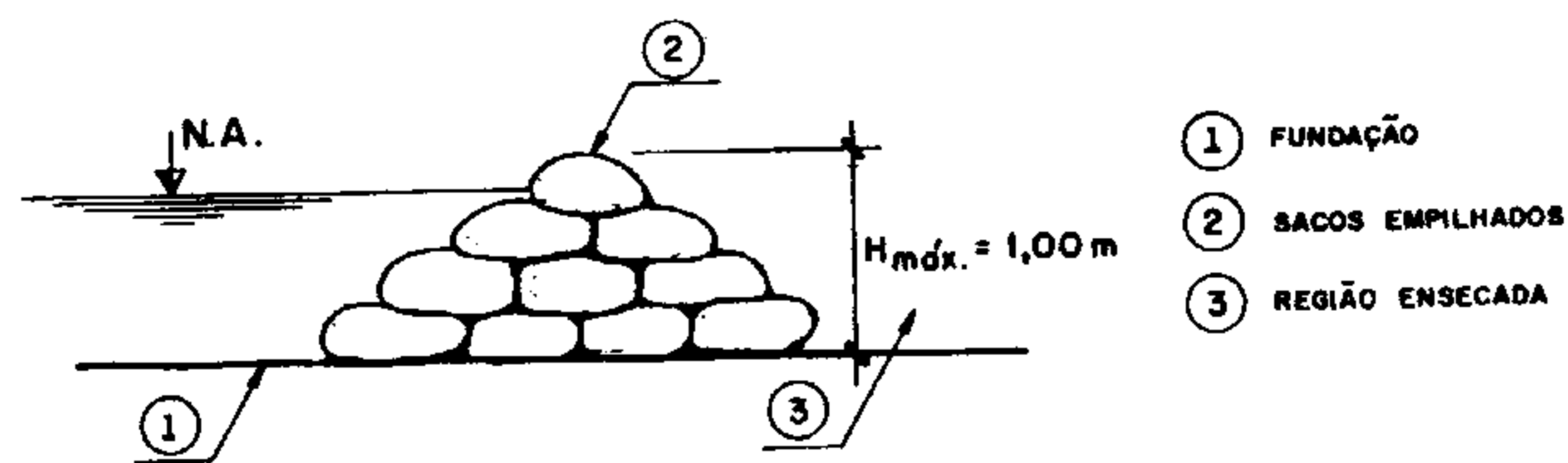


FIGURA 4.2.1.10/13

#### 4.2.2 Determinação Final da Queda Líquida e da Potência Instalada

Após o conhecimento definitivo das dimensões físicas das estruturas que compõem o sistema de adução da água para as turbinas, pode-se determinar o valor final da queda líquida, com o cálculo das perdas de carga, empregando métodos mais precisos, ao invés do "método expedito" apresentado no item 4.1.8.1, adotando-se o mesmo valor da descarga de projeto determinado no item 4.1.8.2.

Em consequência, a potência a ser instalada deverá ser recalculada com base na queda líquida final obtida conforme a metodologia apresentada a seguir:

##### 4.2.2.1 Determinação da Queda Líquida de Projeto

##### 4.2.2.1.1 Cálculo da Perda de Carga Inicial

A perda de carga inicial é a que se dá na captação, ao longo do trecho de aproximação, no qual a água se acelera até atingir a velocidade na adução, seja canal ou tubulação sob pressão. Calcula-se através da fórmula a seguir apresentada:

$$h_i = K_i \frac{v^2}{2g}$$

onde:

$h_i$  = perda de carga inicial, em m

$v$  = velocidade da água na adução, em m/s

$g$  = aceleração da gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>

$K_i$  = coeficiente de forma (0,01 a 0,1)

considerando nula a velocidade de acesso ou aproximação da água na entrada da estrutura de adução.

##### 4.2.2.1.2 Cálculo da Perda de Carga nas Grades da Tomada d'Água

A fórmula de Kirschmer, a seguir, permite o cálculo da perda de carga nas grades:

$$h_g = K_g \frac{e_1^{4/3}}{e_2^{4/3}} \operatorname{sen} \alpha \frac{v_g^2}{2g}$$

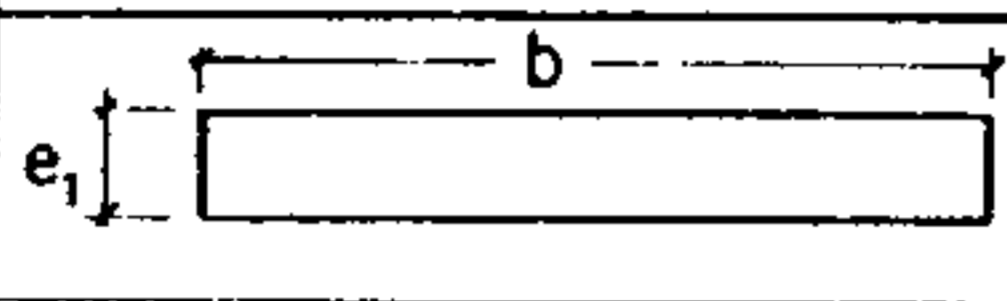
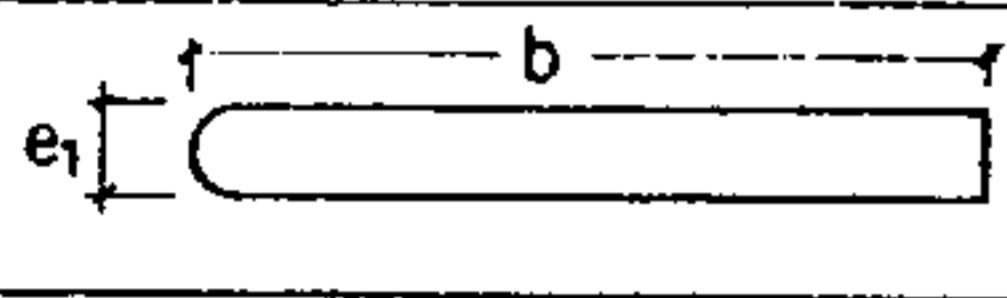
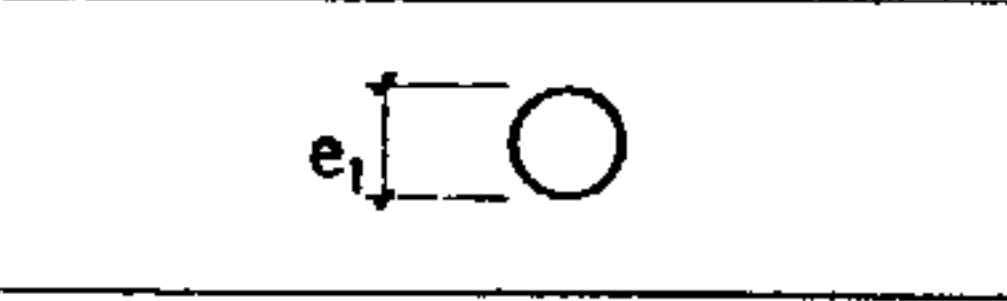
sendo:

- $h_g$  = perda de carga nas grades, em m
- $e_1$  = espessura das barras retangulares ou diâmetro das barras redondas
- $e_2$  = espaçamento entre as barras
- $\alpha$  = inclinação das barras em relação ao plano horizontal, em graus ( $75^\circ$  a  $80^\circ$ ) parte (c) do ANEXO 4.2.2.1.2/A
- $v_g$  = velocidade da água a montante das grades, em m/s
- $g$  = aceleração da gravidade =  $9,81 \text{ m/s}^2$
- $K_g$  = coeficiente de escoamento, cujo valor depende da seção transversal das barras

Notas:

- 1 - A mesma unidade de comprimento (mm, cm, etc.) deve ser empregada para  $e_1$  e  $e_2$ , para que a relação entre esses dois parâmetros seja adimensional.
- 2 - As partes (a) e (b) do ANEXO 4.2.2.1.2/A apresentam os valores para  $K_g$  e  $\sin \alpha$  para as grades mais empregadas em projetos de minicentrals hidrelétricas.
- 3 - A TABELA 4.2.2.1.2/I apresenta os valores de  $e_1^{4/3}$  e  $e_2^{4/3}$  para os valores de fabricação padronizada de  $e_1$  e para os valores mais usuais de  $e_2$ .

## PERDA DE CARGA NAS GRADES

$K_g$	TIPOS DE BARRAS $b/e_1 \geq 5$
2,42	
1,83	
1,79	

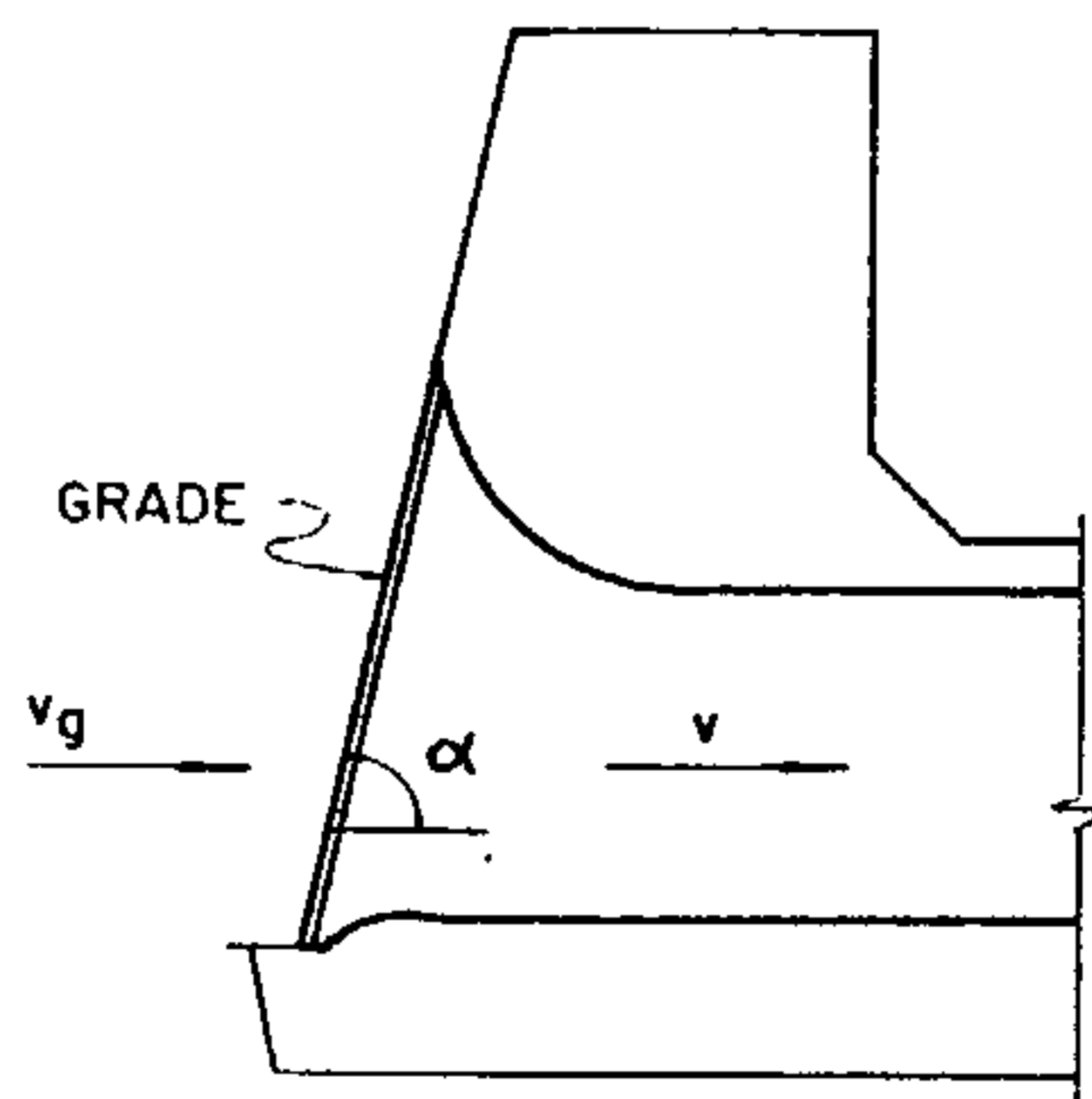
( a )

ÂNGULO $\alpha$	Sen $\alpha$
75°	0,966
80°	0,985

( b )

$$v_g = \frac{Q}{A_g}$$

Q = DESCARGA  
A<sub>g</sub> = ÁREA BRUTA  
DAS GRADES



TOMADA D'ÁGUA

( c )

VALORES DE  $e_1^{4/3}$  E  $e_2^{4/3}$

TABELA 4.2.2.1.2/I

ESPESSURA E/OU DIÂMETRO DAS BARRAS (mm)	$e_1^{4/3}$	ESPESSURA E/OU DIÂMETROS DAS BARRAS (Pol.) (mm)	$e_1^{4/3}$
5	8,5499	3/16 4,76	8,0071
6	10,9027	1/4 6,35	11,7589
7	13,3905	5/16 7,94	15,8402
8	16,0000	3/8 9,53	20,2049
10	21,5443	7/16 11,11	24,7905
13	30,5673	1/2 12,70	29,6305
15	36,9932	9/16 14,29	34,6771
16	40,3175	5/8 15,88	39,9148
18	47,1733	11/16 17,46	45,2959
20	54,2883	3/4 19,05	50,8776
ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS (mm)	$e_2^{4/3}$	ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS (mm)	$e_2^{4/3}$
15	36,9932	60	234,8920
20	54,2883	65	261,3471
25	73,1004	70	288,4900
30	93,2170	75	316,2872
35	114,4873	80	344,7095
40	136,7981	85	373,7305
45	160,0602	90	403,3264
50	184,2016	95	433,4757
55	209,1624	100	464,1588

#### 4.2.2.1.3 Cálculo da Perda de Carga em Canais

Para os canais de seção transversal uniforme e sem curvas em cotovelo, foi considerada somente a perda de carga devido ao atrito da água ( $h_a$ ), por representar um valor muito grande em relação ao somatório das outras, inclusive a perda de carga nas ranhuras dos "stoplogs" e da comporta da estrutura de captação.

A perda de carga por atrito em canais, pode ser calculada por meio de várias fórmulas. Foi adotada neste Manual a fórmula de Chèzy, expandida por Ganguillet e Kutter quanto ao seu coeficiente C.

- Fórmula de Chèzy:

$$v = C \sqrt{R_h \cdot I}$$

sendo:

v = velocidade média da água no canal, em m/s

$R_h$  = raio hidráulico, em m

I = declividade da linha energética = perda de carga unitária, em m/km

C = coeficiente dado pela fórmula de Ganguillet e Kutter

O raio hidráulico  $R_h$  é a relação entre a área A da seção transversal do canal e o perímetro molhado P:

$$R_h = \frac{A}{P}$$

As ilustrações constantes no ANEXO 4.2.2.1.3/A mostram as seções trapezoidal e retangular, bem como as fórmulas para cálculo dos respectivos raios hidráulicos.

Para canais de seção transversal e declividade uniformes, o valor numérico da perda de carga unitária J, devido ao atrito da água nas paredes e fundo do canal, é praticamente igual à declividade I do fundo do canal.

A declividade I é a relação entre a diferença dos níveis d'água  $h_a$  no início e no fim do canal e o comprimento L do canal e está sendo admitida igual a J. Portanto:

$$J = \frac{h_a}{L} \quad \therefore \quad h_a = J \cdot L$$

A diferença de nível  $h_a$  representa, portanto, a perda de carga no canal.

O ANEXO 4.2.2.1.3/A mostra corte longitudinal de um canal com indicação dos valores de  $h_a$  e L.

- Fórmula de Ganguillet e Kutter

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + \frac{n}{\sqrt{R_h}} \left( 23 + \frac{0,00155}{J} \right)}$$

onde:

n = coeficiente de rugosidade das paredes e fundo do canal (adimensional)

Os valores de n apresentados foram obtidos empiricamente e variam com o tipo de material e estado de conservação das paredes e fundo do canal.

Valores

de n	- Características dos canais
0,011	- Condutos revestidos com argamassa de cimento e areia na proporção de 1:3; tubos de fundição e tubos de cimento reforçado com interior liso, bem assentados e bem rejuntados.
0,013 e 0,014	- Alvenaria de pedra de cantaria e de tijolos bem alinhados e rejuntados; revestimento de concreto da melhor qualidade e sem saliências ou buracos. Incluem-se nesta categoria os revestimentos da categoria anterior, quando em mau estado.
0,017 e 0,018	- Alvenaria de pedra bruta com juntas bem feitas e acabadas; alvenaria de tijolos mal alinhados e com juntas feitas toscamente; tubos muito estragados, enferrujados e incrustados; cascalho fino e firme tanto em escavação natural como bem consolidado no lugar; canais em terra gredosa que resista à erosão quando saturada.
0,020	- Canais escavados em pedregulho grosso, natural e firme; piçarra firme que não se desagrega ou desaba dos taludes de 1,5:1 (horizontal: vertical), quando saturada.
0,025	- Canais de terra, sem revestimento, com fundo e lados em bom estado, sem entulhos, com a velocidade média da corrente não superior a 0,8 m/s.



## Diagramas

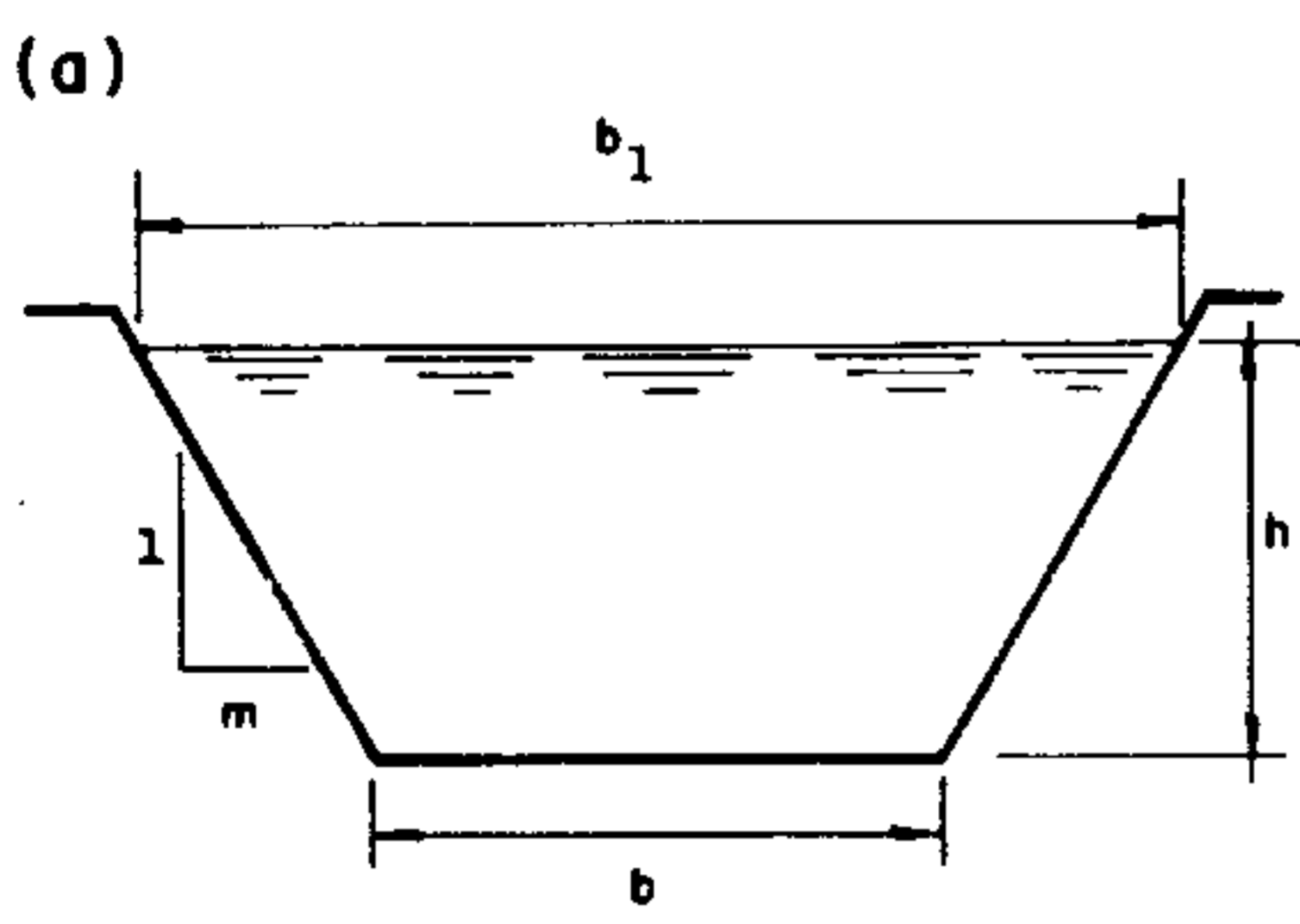
Os cinco ábacos anexos, elaborados no sistema métrico, foram derivados da fórmula fundamental de Chèzy, conforme o desenvolvimento de Ganguillet e Kutter. Foram adaptados das curvas hidráulicas publicadas pelo professor Irving P. Church, da Universidade de Cornell, no sistema de medidas inglês.

Esses ábacos oferecem um meio rápido e prático para determinar os elementos hidráulicos no sistema métrico, quando se projeta ou estuda canais ou condutos que podem trabalhar cheios ou não, porém, nunca sob pressão.

A precisão dos valores obtidos através desses ábacos, afetada em alguns casos pelos erros de interpolações, está coerente com o empirismo que existe na escolha do coeficiente  $n$ . Os resultados obtidos são assim perfeitamente aceitos como substitutos aos calculados pelas fórmulas analíticas apresentadas anteriormente.

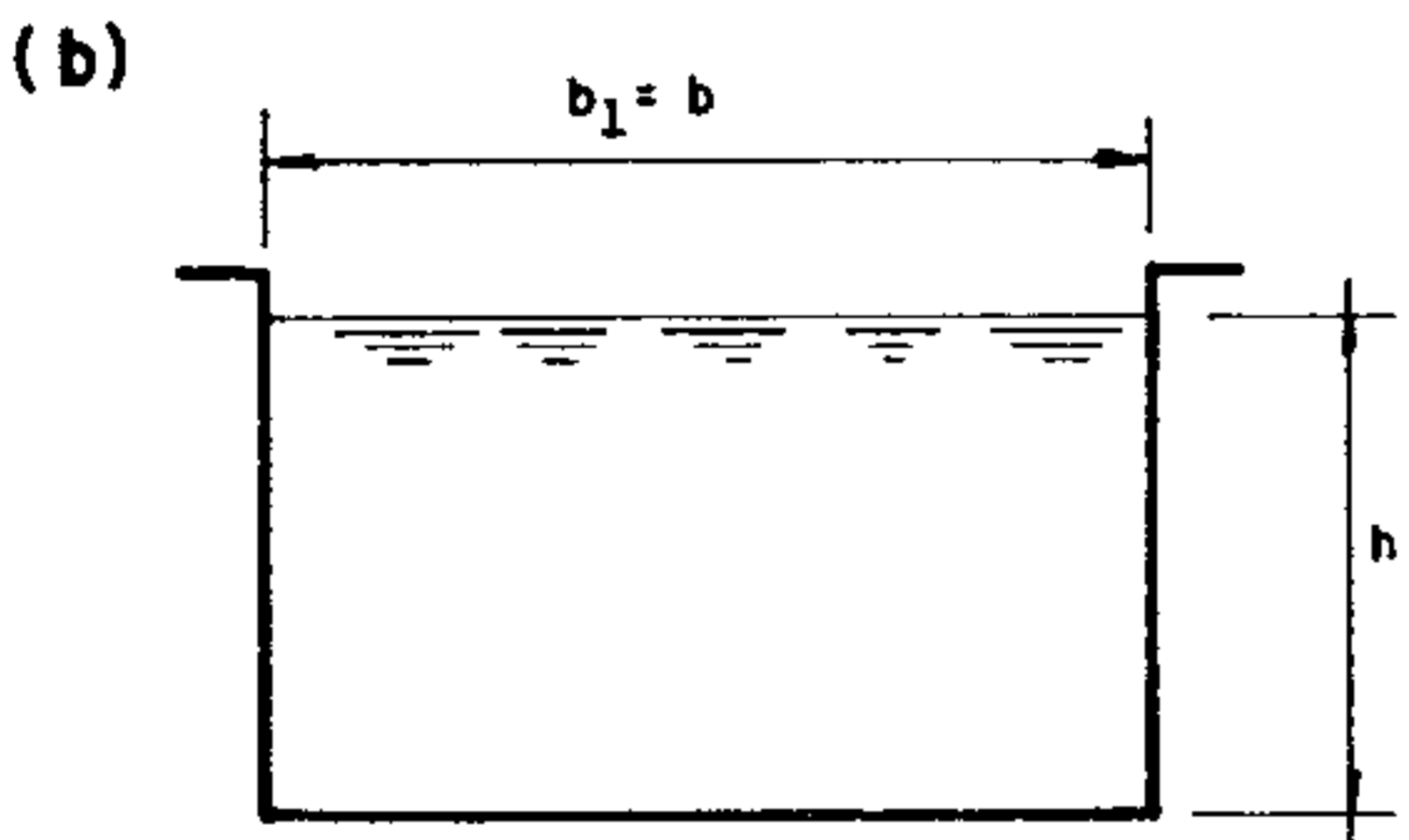
PERDA DE CARGA EM CANAIS ABERTOS

SEÇÃO TRAPEZOIDAL

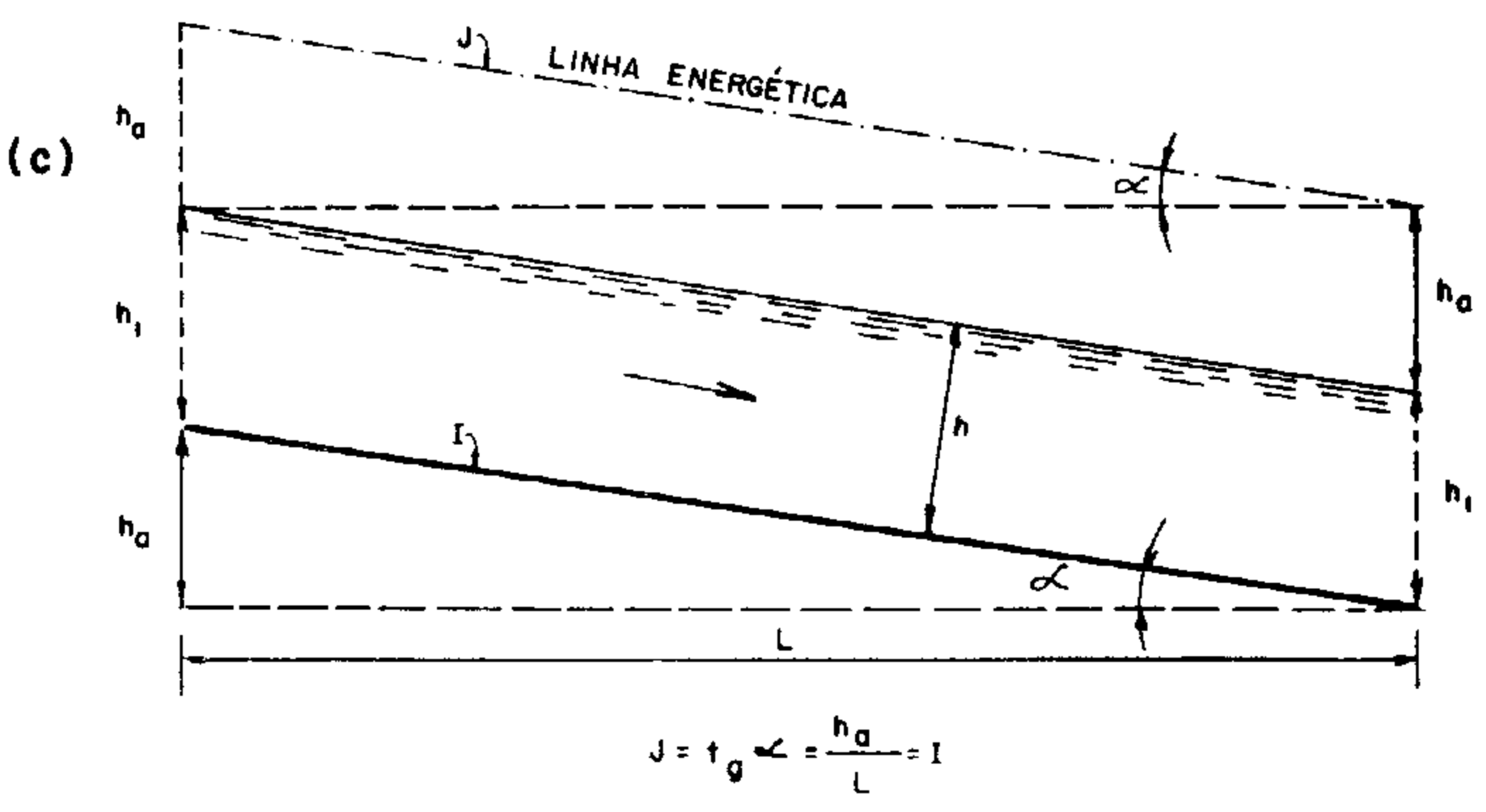


ÁREA DA SEÇÃO MOLHADA:  $A = h(b + mh)$   
 PERÍMETRO MOLHADO:  $P = b + 2h \sqrt{1+m^2}$   
 RAO HIDRÁULICO:  $R_h = \frac{h(b + mh)}{b + 2h \sqrt{1+m^2}}$   
 INCLINAÇÃO DAS PAREDES: 1:m

SEÇÃO RETANGULAR



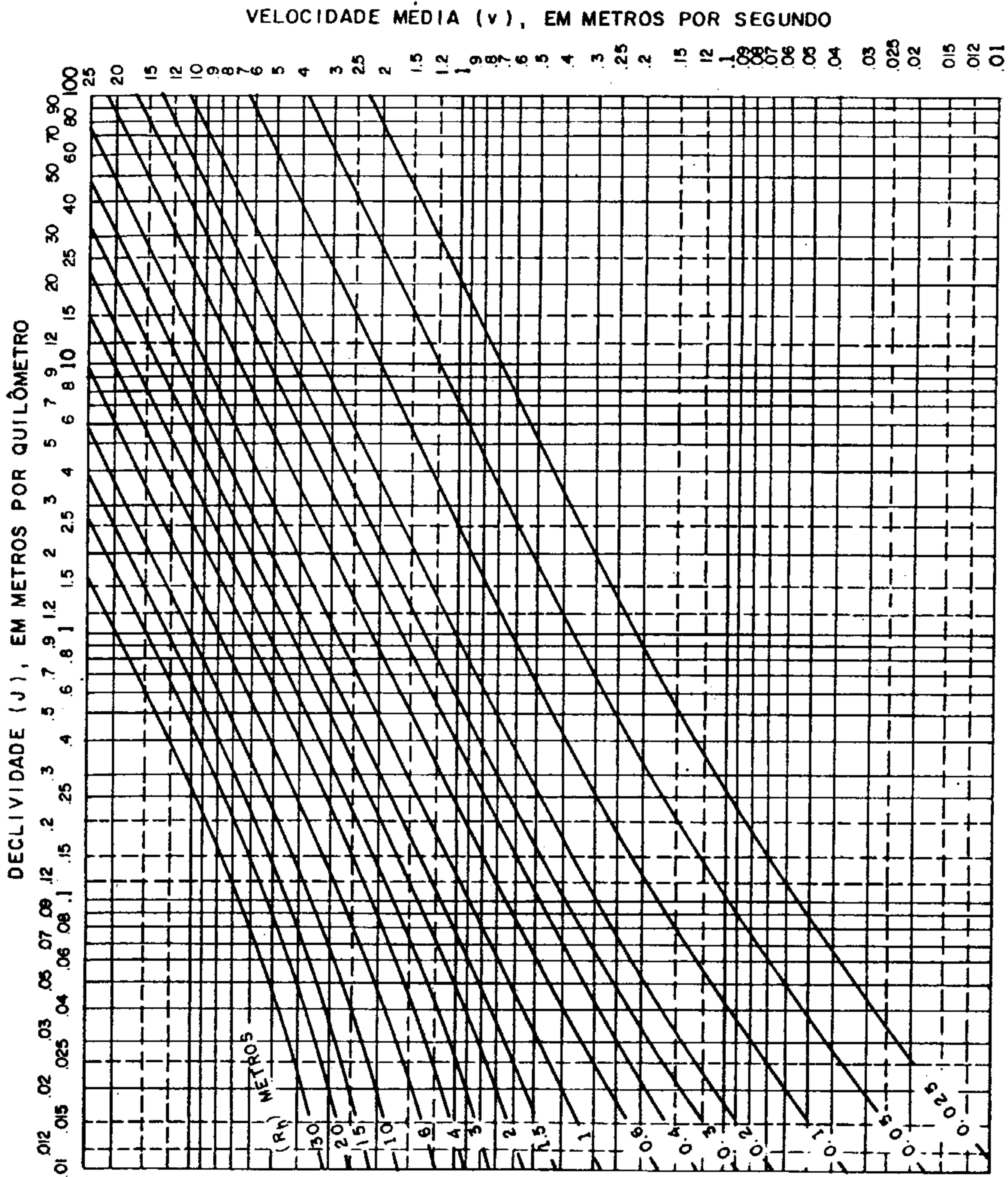
ÁREA DA SEÇÃO MOLHADA:  $A = h \cdot b$   
 PERÍMETRO MOLHADO:  $P = b + 2h$   
 RAO HIDRÁULICO:  $R = \frac{h \cdot b}{b + 2h}$   
 INCLINAÇÃO DAS PAREDES: 1:0 (m=0)



$n=0.011$

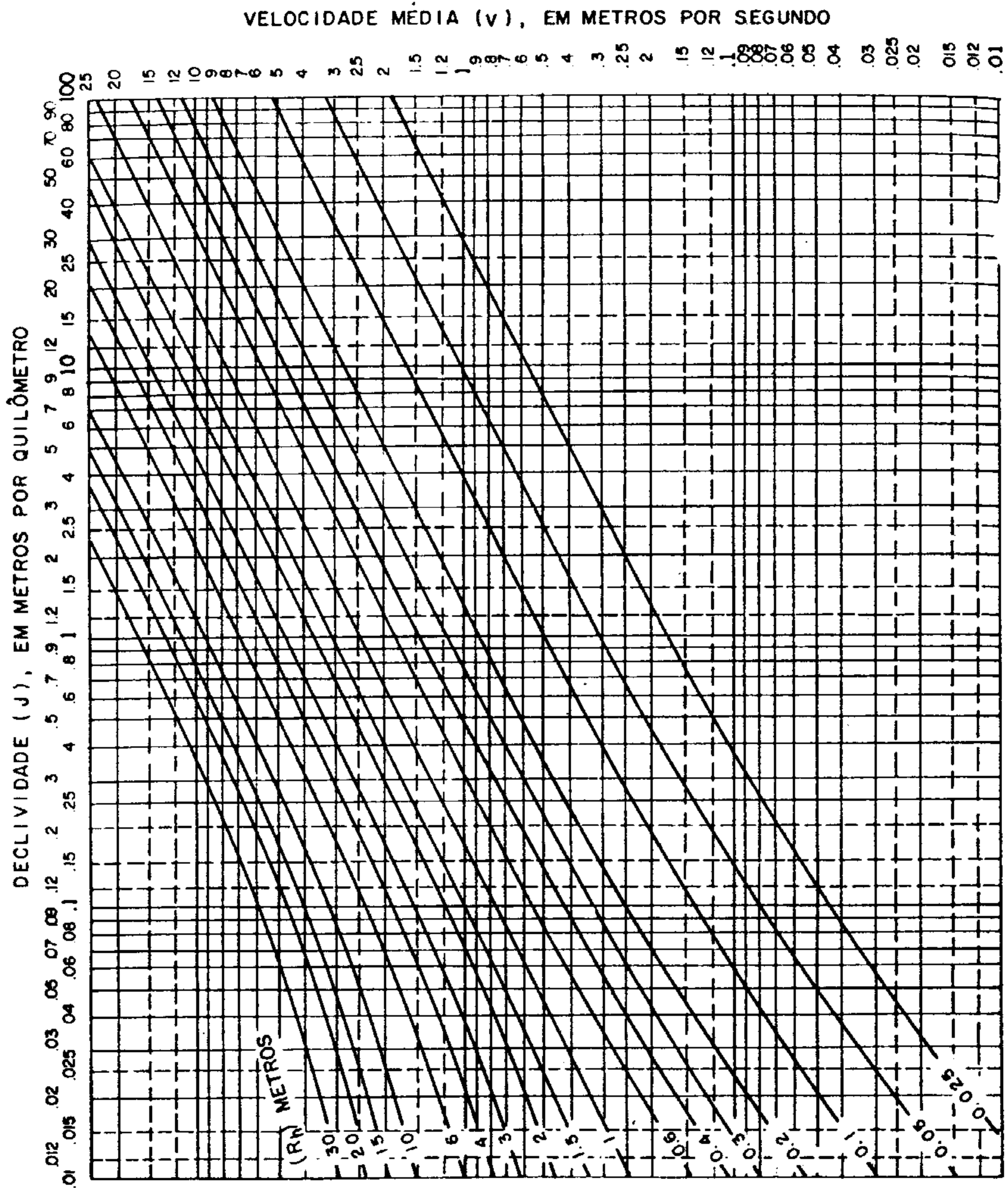
4.2.2.1.3/B

ANEXO



CONDUTOS REVESTIDOS DE CIMENTO NA PROPORÇÃO DE 1:3, MANILHAS DE FUNDIÇÃO OU DE CIMENTO, EM BOM ESTADO, BEM ASSENTADAS E BEM REJUNTADAS

$n=0.013$

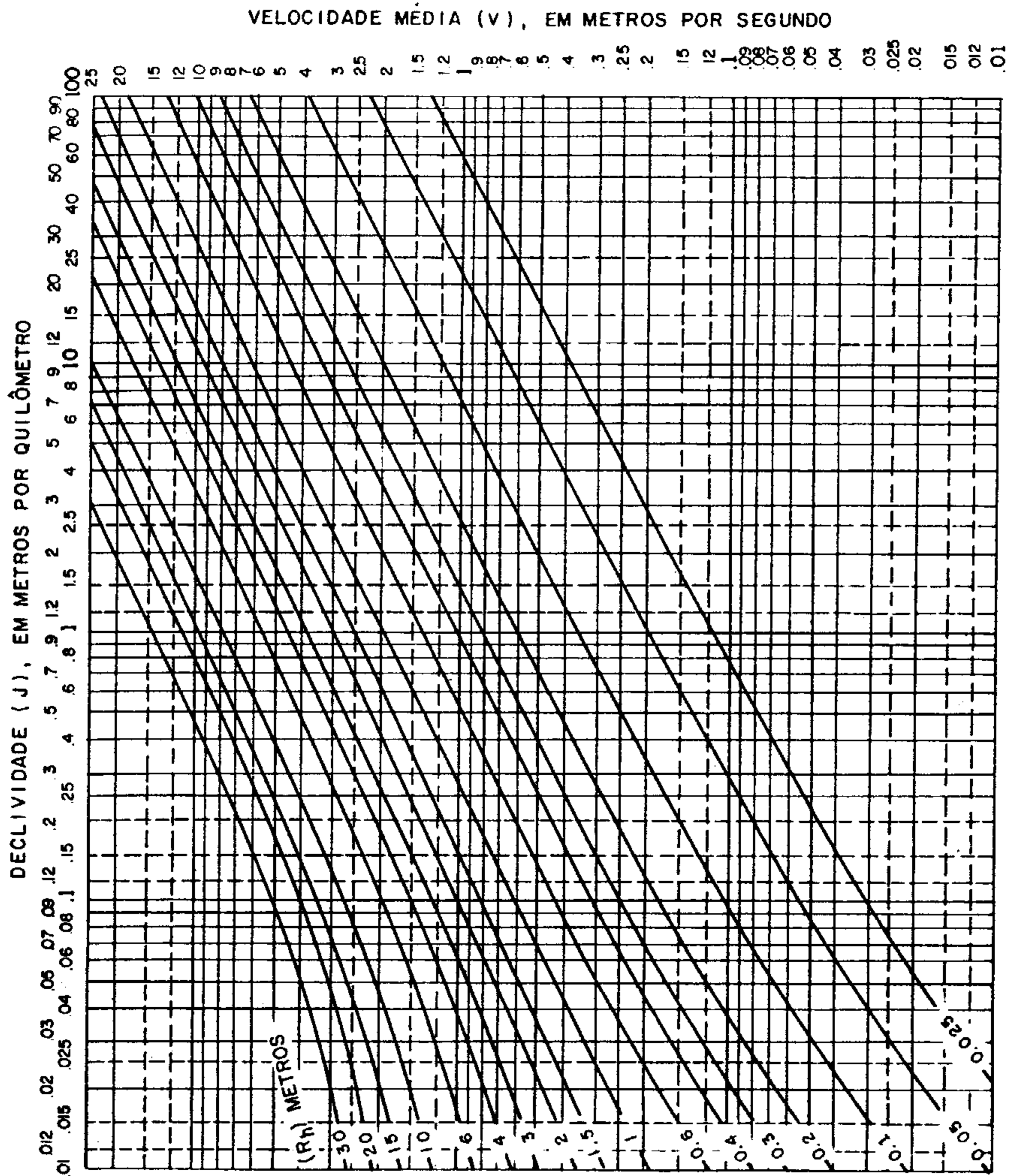


CANAIS DE PEDRA BEM LAVRADA OU TIJOLOS DE SUPERFÍCIE MUITO LISA; TAMBEM OS MATERIAIS ANTERIORES, PORÉM DETERIORADOS OU MAL ASSENTADOS (OS DE  $n=0,012$  e  $n=0,011$ )

4.2.2.1.3/D

$n=0.017$

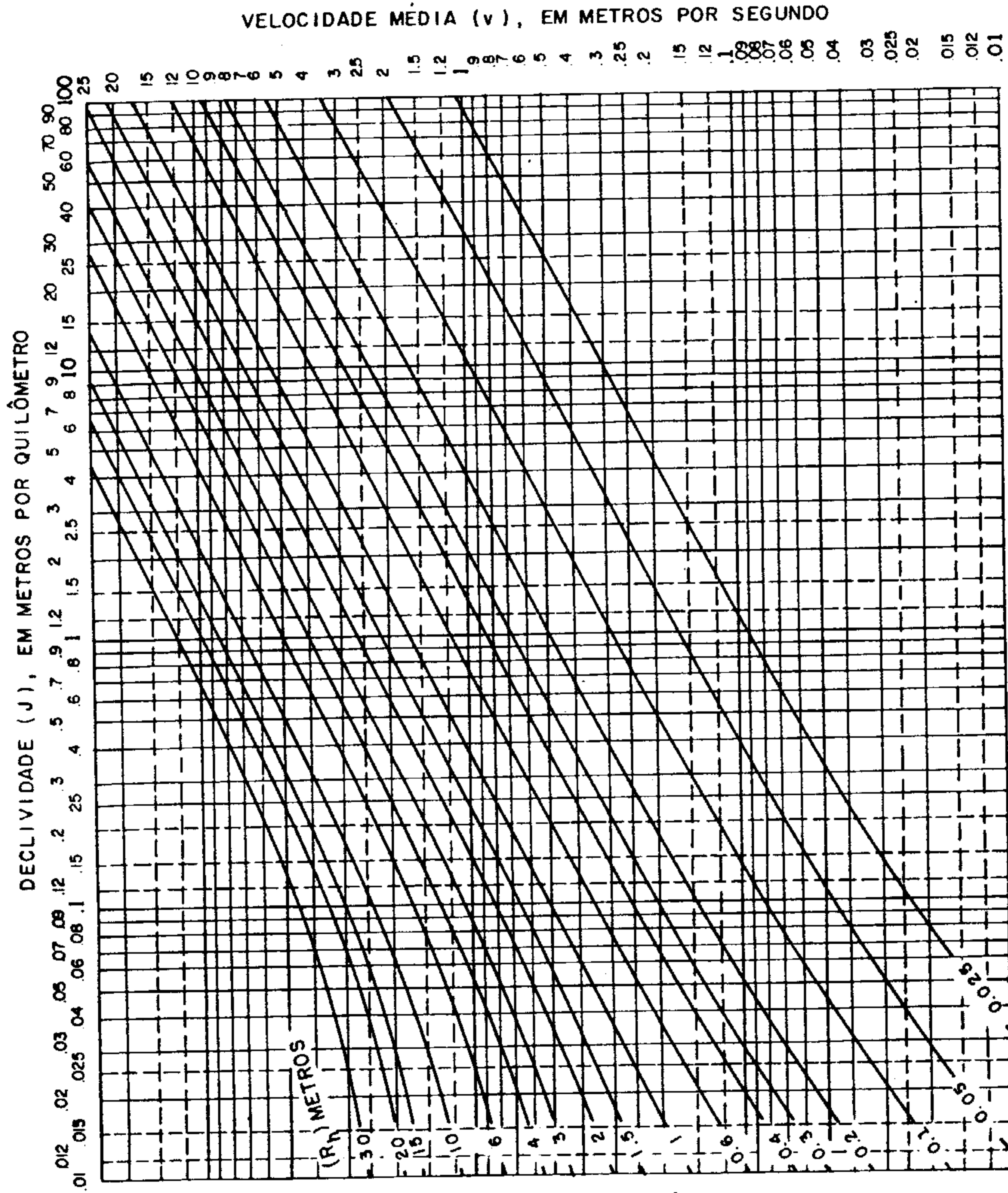
ANEXO



CANAIS : DE ALVENARIA NÃO LAVRADA COM FACES MEIO LISAS; OU DE TIJOLO (FIADAS IRREGULARES); OU DE PEDREGULHO FINO E COMPRIMIDO  
TAMBÉM TUBOS INCRUSTADOS

**n=0.020**

ANEXO

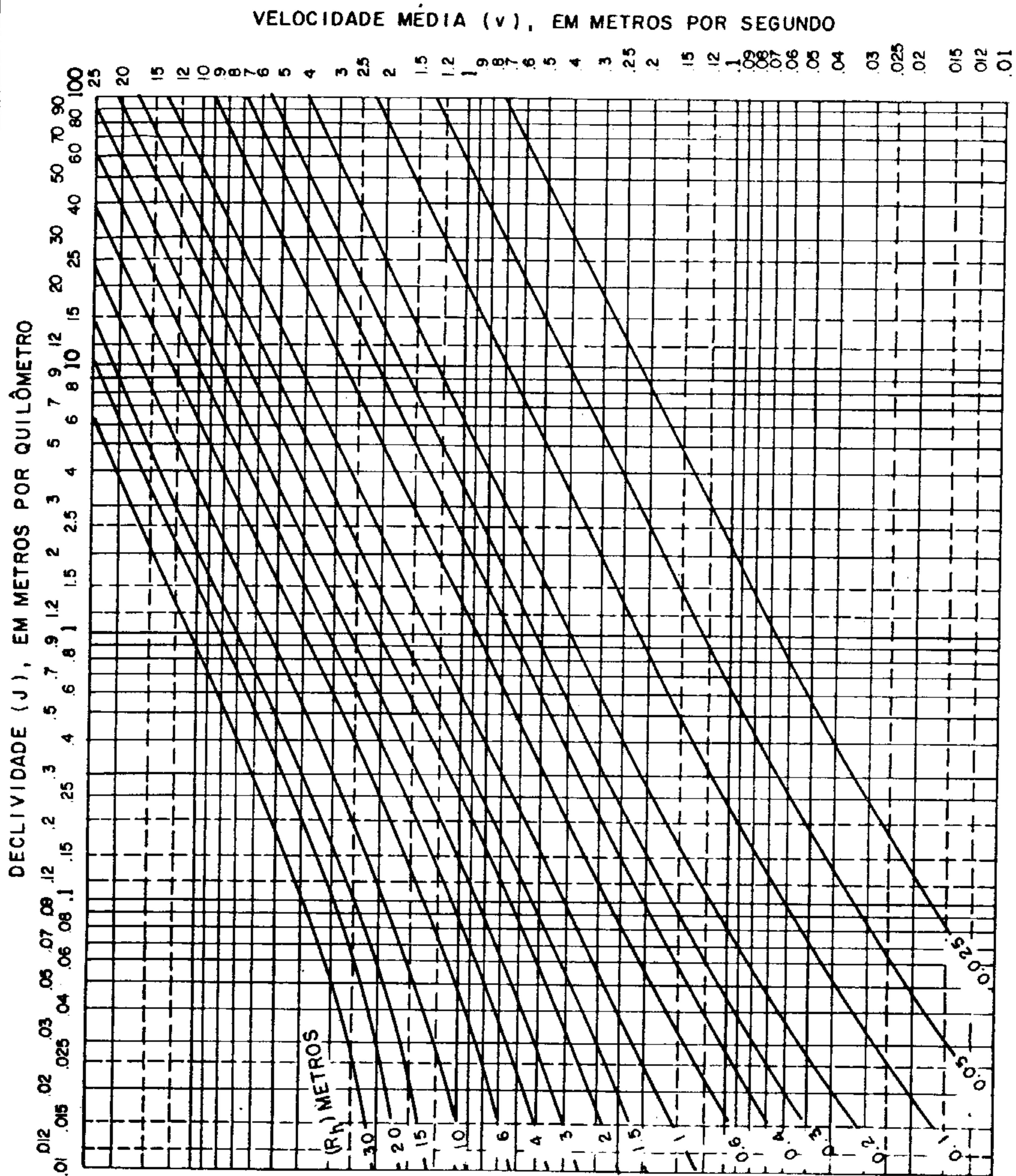


CANAIS UNIFORMES; DE ALVENARIA TOSCA E ÁSPERA; CASCALHO FIRME  
OU TERRA MUITO LISA; FIRME E LIMPA.

$n=0.025$

4.2.2.1.3/F

ANEXO



RIOS E CANAIS COM CAIXA (DE TERRA) E DECLIVIDADE PERFEITAMENTE CONSTANTE E NÃO CONTENDO ENTULHO, PEDRAS E OUTRAS OBSTRUÇÕES

Exemplos:

- a) Determinar a perda de carga por atrito em um canal com 400 m de comprimento, escavado em terra, com seção transversal trapezoidal, tendo 3,00 m de largura no fundo, inclinação das paredes de 1 vertical e 1,5 horizontal e onde a água flui com uma profundidade de 2,00 m e uma descarga de 14,4 m<sup>3</sup>/s.

Solução:

De acordo com o enunciado do problema, temos conhecidos os seguintes elementos básicos:

$$L = 400 \text{ m} = 0,4 \text{ km}$$

$$b = 3,00 \text{ m}$$

$$h = 2,00 \text{ m}$$

$$n = 0,025 \text{ (caixa do canal em terra)}$$

$$Q = 14,40 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m = 1,5$$

Através do ANEXO 4.2.2.1.3/A (a), calcula-se

$$\text{Área da seção molhada: } A = 2 (3 + 1,5 \times 2) = 12,00 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado: } P = 3 + 2 \times 2 \sqrt{1 + 1,5^2} = 10,21 \text{ m}$$

$$\text{Raio hidráulico: } R_h = \frac{A}{P} = \frac{12}{10,21} = 1,175 \text{ m}$$

Calculando-se a velocidade da água no canal, tem-se:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{14,40}{12} = 1,20 \text{ m/s}$$

Entrando-se com os parâmetros  $v$  e  $R_h$  no ábaco específico para  $n = 0,025$ , ANEXO 4.2.2.1.3/F, encontra-se a declividade  $J$ :

$$J = 0,72 \text{ m/km}$$

$$\text{A perda de carga será: } h_a = J \times L = 0,72 \times 0,4 = 0,288 \text{ m}$$



- b) Determinar a capacidade de vazão de um canal construído em tijolo ordinário, com superfície pouco lisa, tendo uma seção retangular com 2,40 m de largura, com declividade de 1m/km, para que o nível d'água fique 1,20 m do fundo do canal.

Os dados básicos do problema são os seguintes:

$$b_1 = b = 2,40 \text{ m}$$

$$J = 1\text{m/km}$$

$$h = 1,20 \text{ m}$$

$$n = 0,015$$

Através do ANEXO 4.2.2.1.3/A (b), calcula-se :

$$\text{Raio hidráulico: } R_h = \frac{1,2 \times 2,4}{2,4 + 2 \times 1,2} = 0,60 \text{ m}$$

$$\text{Área da seção molhada: } A = 1,2 \times 2,4 = 2,88 \text{ m}^2$$

Entrando-se com os parâmetros  $R_h$  e  $J$  no gráfico específico para  $n = 0,017$ , ANEXO 4.2.2.1.3/D, encontra-se a velocidade da água  $v$ :

$$v = 1,35 \text{ m/s}$$

A descarga pode ser determinada, conforme abaixo:

$$Q = v \times A = 1,35 \times 2,88 = 3,89 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.2.2.1.4 Cálculo da Perda de Carga em Tubulação sob Pressão

A perda de carga em tubulação sob pressão é a soma das seguintes perdas de carga:

$h_e$  - na entrada da tubulação

$h_a$  - devido ao atrito da água ao longo da tubulação

desprezando-se as perdas de carga devido às resistências acidentais, isto é :

$h_c$  - nas curvas

$h_r$  - nas reduções cônicas

$h_b$  - nas bifurcações

A) Cálculo da Perda de Carga na Entrada da Tubulação

A perda de carga na boca ou entrada da tubulação é calculada através da fórmula:

$$h_e = K_e \frac{v^2}{2g}$$

onde:

$v$  = velocidade da água imediatamente a jusante da entrada, em m/s.

$g$  = aceleração da gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>

$K_e$  = coeficiente variável com o tipo da boca da tubulação

Os desenhos constantes no ANEXO 4.2.2.1.4/A ilustram os mencionados tipos de bocas ou entradas de tubulações e fornecem os respectivos valores de  $K_e$ .

B) Cálculo da Perda de Carga Devido ao Atrito

Assim como para os canais, existem muitas fórmulas para o cálculo da perda de carga devido ao atrito da água nas paredes internas das tubulações.

Neste Manual dá-se preferência às tubulações forçadas construídas em aço e a perda de carga pode ser calculada através da fórmula de Scobey, conforme a seguir:

$$J = 410 K_a \frac{v^{1,9}}{D^{1,1}}$$

onde:

$J$  = perda de carga unitária, em m/km

$K_a$  = coeficiente que varia com o tipo da tubulação

$v$  = velocidade da água, em m/s =  $Q/A$  = descarga/área molhada

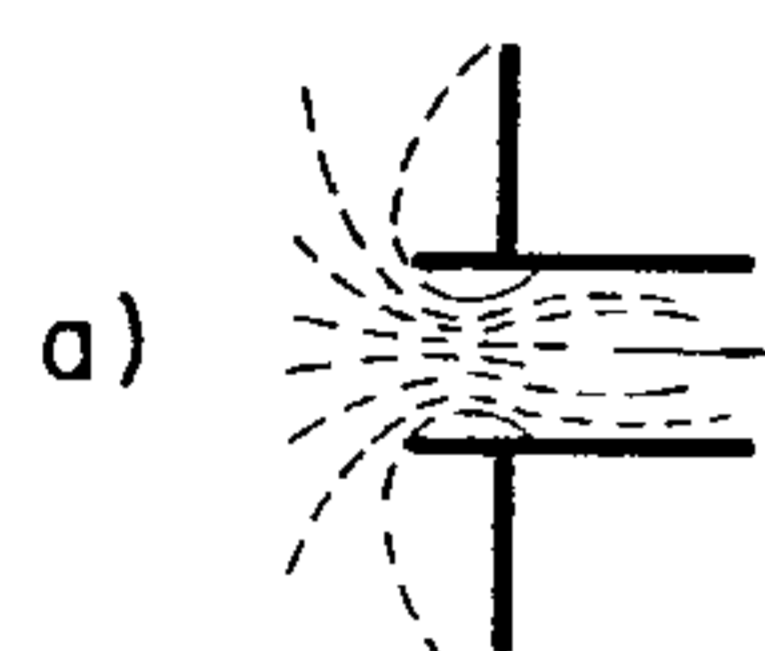
$D$  = diâmetro interno da tubulação, em cm

$K_a = 0,32$  - tubulação nova, de parede interna contínua, como tubulações com juntas totalmente soldadas ou sem costura.

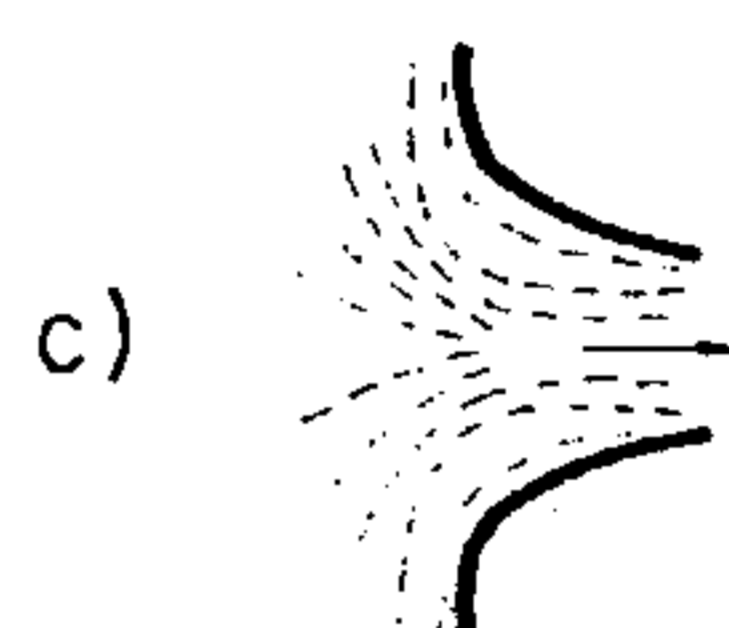
São apresentadas a seguir as TABELAS 4.2.2.1.4/I, II e VI que fornecem as principais características dos tubos de aço com costura. Apesar das facilidades existentes atualmente no cálculo de potências numéricas fracionárias, o que pode ser feito através de inúmeros tipos de máquinas de calcular, são apresentadas também as TABELAS 4.2.2.1.4/III, IV e V que fornecem os valores de  $v^{1,9}$  e  $D^{1,1}$  para os valores de  $v$  e  $D$  mais usuais e compatíveis com projetos de minicentrals hidrelétricas.

# PERDA DE CARGA NA ENTRADA DA TUBULAÇÃO

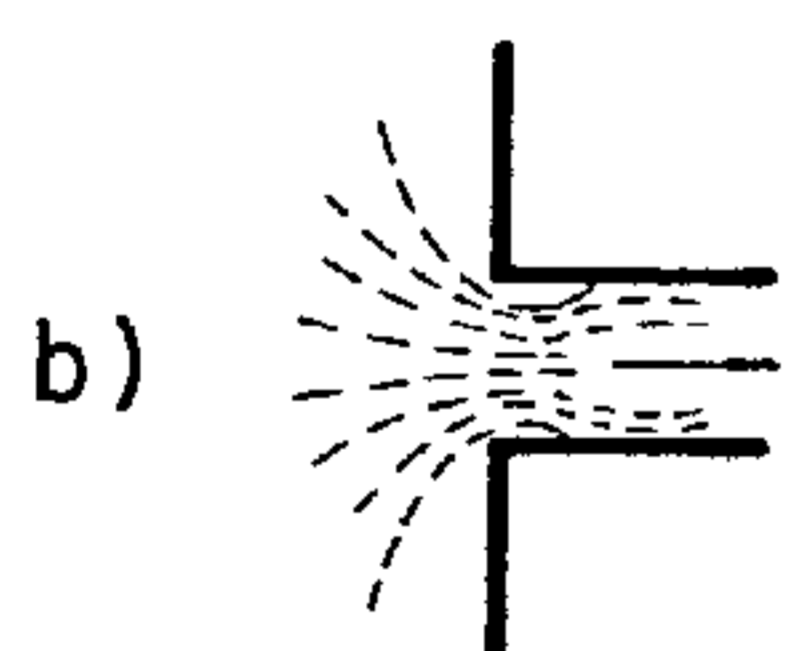
## TIPOS DE BOCA



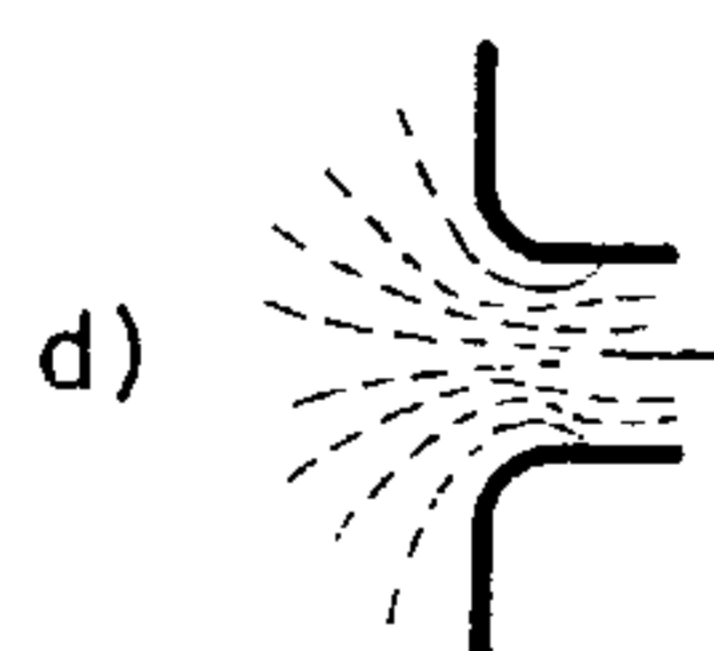
SALIENTE INTERNO  
 $K_e = 0,78$



BOCA EM CAMPÂNULA  
 $K_e = 0,04$



ARESTA VIVA  
 $K_e = 0,50$



ARESTA LIGEIRAMENTE ARREDONDADA  
 $K_e = 0,23$

**DIÂMETERO INTERNO D EM CENTÍMETROS**  
**PARA**  
**TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA**  
**TABELA 4.2.2.1.4/I**

ESPESSURA		POL.	.188	.203	.210	.219	.237	.250	.258	.277	.280	.281	.307	.312	.322	.330	.344	.365	.375										
			3/16	13/64		7/32		1/4			9/32				5/16		21/64	11/32		3/8									
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm								
DIÂMETRO NOMINAL	EXTERNO	POL.	POL.	4,78	5,16	5,33	5,56	6,02	6,35	6,55	7,04	7,11	7,14	7,80	7,92	8,18	8,38	8,74	9,27	9,52									
				12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	52	54	60	72	76	80	84
12	12 3/4	323,85	31,43	31,35	31,32	31,27	31,18	31,12	31,08	30,98	30,96	30,96	30,83	30,80	30,75	30,71	30,64	30,53	30,46										
14	14	355,61	34,60	34,53	34,49	34,45	34,36	34,29	34,25	34,15	34,14	34,13	34,00	33,98	33,92	33,88	33,81	33,71	33,66										
16	16	406,40	39,68	39,61	39,57	39,53	39,44	39,37	39,33	39,23	39,22	39,21	39,08	39,06	39,00	38,96	38,89	38,79	38,74										
18	18	457,20	44,76	44,69	44,65	44,61	44,52	44,45	44,41	44,31	44,30	44,29	44,16	44,14	44,08	44,04	43,97	43,87	43,82										
20	20	508,00	49,84	49,77	49,73	49,69	49,60	49,53	49,49	49,39	49,38	49,37	49,24	49,22	49,16	49,12	49,05	48,95	48,90										
22	22	558,80	54,92	54,85	54,81	54,77	54,68	54,61	54,57	54,47	54,46	54,45	54,32	54,30	54,24	54,20	54,13	54,03	53,98										
24	24	609,60	60,00	59,93	59,89	59,85	59,76	59,69	59,65	59,55	59,54	59,53	59,40	59,38	59,32	59,28	59,21	59,11	59,06										
26	26	660,40	65,08	65,01	64,97	64,93	64,84	64,77	64,73	64,63	64,62	64,61	64,48	64,46	64,40	64,36	64,29	64,19	64,14										
28	28	711,20	70,16	70,09	70,05	70,01	69,92	69,85	69,81	69,71	69,70	69,69	69,56	69,54	69,48	69,44	69,37	69,27	69,22										
30	30	762,00	75,24	75,17	75,13	75,09	75,00	74,93	74,89	74,79	74,78	74,77	74,64	74,62	74,56	74,52	74,45	74,35	74,30										
32	32	812,80	80,32	80,25	80,21	80,17	80,08	80,01	79,97	79,87	79,86	79,85	79,72	79,70	79,64	79,60	79,53	79,43	79,38										
34	34	863,60	85,40	85,33	85,29	85,25	85,16	85,09	85,05	84,95	84,94	84,93	84,80	84,78	84,72	84,68	84,61	84,51	84,46										
36	36	914,40	90,48	90,41	90,37	90,33	90,24	90,17	90,13	90,03	90,02	90,01	89,88	89,86	89,80	89,76	89,69	89,59	89,54										
38	38	965,20	95,56	95,49	95,45	95,41	95,32	95,25	95,21	95,11	95,10	95,09	94,96	94,94	94,88	94,84	94,77	94,67	94,62										
40	40	1016,0	100,64	100,57	100,53	100,49	100,40	100,33	100,29	100,19	100,18	100,17	100,04	100,02	99,96	99,92	99,85	99,75	99,70										
42	42	1066,8	105,72	105,65	105,61	105,57	105,48	105,41	105,37	105,27	105,26	105,25	105,12	105,10	105,04	105,00	104,93	104,83	104,78										
44	44	1117,6	-	-	-	-	-	110,49	110,45	110,35	110,34	110,33	110,20	110,18	110,12	110,08	110,01	109,91	109,86										
46	46	1168,4	-	-	-	-	-	115,57	115,53	115,43	115,42	115,41	115,28	115,26	115,20	115,16	115,09	114,99	114,94										
48	48	1219,2	-	-	-	-	-	120,65	120,61	120,51	120,50	120,49	120,36	120,34	120,28	120,24	120,17	120,07	120,02										
52	52	1320,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	130,52	130,50	130,44	130,40	130,33	130,23	130,18										
54	54	1371,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	135,60	135,58	135,52	135,48	135,41	135,31	135,26										
60	60	1524,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150,84	150,82	150,76	150,72	150,65	150,55	150,50										
72	72	1828,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	181,32	181,30	181,24	181,20	181,13	181,03	180,98										
76	76	1930,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	191,48	191,46	191,40	191,36	191,29	191,19	191,14										
80	80	2032,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	201,64	201,62	201,56	201,52	201,45	201,35	201,30										
84	84	2133,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	211,80	211,78	211,72	211,68	211,61	211,51	211,46										
88	88	2235,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	221,96	221,94	221,88	221,84	221,77	221,67	221,62										
92	92	2336,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	232,12	232,10	232,04	232,00	231,93	231,83	231,78										
96	96	2438,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	242,28	242,26	242,20	242,16	242,09	241,99	241,94										
100	100	2540,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	252,44	252,42	252,36	252,32	252,25	252,15	252,10										

FABRICAÇÃO NORMAL "CONFAB"

(continua)

Exemplo: Para: Diâmetro Nominal  $D_n = 36''$  e  
 Espessura de Parede  $e = 6,35$  mm  
 Diâmetro Interno  $D = 90,17$  cm

DIÂMETRO INTERNO  $D$  EM CENTÍMETROS  
 PARA  
 TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA  
 TABELA 4.2.2.1.4/I

(continuação)

DIÂMETRO NOMINAL EXTERNO	ESPESSURA	POL.	DIÂMETRO INTERNO $D$ (cm)																
			POL.	.406 13/32	.438 7/16	.500 1/2	.562 9/16	.594 19/32	.625 5/8	.656 21/32	.688 11/16	.719 23/32	.750 3/4	.812 13/16	.844 27/32	.864 7/8	.906 29/32	.938 15/16	1.000 1
12	12 3/4	323,85	30,32	30,16	29,85	29,53	29,37	29,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	14	355,60	33,50	33,33	33,02	32,71	32,54	32,38	32,23	32,06	31,91	31,75	-	-	-	-	-	-	-
16	16	406,40	38,58	38,41	38,10	37,79	37,62	37,46	37,31	37,14	36,99	36,83	-	-	-	-	-	-	-
18	18	457,20	43,66	43,49	43,18	42,87	42,70	42,54	42,39	42,22	42,07	41,91	41,60	41,43	41,33	41,28	41,12	40,95	40,64
20	20	508,00	48,74	48,57	48,26	47,95	47,78	47,62	47,47	47,30	47,15	46,99	46,68	46,51	46,41	46,36	46,20	46,03	45,72
22	22	558,80	53,82	53,65	53,34	53,03	52,86	52,70	52,55	52,38	52,23	52,07	51,76	51,59	51,49	51,44	51,28	51,11	50,80
24	24	609,60	58,90	58,73	58,42	58,11	57,94	57,78	57,63	57,46	57,31	57,15	56,84	56,67	56,57	56,52	56,36	56,19	55,88
26	26	660,40	63,98	63,81	63,50	63,19	63,02	62,86	62,71	62,54	62,39	62,23	61,92	61,75	61,65	61,60	61,44	61,27	60,96
28	28	711,20	69,06	68,89	68,58	68,27	68,10	67,94	67,79	67,62	67,47	67,31	67,00	66,83	66,73	66,68	66,52	66,35	66,04
30	30	762,00	74,14	73,97	73,66	73,35	73,18	73,02	72,87	72,70	72,55	72,39	72,08	71,91	71,81	71,76	71,60	71,43	71,12
32	32	812,80	79,22	79,05	78,74	78,43	78,26	78,10	77,95	77,78	77,63	77,47	77,16	76,99	76,89	76,84	76,68	76,51	76,20
34	34	863,60	84,30	84,13	83,82	83,51	83,34	83,18	83,03	82,86	82,71	82,55	82,24	82,07	81,97	81,92	81,76	81,59	81,28
36	36	914,40	89,38	89,21	88,90	88,59	88,42	88,26	88,11	87,94	87,79	87,63	87,32	87,15	87,05	87,00	86,84	86,67	86,36
38	38	965,20	94,46	94,29	93,98	93,67	93,50	93,34	93,19	93,02	92,87	92,71	92,40	92,23	92,13	92,08	91,92	91,75	91,44
40	40	1016,0	99,54	99,37	99,06	98,75	98,58	98,42	98,27	98,10	97,95	97,79	97,48	97,31	97,21	97,16	97,00	96,83	96,52
42	42	1066,8	104,62	104,45	104,14	103,83	103,66	103,50	103,35	103,18	103,03	102,87	102,56	102,39	102,29	102,24	102,08	101,91	101,60
44	44	1117,6	109,70	109,53	109,22	108,91	108,74	108,58	108,43	108,26	108,11	107,95	107,64	107,47	107,37	107,32	107,16	106,99	106,68
46	46	1168,4	114,78	114,61	114,30	113,99	113,82	113,66	113,51	113,34	113,19	113,03	112,72	112,55	112,45	112,40	112,24	112,07	111,76
48	48	1219,2	119,86	119,69	119,38	119,07	118,90	118,74	118,59	118,42	118,27	118,11	117,80	117,63	117,53	117,48	117,32	117,15	116,84
52	52	1320,8	130,02	129,85	129,54	129,23	129,06	128,90	128,75	128,58	128,43	128,27	127,96	127,79	127,69	127,64	127,48	127,31	127,00
54	54	1371,6	135,10	134,93	134,62	134,31	134,14	133,98	133,83	133,66	133,51	133,35	133,04	132,87	132,77	132,72	132,56	132,39	132,08
60	60	1524,0	150,34	150,17	149,86	149,55	149,38	149,22	149,07	148,90	148,75	148,59	148,28	148,11	148,01	147,96	147,80	147,63	147,32
72	72	1828,8	180,82	180,65	180,34	180,03	179,86	179,70	179,55	179,38	179,23	179,07	178,76	178,59	178,49	178,44	178,28	178,11	177,80
76	76	1930,4	190,98	190,81	190,50	190,19	190,02	189,86	189,71	189,54	189,39	189,23	188,92	188,75	188,65	188,60	188,44	188,27	187,96
80	80	2032,0	201,14	200,97	200,66	200,35	200,18	200,02	199,87	199,70	199,55	199,39	199,08	198,91	198,81	198,76	198,60	198,43	198,12
84	84	2133,6	211,30	211,13	210,82	210,51	210,34	210,18	210,03	209,86	209,71	209,55	209,24	209,07	208,97	208,92	208,76	208,59	208,28
88	88	2235,2	221,46	221,29	220,98	220,67	220,50	220,34	220,19	220,02	219,87	219,71	219,40	219,23	219,13	219,08	218,92	218,75	218,44
92	92	2336,8	231,62	231,45	231,14	230,83	230,66	230,50	230,35	230,18	230,03	229,87	229,56	229,39	229,29	229,24	229,08	228,91	228,60
96	96	2438,4	241,78	241,61	241,30	240,99	240,82	240,66	240,51	240,34	240,19	240,03	239,72	239,55	239,45	239,40	239,24	239,07	238,76
100	100	2540,0	251,94	251,77	251,46	251,15	250,98	250,82	250,67	250,50	250,35	250,19	249,88	249,71	249,61	249,56	249,40	249,23	248,92

FABRICAÇÃO NORMAL "CONFAB"

Exemplo: Para : Diâmetro Nominal  $D_n = 80''$  e  
 Espessura de Parede  $e = 12,70$  mm  
 Diâmetro Interno  $D = 200,66$  cm

**ÁREA INTERNA A EM METROS QUADRADOS**  
**PARA**  
**TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA**  
**TABELA 4.2.2.1.4/II**

ESPESSURA	DIÂMETRO	ÁREA INTERNA (m <sup>2</sup> )																	
		POL.	.188 3/16	.203 13/64	.210	.219 7/32	.227	.250 1/4	.254	.277	.280	.281 9/32	.307	.312 5/16	.322	.330 21/64	.344 11/32	.365	.375 3/8
NOMINAL	EXTERNO	mm																	
POL.	POL.	mm	4,78	5,16	5,33	5,56	6,02	6,35	6,55	7,04	7,11	7,14	7,80	7,92	8,18	8,38	8,74	9,27	9,52
12	12 3/4	323,85	0,0776	0,0772	0,0770	0,0768	0,0764	0,0761	0,0759	0,0754	0,0753	0,0753	0,0747	0,0745	0,0743	0,0741	0,0737	0,0732	0,0730
14	14	355,60	0,0940	0,0936	0,0934	0,0932	0,0927	0,0923	0,0921	0,0916	0,0915	0,0915	0,0908	0,0907	0,0904	0,0902	0,0898	0,0893	0,0890
16	16	406,40	0,1237	0,1232	0,1230	0,1227	0,1222	0,1217	0,1215	0,1209	0,1208	0,1207	0,1199	0,1198	0,1195	0,1192	0,1188	0,1182	0,1179
18	18	457,20	0,1574	0,1569	0,1566	0,1563	0,1557	0,1552	0,1549	0,1542	0,1541	0,1541	0,1532	0,1530	0,1526	0,1523	0,1518	0,1512	0,1508
20	20	508,00	0,1951	0,1945	0,1942	0,1939	0,1932	0,1927	0,1924	0,1916	0,1915	0,1914	0,1904	0,1903	0,1898	0,1895	0,1890	0,1882	0,1878
22	22	558,80	0,2369	0,2363	0,2359	0,2356	0,2348	0,2342	0,2339	0,2330	0,2329	0,2329	0,2317	0,2316	0,2311	0,2307	0,2301	0,2293	0,2289
24	24	609,60	0,2827	0,2821	0,2817	0,2813	0,2805	0,2798	0,2795	0,2785	0,2784	0,2783	0,2771	0,2769	0,2764	0,2760	0,2753	0,2744	0,2740
26	26	660,40	0,3326	0,3319	0,3315	0,3311	0,3302	0,3295	0,3291	0,3281	0,3280	0,3279	0,3265	0,3263	0,3257	0,3253	0,3246	0,3236	0,3231
28	28	711,20	0,3866	0,3858	0,3854	0,3850	0,3840	0,3832	0,3828	0,3817	0,3816	0,3814	0,3800	0,3798	0,3791	0,3787	0,3779	0,3769	0,3763
30	30	762,00	0,4446	0,4438	0,4433	0,4428	0,4418	0,4410	0,4405	0,4393	0,4392	0,4391	0,4376	0,4373	0,4366	0,4362	0,4353	0,4342	0,4336
32	32	812,80	0,5067	0,5058	0,5053	0,5048	0,5037	0,5028	0,5023	0,5010	0,5009	0,5008	0,4991	0,4989	0,4981	0,4976	0,4968	0,4955	0,4949
34	34	863,60	0,5728	0,5719	0,5713	0,5708	0,5696	0,5687	0,5681	0,5668	0,5667	0,5665	0,5648	0,5645	0,5637	0,5632	0,5623	0,5609	0,5603
36	36	914,40	0,6430	0,6420	0,6414	0,6408	0,6396	0,6386	0,6380	0,6366	0,6365	0,6363	0,6345	0,6342	0,6333	0,6328	0,6318	0,6304	0,6297
38	38	965,20	0,7172	0,7162	0,7156	0,7150	0,7136	0,7126	0,7120	0,7105	0,7103	0,7102	0,7082	0,7079	0,7070	0,7064	0,7054	0,7039	0,7032
40	40	1016,0	0,7955	0,7944	0,7937	0,7931	0,7917	0,7906	0,7900	0,7884	0,7882	0,7881	0,7860	0,7857	0,7848	0,7841	0,7830	0,7815	0,7807
42	42	1066,8	0,8778	0,8767	0,8760	0,8753	0,8738	0,8727	0,8720	0,8704	0,8702	0,8700	0,8679	0,8676	0,8666	0,8659	0,8647	0,8631	0,8623
44	44	1117,6	-	-	-	-	-	0,9588	0,9581	0,9564	0,9562	0,9560	0,9538	0,9534	0,9524	0,9517	0,9505	0,9488	0,9479
46	46	1168,4	-	-	-	-	-	1,0490	1,0483	1,0465	1,0463	1,0461	1,0438	1,0434	1,0423	1,0416	1,0403	1,0385	1,0376
48	48	1219,2	-	-	-	-	-	1,1433	1,1425	1,1406	1,1404	1,1402	1,1378	1,1374	1,1363	1,1355	1,1342	1,1323	1,1314
52	52	1320,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3380	1,3376	1,3363	1,3355	1,3341	1,3320	1,3310
54	54	1371,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4441	1,4437	1,4424	1,4416	1,4401	1,4380	1,4369
60	60	1524,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7870	1,7865	1,7851	1,7842	1,7825	1,7801	1,7790
72	72	1828,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5822	2,5816	2,5799	2,5787	2,5767	2,5739	2,5725
76	76	1930,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,8796	2,8790	2,8772	2,8760	2,8739	2,8709	2,8694
80	80	2032,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,1933	3,1927	3,1908	3,1895	3,1873	3,1842	3,1826
84	84	2133,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5232	3,5226	3,5206	3,5193	3,5169	3,5136	3,5119
88	88	2235,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,8694	3,8687	3,8666	3,8652	3,8627	3,8593	3,8575
92	92	2336,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,2317	4,2310	4,2288	4,2273	4,2248	4,2211	4,2193
96	96	2438,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,6103	4,6095	4,6072	4,6057	4,6030	4,5992	4,5973
100	100	2540,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0050	5,0042	5,0019	5,0003	4,9975	4,9935	4,9916

FABRICAÇÃO NORMAL "CONFAB"

(continua)

Exemplo: Para: Diâmetro Nominal  $D_n = 18''$  e  
 Espessura de Parede  $e = 9,52$  mm  
 Área Interna  $A = 0,1508$  m<sup>2</sup>

**ÁREA INTERNA A EM METROS QUADRADOS  
PARA  
TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA**

**TABELA 4.2.2.1.4/II**

(continuação)

ESPESSURA		POL.	.406	.438	.500	.562	.594	.625	.656	.688	.719	.750	.812	.844	.864	.875	.906	.938	1.000
			13/32	7/16	1/2	9/16	19/32	5/8	21/32	11/16	23/32	3/4	13/16	27/32		7/8	29/32	15/16	1
DIÂMETRO NOMINAL	DIÂMETRO EXTERNO	mm	10,31	11,13	12,70	14,27	15,08	15,88	16,66	17,48	18,26	19,05	20,62	21,43	21,94	22,22	23,01	23,83	25,40
			POL.	POL.															
12	12 3/4	323,85	0,0722	0,0714	0,0700	0,0685	0,0677	0,0670	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	14	355,60	0,0881	0,0872	0,0856	0,0840	0,0832	0,0823	0,0816	0,0807	0,0800	0,0792	-	-	-	-	-	-	-
16	16	406,40	0,1169	0,1159	0,1140	0,1122	0,1112	0,1102	0,1093	0,1083	0,1075	0,1065	-	-	-	-	-	-	-
18	18	457,20	0,1497	0,1485	0,1464	0,1443	0,1432	0,1421	0,1411	0,1400	0,1390	0,1380	0,1359	0,1348	0,1342	0,1338	0,1328	0,1317	0,1297
20	20	508,00	0,1866	0,1853	0,1829	0,1806	0,1793	0,1781	0,1770	0,1757	0,1746	0,1734	0,1711	0,1699	0,1692	0,1688	0,1676	0,1664	0,1642
22	22	558,00	0,2275	0,2261	0,2235	0,2209	0,2195	0,2181	0,2169	0,2155	0,2143	0,2129	0,2104	0,2090	0,2082	0,2078	0,2065	0,2052	0,2027
24	24	609,60	0,2725	0,2709	0,2680	0,2652	0,2637	0,2622	0,2608	0,2593	0,2580	0,2565	0,2537	0,2522	0,2513	0,2509	0,2495	0,2480	0,2452
26	26	660,40	0,3215	0,3198	0,3167	0,3136	0,3119	0,3103	0,3089	0,3072	0,3057	0,3042	0,3011	0,2995	0,2985	0,2980	0,2965	0,2948	0,2919
28	28	711,20	0,3746	0,3727	0,3694	0,3661	0,3642	0,3625	0,3609	0,3591	0,3575	0,3558	0,3526	0,3508	0,3497	0,3492	0,3475	0,3458	0,3425
30	30	762,00	0,4317	0,4297	0,4261	0,4226	0,4206	0,4188	0,4171	0,4151	0,4134	0,4116	0,4081	0,4061	0,4050	0,4044	0,4026	0,4007	0,3973
32	32	812,80	0,4929	0,4908	0,4869	0,4831	0,4810	0,4791	0,4772	0,4751	0,4733	0,4714	0,4676	0,4655	0,4643	0,4637	0,4618	0,4598	0,4560
34	34	863,60	0,5581	0,5559	0,5518	0,5477	0,5455	0,5434	0,5415	0,5392	0,5373	0,5352	0,5312	0,5209	0,5277	0,5271	0,5250	0,5228	0,5189
36	36	914,40	0,6274	0,6251	0,6207	0,6164	0,6140	0,6118	0,6097	0,6074	0,6053	0,6031	0,5989	0,5965	0,5952	0,5945	0,5923	0,5900	0,5858
38	38	965,20	0,7008	0,6983	0,6937	0,6891	0,6866	0,6843	0,6821	0,6796	0,6774	0,6751	0,6706	0,6681	0,6666	0,6659	0,6636	0,6612	0,6567
40	40	1016,0	0,7782	0,7755	0,7707	0,7659	0,7633	0,7608	0,7585	0,7558	0,7535	0,7511	0,7463	0,7437	0,7422	0,7414	0,7390	0,7364	0,7317
42	42	1066,8	0,8596	0,8569	0,8518	0,8467	0,8439	0,8413	0,8389	0,8361	0,8337	0,8311	0,8261	0,8234	0,8218	0,8210	0,8184	0,8157	0,8107
44	44	1117,6	0,9452	0,9422	0,9369	0,9316	0,9287	0,9260	0,9234	0,9205	0,9180	0,9152	0,9100	0,9071	0,9054	0,9046	0,9019	0,8990	0,8938
46	46	1168,4	1,0347	1,0317	1,0261	1,0205	1,0175	1,0146	1,0120	1,0089	1,0063	1,0034	0,9979	0,9949	0,9931	0,9923	0,9894	0,9864	0,9810
48	48	1219,2	1,1283	1,1251	1,1193	1,1135	1,1103	1,1074	1,1046	1,1014	1,0986	1,0956	1,0899	1,0867	1,0849	1,0840	1,0810	1,0779	1,0722
52	52	1320,8	1,3277	1,3243	1,3179	1,3116	1,3082	1,3050	1,3019	1,2985	1,2955	1,2922	1,2860	1,2826	1,2806	1,2796	1,2764	1,2730	1,2668
54	54	1371,6	1,4335	1,4299	1,4223	1,4168	1,4132	1,4098	1,4067	1,4031	1,4000	1,3966	1,3901	1,3866	1,3845	1,3835	1,3801	1,3768	1,3701
60	60	1524,0	1,7752	1,7712	1,7639	1,7566	1,7526	1,7488	1,7453	1,7413	1,7378	1,7341	1,7269	1,7229	1,7206	1,7194	1,7157	1,7117	1,7046
72	72	1828,8	2,5679	2,5631	2,5543	2,5455	2,5407	2,5362	2,5320	2,5272	2,5230	2,5185	2,5098	2,5050	2,5022	2,5008	2,4963	2,4915	2,4829
76	76	1930,4	2,8646	2,8595	2,8502	2,8410	2,8359	2,8311	2,8266	2,8216	2,8171	2,8124	2,8032	2,7981	2,7951	2,7937	2,7889	2,7839	2,7747
80	80	2032,0	3,1775	3,1721	3,1624	3,1526	3,1473	3,1422	3,1375	3,1322	3,1275	3,1225	3,1128	3,1074	3,1043	3,1028	3,0978	3,0925	3,0828
84	84	2133,6	3,5066	3,5010	3,4907	3,4805	3,4748	3,4696	3,4646	3,4590	3,4541	3,4488	3,4386	3,4330	3,4297	3,4281	3,4228	3,4173	3,4071
88	88	2235,2	3,8520	3,8460	3,8353	3,8245	3,8186	3,8131	3,8079	3,8020	3,7958	3,7913	3,7806	3,7748	3,7713	3,7696	3,7641	3,7583	3,7476
92	92	2336,8	4,2135	4,2073	4,1961	4,1848	4,1786	4,1728	4,1674	4,1613	4,1558	4,1501	4,1389	4,1328	4,1292	4,1274	4,1216	4,1155	4,1043
96	96	2438,4	4,5913	4,5848	4,5730	4,5613	4,5549	4,5488	4,5432	4,5367	4,5311	4,5250	4,5134	4,5070	4,5032	4,5013	4,4953	4,4889	4,4773
100	100	2540,0	4,9852	4,9785	4,9663	4,9540	4,9473	4,9410	4,9351	4,9284	4,9225	4,9162	4,9040	4,8974	4,8934	4,8915	4,8852	4,8786	4,8664

FABRICAÇÃO NORMAL "CONFAB"

Exemplo: Para: Diâmetro Nominal  $D_n = 54''$  e  
 Espessura de Parede  $e = 15,88$  mm  
 Área Interna  $A = 1,4098$  m<sup>2</sup>



VALORES DE  $v^{1,9}$  PARA ENTRAR NA FÓRMULA DE SCOBEEY

$$J = 410 K_a \frac{v^{1,9}}{D^{1,1}}$$

TABELA 4.2.2.1.4/III

Exemplo: Se  $v = 2,67$ ;  $v^{1,9} = 6,462$

v	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,0	1,000	1,019	1,038	1,058	1,077	1,097	1,117	1,137	1,157	1,178
1,1	1,199	1,219	1,240	1,261	1,283	1,304	1,326	1,348	1,370	1,392
1,2	1,414	1,436	1,459	1,482	1,505	1,528	1,551	1,575	1,598	1,622
1,3	1,646	1,670	1,695	1,719	1,744	1,769	1,794	1,819	1,844	1,870
1,4	1,895	1,921	1,947	1,973	1,999	2,026	2,052	2,079	2,106	2,133
1,5	2,161	2,188	2,216	2,243	2,271	2,299	2,328	2,356	2,385	2,414
1,6	2,442	2,472	2,501	2,530	2,560	2,590	2,619	2,649	2,680	2,710
1,7	2,741	2,771	2,802	2,833	2,864	2,896	2,927	2,959	2,991	3,023
1,8	3,055	3,087	3,120	3,153	3,185	3,218	3,251	3,285	3,318	3,352
1,9	3,386	3,420	3,454	3,488	3,522	3,557	3,592	3,626	3,662	3,697
2,0	3,732	3,768	3,803	3,839	3,875	3,911	3,948	3,984	4,021	4,058
2,1	4,095	4,132	4,169	4,207	4,244	4,282	4,320	4,358	4,396	4,434
2,2	4,473	4,512	4,551	4,590	4,629	4,668	4,708	4,747	4,787	4,827
2,3	4,867	4,908	4,948	4,989	5,029	5,070	5,111	5,153	5,194	5,235
2,4	5,277	5,319	5,361	5,403	5,446	5,488	5,531	5,573	5,616	5,660
2,5	5,703	5,746	5,790	5,833	5,877	5,921	5,966	6,010	6,054	6,099
2,6	6,144	6,189	6,234	6,279	6,325	6,370	6,416	6,462	6,508	6,554
2,7	6,601	6,647	6,694	6,741	6,788	6,835	6,882	6,930	6,977	7,025
2,8	7,073	7,121	7,169	7,218	7,266	7,315	7,364	7,413	7,462	7,511
2,9	7,561	7,610	7,660	7,710	7,760	7,810	7,861	7,911	7,962	8,013
3,0	8,064	8,115	8,166	8,218	8,269	8,321	8,373	8,425	8,477	8,529
3,1	8,582	8,635	8,687	8,740	8,794	8,847	8,900	8,954	9,008	9,062
3,2	9,116	9,170	9,224	9,279	9,333	9,388	9,443	9,498	9,553	9,609
3,3	9,664	9,720	9,776	9,832	9,888	9,945	10,001	10,058	10,114	10,171
3,4	10,228	10,286	10,343	10,401	10,458	10,516	10,574	10,632	10,691	10,749
3,5	10,808	10,866	10,925	10,984	11,043	11,103	11,162	11,222	11,282	11,342
3,6	11,402	11,462	11,522	11,583	11,644	11,705	11,766	11,827	11,888	11,950
3,7	12,011	12,073	12,135	12,197	12,259	12,321	12,384	12,447	12,509	12,572
3,8	12,635	12,699	12,762	12,826	12,889	12,953	13,017	13,081	13,146	13,210
3,9	13,275	13,339	13,404	13,469	13,535	13,600	13,665	13,731	13,797	13,863
4,0	13,929	13,995	14,061	14,128	14,195	14,261	14,328	14,396	14,463	14,530
4,1	14,598	14,666	14,733	14,801	14,870	14,938	15,006	15,075	15,144	15,213
4,2	15,282	15,351	15,420	15,490	15,559	15,629	15,699	15,769	15,840	15,910
4,3	15,980	16,051	16,122	16,193	16,264	16,335	16,407	16,478	16,550	16,622
4,4	16,694	16,766	16,838	16,911	16,984	17,056	17,129	17,202	17,275	17,349
4,5	17,422	17,496	17,570	17,644	17,718	17,792	17,866	17,941	18,015	18,090
4,6	18,165	18,240	18,316	18,391	18,466	18,542	18,618	18,694	18,770	18,846
4,7	18,923	18,999	19,076	19,153	19,230	19,307	19,384	19,462	19,539	19,617
4,8	19,695	19,773	19,851	19,930	20,008	20,087	20,165	20,244	20,323	20,403
4,9	20,482	20,562	20,641	20,721	20,801	20,881	20,961	21,042	21,122	21,203
5,0	21,283	21,364	21,446	21,527	21,608	21,690	21,771	21,853	21,935	22,017
5,1	22,100	22,182	22,264	22,347	22,430	22,513	22,596	22,679	22,763	22,846
5,2	22,930	23,014	23,098	23,182	23,266	23,351	23,435	23,520	23,605	23,690
5,3	23,775	23,861	23,946	24,032	24,117	24,203	24,289	24,375	24,462	24,548
5,4	24,635	24,721	24,808	24,895	24,983	25,070	25,157	25,245	25,333	25,421
5,5	25,509	25,597	25,685	25,774	25,862	25,951	26,040	26,129	26,218	26,308

TABELA 4.2.2.1.4/IV

VALORES DE  $D^{1,1}$  PARA ENTRAR NA FÓRMULA DE SCOBEEY

$$J = 410 K_a \frac{v^{1,9}}{D^{1,1}}$$

TUBOS DE AÇO SEM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA

DIÂMETRO			ESPESSURA DE PAREDE (mm)	ÁREA INTERNA (m <sup>2</sup> )	$D^{1,1}$
NOMINAL (Pol.)	EXTERNO (cm)	INTERNO(D) (cm)			
NORMA ASTM -A-120			SCHEDULE 30		
8	21,91	20,502	7,04	0,0330	27,732
10	27,30	25,740	7,80	0,0520	35,618
NORMA ASTM -A-120			SCHEDULE 40		
4	11,43	10,226	6,02	0,0082	12,903
5	14,13	12,820	6,55	0,0129	16,545
6	16,83	15,408	7,11	0,0186	20,254
8	21,91	20,274	8,18	0,0323	27,393
10	27,30	25,446	9,27	0,0509	35,171
NORMA ASTM -A-120			SCHEDULE 60		
8	21,91	19,848	10,31	0,0309	26,760
10	27,30	24,760	12,70	0,0481	34,129
NORMA ASTM -A-120			SCHEDULE 80		
4	11,43	9,718	8,56	0,0074	12,199
5	14,13	12,224	9,53	0,0117	15,701
6	16,83	14,636	10,97	0,0168	19,141
8	21,91	19,370	12,70	0,0295	26,052
10	27,30	24,282	15,09	0,0463	33,405
NORMA ASTM -A-120			SCHEDULE 100		
8	21,91	18,898	15,06	0,0280	25,355
10	27,30	23,652	18,24	0,0439	32,453

Fabricação Normal "MANNESMANN"

VALORES  $D^{1,1}$  (D em cm) PARA A FÓRMULA DE SCOEY  
PARA  
TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA  
TABELA 4.2.2.1.4/V

DIÂMETRO NOMINAL	ESPESSURA		TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA																		
	POL.	POL.	.188	.203	.210	.219	.237	.250	.258	.277	.280	.281	.307	.312	.322	.330	.344	.365	375		
EXTERNO	mm	mm	3/16	13/64		7/32		1/4				9/32		5/16		21/64	11/32			3/8	
POL.	POL.	mm	4,78	5,16	5,33	5,56	6,02	6,35	6,55	7,04	7,11	7,14	7,80	7,92	8,18	8,38	8,74	9,27	9,52		
12	12 3/4	323,85	44,369	44,245	44,198	44,121	43,981	43,828	43,826	43,671	43,640	43,640	43,438	43,392	43,314	43,252	43,144	42,973	42,896		
14	14	355,60	49,316	49,206	49,143	49,080	48,939	48,830	48,767	48,610	48,595	48,579	48,376	48,344	48,250	48,188	48,078	42,922	47,844		
16	16	406,40	57,336	57,225	57,161	57,098	56,955	56,844	56,780	56,621	56,605	56,590	56,383	56,351	56,256	56,193	56,082	55,923	55,844		
18	18	457,20	65,460	65,348	65,284	65,219	65,074	64,962	64,898	64,737	64,721	64,705	64,496	64,464	64,367	64,303	64,191	64,030	63,950		
20	20	508,00	73,678	73,564	73,499	73,434	73,287	73,174	73,109	72,946	72,930	72,914	72,703	72,670	72,573	72,508	72,394	72,232	72,151		
22	22	558,80	81,979	81,864	81,799	81,733	81,585	81,470	81,405	81,241	81,224	81,208	80,995	80,962	80,863	80,798	80,683	80,519	80,437		
24	24	609,60	90,358	90,242	90,176	90,109	89,960	89,845	89,778	89,613	89,596	89,580	89,365	89,331	89,232	89,166	89,050	88,885	88,802		
26	26	660,40	98,808	98,691	98,624	98,558	98,407	98,290	98,224	98,057	98,040	98,023	97,806	97,773	97,673	97,606	97,489	97,323	97,239		
28	28	711,20	107,32	107,21	107,14	107,07	106,92	106,80	106,74	106,57	106,55	106,53	106,32	106,28	106,18	106,11	106,00	105,83	105,74		
30	30	762,00	115,90	115,78	115,72	115,65	115,50	115,38	115,31	115,14	115,12	115,11	114,89	114,85	114,75	114,68	114,56	114,40	114,31		
32	32	812,80	124,54	124,42	124,35	124,28	124,13	124,01	123,94	123,77	123,75	123,74	123,52	123,48	123,38	123,31	123,19	123,02	122,94		
34	34	863,60	133,23	133,11	133,04	132,97	132,82	132,70	132,63	132,46	132,44	132,42	132,20	132,17	132,06	132,00	131,88	131,70	131,62		
36	36	914,40	141,97	141,85	141,78	141,71	141,56	141,44	141,37	141,20	141,18	141,16	140,94	140,90	140,80	140,73	140,61	140,44	140,35		
38	38	965,20	150,77	150,64	150,58	150,51	150,35	150,23	150,16	149,99	149,97	149,95	149,73	149,69	149,59	149,52	149,40	149,22	149,14		
40	40	1016,0	159,61	159,48	159,41	159,34	159,19	159,06	158,99	158,82	158,80	158,79	158,56	158,52	158,42	158,35	158,23	158,05	157,97		
42	42	1066,8	168,49	168,37	168,30	168,23	168,07	167,95	167,88	167,70	167,68	167,67	167,44	167,40	167,30	167,23	167,11	166,93	166,84		
44	44	1117,6	-	-	-	-	-	176,87	176,80	176,62	176,61	176,59	176,36	176,32	176,22	176,15	176,03	175,85	175,76		
46	46	1168,4	-	-	-	-	-	185,84	185,77	185,59	185,57	185,55	185,32	185,29	185,18	185,11	184,99	184,81	184,72		
48	48	1219,2	-	-	-	-	-	194,84	194,77	194,59	194,57	194,56	194,33	194,29	194,18	194,11	193,99	193,81	193,72		
52	52	1320,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	212,44	212,41	212,30	212,23	212,10	211,92	211,84		
54	54	1371,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	221,56	221,52	221,41	221,34	221,22	221,04	220,95		
60	60	1524,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	249,10	249,06	248,95	248,88	248,75	248,57	248,48		
72	72	1828,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	304,99	304,96	304,85	304,77	304,64	304,46	304,36		
76	76	1930,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	323,84	323,81	323,70	323,62	323,49	323,30	323,21		
80	80	2032,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	342,79	342,76	342,65	342,57	342,44	342,25	342,16		
84	84	2133,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	361,84	361,80	361,69	361,62	361,48	361,30	361,20		
88	88	2235,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	380,98	380,94	380,83	380,75	380,62	380,43	380,34		
92	92	2336,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400,21	400,17	400,05	399,98	399,85	399,66	399,56		
96	96	2438,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	419,52	419,48	419,36	419,29	419,15	418,96	418,87		
100	100	2540,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	438,91	438,87	438,76	438,68	438,55	438,35	438,26		

FABRICAÇÃO NORMAL "CONFAB"

(continua)

Exemplo: Para: Diâmetro Nominal  $D_n = 30"$  e  
Espessura de Parede  $e = 6,35$  mm  
 $D^{1,1} = 115,38$

VALORES  $D^{1,1}$  (D em cm) PARA A FÓRMULA DE SCOBEY  
PARA

TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA  
TABELA 4.2.2.1.4/V

(continuação)

ESPESSURA		POL.	D																
			.406	.438	.500	.562	.594	.625	.656	.688	.719	.750	.812	.844	.864	.875	.906	.938	1.000
DIÂMETRO		POL.	D																
MINIMAL	EXTERNAL		mm	10,31	11,13	12,70	14,27	15,08	15,88	16,66	17,48	18,26	19,05	20,62	21,43	21,94	22,22	23,01	23,83
12	12 3/4	323,85		42,648	42,401	41,922	41,428	41,181	40,934	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	14	355,60	47,594	47,328	46,844	46,361	46,096	45,846	45,673	45,348	45,115	44,866	-	-	-	-	-	-	-
16	16	406,40	55,590	55,321	54,830	54,339	54,071	53,818	53,581	53,312	53,075	52,823	-	-	-	-	-	-	-
18	18	457,20	63,693	63,420	62,923	62,426	62,154	61,898	61,658	61,386	61,146	60,890	60,395	60,124	59,964	59,884	59,629	59,358	58,864
20	20	508,00	71,891	71,615	71,113	70,610	70,335	70,076	69,833	69,558	69,315	69,057	68,556	68,281	68,120	68,039	67,781	67,506	67,006
22	22	558,80	80,175	79,896	79,389	78,881	78,603	78,341	78,096	77,818	77,573	77,312	76,806	76,528	76,365	76,284	76,023	75,745	75,240
24	24	609,60	88,537	88,256	87,744	87,232	86,951	86,687	86,440	86,159	85,912	85,648	85,137	84,857	84,692	84,610	84,347	84,067	83,557
26	26	660,40	96,973	96,689	96,173	95,656	95,373	95,107	94,857	94,574	94,325	94,059	93,544	93,261	93,095	93,012	92,746	92,464	91,950
28	28	711,20	105,47	105,19	104,67	104,15	103,86	103,59	103,34	103,06	102,81	102,54	102,02	101,73	101,57	101,48	101,22	100,93	100,41
30	30	762,00	114,04	113,75	113,23	112,70	112,42	112,15	111,89	111,61	111,35	111,08	110,56	110,27	110,10	110,02	109,75	109,46	108,94
32	32	812,80	122,66	122,37	121,85	121,32	121,03	120,76	120,50	120,21	119,96	119,69	119,16	118,87	118,70	118,62	118,35	118,06	117,53
34	34	863,60	131,34	131,05	130,52	129,99	129,70	129,43	129,17	128,88	128,62	128,35	127,82	127,53	127,36	127,27	127,00	126,71	126,18
36	36	914,40	140,08	139,78	139,25	138,71	138,42	138,15	137,89	137,60	137,34	137,06	136,53	136,24	136,06	135,98	135,70	135,41	134,88
38	38	965,20	148,86	148,56	148,03	147,49	147,19	146,92	146,66	146,36	146,10	145,83	145,29	145,00	144,82	144,74	144,46	144,17	143,63
40	40	1016,0	157,69	157,39	156,85	156,31	156,02	155,74	155,48	155,18	154,92	154,64	154,10	153,81	153,63	153,55	153,27	152,97	152,43
42	42	1066,8	166,56	166,26	165,72	165,18	164,88	164,60	164,34	164,04	163,78	163,50	162,96	162,66	162,49	162,40	162,12	161,82	161,28
44	44	1117,6	175,48	175,18	174,64	174,09	173,79	173,51	173,25	172,95	172,68	172,40	171,86	171,56	171,38	171,30	171,02	170,72	170,17
46	46	1168,4	184,44	184,14	183,59	183,04	182,74	182,46	182,20	181,90	181,63	181,35	180,80	180,50	180,32	180,24	179,95	179,65	179,11
48	48	1219,2	193,44	193,14	192,59	192,04	191,73	191,45	191,18	190,88	190,62	190,33	189,78	189,48	189,31	189,22	188,93	188,63	188,08
52	52	1320,8	211,55	211,24	210,69	210,14	209,83	209,55	209,28	208,97	208,71	208,42	207,87	207,56	207,38	207,29	207,01	206,70	206,15
54	54	1371,6	220,66	220,35	219,80	219,24	218,93	218,65	218,38	218,07	217,80	217,52	216,96	216,66	216,48	216,39	216,10	215,79	215,24
60	60	1524,0	248,19	247,88	247,32	246,75	246,45	246,16	245,88	245,58	245,30	245,01	244,45	244,14	243,96	243,87	243,58	243,27	242,71
72	72	1828,8	304,07	303,75	303,18	302,61	302,29	302,00	301,72	301,41	301,13	300,83	300,26	299,95	299,76	299,67	299,37	299,06	298,49
76	76	1930,4	322,91	322,60	322,02	321,44	321,13	320,83	320,55	320,24	319,96	319,66	319,08	318,77	318,58	318,49	318,19	317,88	317,30
80	80	2032,0	341,86	341,54	340,96	340,38	340,07	339,77	339,49	339,17	338,89	338,59	338,01	337,69	337,51	337,41	337,11	336,80	336,22
84	84	2133,6	360,90	360,58	360,00	359,42	359,10	358,80	358,52	358,20	357,92	357,62	357,03	356,71	356,53	356,43	356,13	355,81	355,23
88	88	2235,2	380,04	379,72	379,13	378,55	378,22	377,92	377,64	377,32	377,04	376,73	376,15	375,83	375,64	375,55	375,24	374,92	374,34
92	92	2336,8	399,25	398,94	398,35	397,76	397,44	397,13	396,85	396,53	396,24	395,94	395,35	395,03	394,84	394,75	394,44	394,12	393,54
96	96	2438,4	418,56	418,24	417,65	417,06	416,74	416,43	416,15	415,82	415,54	415,23	414,64	414,32	414,13	414,03	413,73	413,41	412,82
100	100	2540,0	437,95	437,63	437,03	436,44	436,12	435,81	435,52	435,20	434,91	434,61	434,01	433,69	433,50	433,40	433,10	432,77	432,18

FABRICAÇÃO NORMAL "CONFAB"

Exemplo: Para: Diâmetro Nominal  $D_n = 48" e$   
Espessura de Parede  $e = 15,88 \text{ mm}$   
 $D^{1,1} = 191,45$

PESO UNITÁRIO DE TUBO EM QUILOS POR METRO DE COMPRIMENTO  
PARA  
TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA  
TABELA 4.2.2.1.4/VI

DIÂMETRO NOMINAL EXTERNO	ESPESSURA	POL.	TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA																	
			POL.	.188	.203	.210	.219	.237	.250	.256	.277	.280	.281	.307	.312	.322	.330	.344	.365	.375
				mm	3/16	13/64		7/32		1/4				9/32		5/16		21/64	11/32	
			4,78	5,16	5,33	5,56	6,02	6,35	6,55	7,04	7,11	7,14	7,80	7,92	8,18	8,38	8,74	9,27	9,52	
12	12 3/4	323,85	37,6	40,6	41,9	43,6	47,2	49,7	51,3	55,0	55,5	55,8	60,8	61,7	63,7	65,2	67,9	71,9	73,8	
14	14	355,60	41,4	44,6	46,0	48,0	51,9	54,7	56,4	60,5	61,1	61,4	66,9	67,9	70,1	71,8	74,8	79,2	81,3	
16	16	406,40	47,3	51,1	52,7	55,0	59,4	62,7	64,6	69,3	70,0	70,3	76,7	77,8	80,3	82,3	85,7	90,8	93,2	
18	18	457,20	53,3	57,5	59,4	61,9	67,0	70,6	72,8	78,2	78,9	79,3	86,5	87,8	90,6	92,8	96,7	102,4	105,1	
20	20	508,00	59,3	64,0	66,1	68,9	74,5	78,6	81,0	87,0	87,8	88,2	96,2	97,7	100,8	103,3	107,6	114,0	117,0	
22	22	558,80	65,3	70,5	72,8	75,9	82,1	86,5	89,2	95,8	96,7	97,1	106,0	107,6	111,1	113,8	118,6	125,6	129,0	
24	24	609,60	71,3	76,9	79,4	82,8	89,6	94,5	97,4	104,6	105,6	106,1	115,8	117,5	121,3	124,3	129,5	137,2	140,9	
26	26	660,40	77,3	83,4	86,11	89,8	97,2	102,4	105,6	113,4	114,6	115,0	125,5	127,4	131,6	134,8	140,5	148,9	152,8	
28	28	711,20	83,3	89,8	92,8	96,8	104,7	110,4	113,8	123,3	123,5	124,0	135,3	137,4	141,8	145,3	151,4	160,5	164,7	
30	30	762,00	89,3	96,3	99,5	103,7	112,2	118,3	122,0	131,1	132,4	132,9	145,1	147,3	152,1	155,8	162,4	172,1	176,7	
32	32	812,80	95,3	102,8	106,1	110,7	119,8	126,3	130,2	139,9	141,3	141,9	154,9	157,2	162,3	166,2	173,3	183,7	188,6	
34	34	863,60	101,2	109,2	112,8	117,7	127,3	134,3	138,4	148,7	150,2	150,8	164,6	167,1	172,6	176,7	184,3	195,3	200,5	
36	36	914,40	107,2	115,7	119,5	124,6	134,9	142,2	146,7	157,5	159,1	159,8	174,4	177,1	182,8	187,2	195,2	206,9	212,5	
38	38	965,20	113,2	122,2	126,2	131,6	142,4	150,2	154,9	166,4	168,0	168,7	184,2	187,0	193,1	197,7	206,2	218,5	224,4	
40	40	1016,00	119,2	128,6	132,9	138,6	149,9	158,1	163,1	175,2	176,9	177,6	193,9	196,9	203,3	208,2	217,1	230,2	236,3	
42	42	1066,80	125,2	135,1	139,5	145,52	157,5	166,1	171,3	184,0	185,8	186,6	203,7	206,8	213,6	218,7	228,1	241,8	248,2	
44	44	1117,60	-	-	-	-	-	174,0	179,5	192,8	194,7	195,5	213,5	216,7	223,8	229,2	239,0	253,4	260,2	
46	46	1168,40	-	-	-	-	-	182,0	187,7	201,6	203,6	204,5	223,3	226,7	234,1	239,7	250,0	265,0	272,1	
48	48	1219,20	-	-	-	-	-	189,9	195,9	210,5	212,5	213,4	233,0	236,6	244,3	250,2	260,9	276,6	284,0	
52	52	1320,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	252,6	256,4	264,8	271,2	282,8	299,8	307,9	
54	54	1371,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	262,3	266,4	275,0	281,7	293,8	311,5	319,8	
60	60	1524,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	291,7	296,1	305,8	313,2	326,6	346,3	355,6	
72	72	1828,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350,3	355,7	367,3	376,2	393,3	416,0	427,1	
76	76	1930,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	369,8	375,5	387,8	397,2	414,2	439,2	451,0	
80	80	2032,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	389,4	395,3	408,3	418,2	436,1	462,4	474,8	
84	84	2133,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	408,9	415,2	428,8	439,2	458,0	485,7	498,7	
88	88	2235,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	428,5	435,0	449,3	460,2	479,9	508,9	522,5	
92	92	2336,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	448,0	454,9	469,8	481,2	501,8	532,1	546,4	
96	96	2438,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	467,6	474,7	490,3	502,2	523,7	555,3	570,3	
100	100	2540,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	487,1	494,6	510,8	523,2	545,6	578,6	594,1	

FABRICAÇÃO NORMAL "CONFAB"

(continua)

Exemplo: Para: Diâmetro Nominal  $D_n = 42"$  e  
Espessura de Parede  $e = 6,35$  mm  
Peso Unitário de Tubo  $= 166,1$  kg/m

PESO UNITÁRIO DE TUBO EM QUILOS POR METRO DE COMPRIMENTO  
 PARA  
 TUBOS DE AÇO COM COSTURA DE FABRICAÇÃO PADRONIZADA  
 TABELA 4.2.2.1.4/VI

(continuação)

ESPESSURA	DIÂMETRO NOMINAL EXTERNO	POL.																
		.406	.438	.500	.562	.594	.625	.656	.688	.719	.750	.812	.844	.864	.875	.906	.938	1.000
		13/32	7/16	1/2	9/16	19/32	5/8	21/32	11/16	23/32	3/4	13/16	27/32		7/8	29/32	15/16	.1
POL.	POL.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
12	12 3/4	323,85	79,7	85,8	97,5	109,0	114,8	120,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	14	355,60	87,8	94,6	107,4	120,1	126,6	133,0	139,3	145,8	151,9	158,1	-	-	-	-	-	
16	16	406,40	100,7	108,5	123,3	138,0	145,5	152,9	160,6	167,7	174,8	182,0	-	-	-	-	-	
18	18	457,20	113,6	122,4	139,2	155,9	164,4	172,8	181,0	189,6	197,7	205,8	222,0	230,3	235,5	238,4	246,4	
20	20	508,00	126,5	136,4	155,1	173,8	183,3	192,7	201,9	211,5	220,5	229,7	247,8	257,2	263,0	266,2	275,2	
22	22	558,80	139,5	150,3	171,0	191,6	202,2	212,6	222,7	233,4	243,4	253,6	273,7	284,0	290,5	294,0	304,0	
24	24	609,60	152,4	164,3	187,0	209,5	221,1	232,5	243,6	255,3	266,3	277,4	299,5	310,9	318,0	321,9	332,9	
26	26	660,40	165,3	178,2	202,9	227,4	240,0	252,4	264,5	277,2	289,2	301,3	325,3	337,7	345,5	349,7	361,7	
28	28	711,20	178,2	192,2	218,8	245,3	258,9	272,3	285,4	299,1	312,0	325,2	351,2	364,5	372,9	377,6	390,5	
30	30	762,00	191,1	206,1	234,7	263,1	277,8	292,2	306,2	321,0	334,9	349,0	377,0	391,4	400,4	405,4	419,4	
32	32	812,80	204,0	220,0	250,6	281,0	296,7	312,1	327,1	342,9	357,8	372,9	402,8	418,2	427,9	433,2	448,2	
34	34	863,60	217,0	234,0	266,5	298,9	315,6	332,0	348,0	364,8	380,7	396,8	428,7	445,1	455,4	461,1	477,0	
36	36	914,40	229,9	247,9	282,4	316,8	334,5	351,9	369,9	386,7	403,6	420,6	454,5	471,9	482,9	488,9	505,8	
38	38	965,20	242,8	261,9	298,3	334,7	353,4	371,8	389,7	408,6	426,4	444,5	480,3	498,8	510,4	516,7	534,7	
40	40	1016,0	255,7	275,8	314,2	352,5	372,2	391,7	410,6	430,5	449,3	468,4	506,2	525,6	537,9	544,6	563,5	
42	42	1066,8	268,6	289,8	330,2	370,4	391,1	411,6	431,5	452,4	472,2	492,2	532,0	552,5	565,4	572,4	592,3	
44	44	1117,6	281,5	303,7	346,1	388,3	410,0	431,5	452,3	474,2	495,1	516,1	557,8	579,3	592,8	600,3	621,1	
46	46	1168,4	294,5	317,7	362,0	406,2	428,9	451,4	473,2	496,1	517,9	540,0	583,7	606,2	620,3	628,1	650,0	
48	48	1219,2	307,4	331,6	377,9	424,0	447,8	471,3	494,1	518,0	540,8	563,8	609,5	633,0	647,8	655,9	678,8	
52	52	1320,8	333,2	359,5	409,7	459,8	485,6	511,0	535,8	561,8	586,6	611,6	661,2	686,7	702,8	711,6	736,5	
54	54	1371,6	346,1	373,4	425,6	477,7	504,5	530,9	556,7	583,7	609,4	635,4	687,0	713,6	730,3	739,4	765,3	
60	60	1524,0	384,9	415,3	473,3	531,3	561,2	590,6	619,3	649,4	678,1	707,0	764,5	794,1	812,7	823,0	851,8	
72	72	1828,8	462,4	498,9	568,8	638,6	674,5	710,0	744,5	780,8	815,3	850,2	919,5	955,2	977,7	990,0	1024,7	
76	76	1930,4	488,2	526,8	600,6	674,3	712,3	749,8	786,3	824,6	861,1	898,0	971,2	1008,9	1032,6	1045,6	1082,4	
80	80	2032,0	514,0	554,7	632,5	710,1	750,1	789,6	828,0	868,4	906,8	945,7	1022,8	1062,6	1087,6	1101,3	1140,0	
84	84	2133,6	539,9	582,6	664,3	745,8	787,9	829,4	869,8	912,2	952,6	993,4	1074,5	1116,3	1142,6	1157,0	1197,7	
88	88	2235,2	565,7	610,5	696,1	781,6	825,7	869,1	911,5	956,0	998,3	1041,2	1126,2	1170,0	1197,5	1212,7	1255,3	
92	92	2336,8	591,5	638,4	727,9	817,4	863,4	908,9	953,3	999,8	1044,1	1088,9	1177,8	1223,7	1252,5	1268,3	1313,0	
96	96	2438,4	617,4	666,2	759,7	853,1	901,2	948,7	995,0	1043,6	1089,8	1136,5	1229,5	1277,4	1307,5	1324,0	1370,6	
100	100	2540,0	643,2	694,1	791,6	888,9	939,0	988,5	1036,7	1087,4	1135,6	1184,4	1281,2	1331,1	1362,5	1379,7	1428,3	

FABRICAÇÃO NORMAL "CONFAB"

Exemplo: Para: Diâmetro Nominal  $D_n = 72"$  e  
 Espessura de Parede  $e = 19,05$  mm  
 Peso Unitário de Tubo = 850,2 kg/m

A perda de carga por atrito  $h_a$  da tubulação é calculada pela fórmula:

$$h_a = J \times L$$

sendo:

L = comprimento da tubulação, em km

Nos projetos de usinas hidrelétricas, devido à maior segurança que exigem, é aconselhável que se dê preferência às tubulações em aço sem costura ou em chapas de aço soldadas. Toda via, como alternativa, pode-se empregar tubulações em aço rebitado, fabricadas no passado, mas que ainda estejam em bom estado de conservação, provenientes de construções antigas e desativadas, como também pode-se empregar tubulações de concreto nos trechos de baixa pressão do sistema adutor.

Para o cálculo da perda de carga unitária J, adotar os seguintes valores para coeficientes  $K_a$  da fórmula de Scobey:

0,32 - Tubulações novas com parede interna contínua, com tubulações com juntas soldadas ou sem costura.

Quando se empregar, nos trechos de baixa pressão do sistema adutor, tubulações de concreto, ou de cimento-amianto, os valores de  $K_a$  serão:

0,34 - para tubulação de cimento-amianto

0,38 - para tubulação de concreto

#### 4.2.2.2 Determinação da Potência Instalada

A potência instalada será calculada pela fórmula:

$$P = 9,81 \cdot r_t \cdot r_g \cdot Q \cdot H_L$$

onde:

P = potência instalada, em kW

Q = descarga de projeto, em  $m^3/s$  (determinada no item 4.1.8.2)

$H_L$  = queda líquida, em m (determinada no item 4.2.2.1)

$r_t$  = rendimento da turbina

$r_g$  = rendimento do gerador

9,81 = fator de conversão

Os valores dos rendimentos  $r_t$  e  $r_g$  são fornecidos pelos fabricantes. Na falta de informações, pode-se empregar um valor conservativo para o rendimento global turbina/gerador igual a:

$r_t \cdot r_g = 0,73$  onde:  $r_t = 0,77$  e  $r_g = 0,95$  e a fórmula acima ficará:

$$P = 7,16 Q \cdot H_L$$

#### 4.2.2.3 Exemplo - Determinação da Potência Instalada

Determinar a potência a ser instalada em um aproveitamento hidrelétrico com 25 m de queda bruta e uma descarga de projeto de 3 m<sup>3</sup>/s, sabendo-se que a unidade turbogeradora é alimentada por um sistema adutor constituído de um canal entre a barragem e a câmara de carga e de uma tubulação forçada em aço alimentando uma única unidade geradora, entre a câmara de carga e a casa de máquinas, apresentando as seguintes dimensões:

##### Tomada d'Água do Canal

- Grade construída com barras de ferro redondas, 3/8" diâmetro, espaçadas de 30 mm, inclinadas de 80° em relação ao piso da tomada d'água, cobrindo uma área bruta de 1,0 m de altura x 2,0 m de largura.

##### Canal

- Em concreto, com acabamento de argamassa de cimento na proporção 1:3, seção retangular uniforme, com área útil de 1,0 m de altura x 2,0 m de largura, 500 m de comprimento e com curvas suaves.

##### Tomada d'Água da Tubulação Forçada, na Câmara de Carga

- Grade construída com barras de ferro com arestas vivas, de seção retangular 10 mm x 60 mm, espaçadas de 35 mm, inclinadas de 80° em relação ao piso da tomada d'água, cobrindo uma área bruta de 2,0 m de altura x 1,5 m de largura.

- Boca da Tubulação Forçada em Forma de Campânula

##### Tubulação Forçada

- Construída em chapa de aço soldada, diâmetro nominal 36" (91,44 cm externo), espessura de parede 1/4" (6,35 mm) e 40 m de comprimento.



### Cálculo das Perdas de Carga no Sistema Adutor

- Perda de carga na tomada d'água do canal

. Perda de carga inicial

$$h'_i = k_i \frac{v^2}{2g}$$

$$k_i = 0,10$$

$$\text{Descarga} \quad Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Área de escoamento} \quad A = 1 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 2,00 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidade da água} \quad v = \frac{Q}{A} = \frac{3,0}{2,0} = 1,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Perda de carga} \quad h'_i = 0,10 \times \frac{1,5^2}{2 \times 9,81} = 0,0115 \text{ m}$$

. Perda de carga na grade

$$h'_g = K_g \left( \frac{e_1^{4/3}}{e_2^{4/3}} \right) \text{ sen } \alpha \frac{v_g^2}{2g}$$

$$\text{Descarga} \quad Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Área bruta da grade} \quad A_g = 1 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 2,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Inclinação da grade} \quad \alpha = 80^\circ$$

$$\text{Velocidade da água a montante da grade} \quad v_g = \frac{Q}{A_g} = \frac{3,0}{2,0} = 1,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Espessura das barras (diâmetro)} \quad e_1 = 9,53 \text{ mm (3/8")}$$

$$\text{Espaçamento entre barras} \quad e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$K_g = 1,79 \text{ (ver ANEXO 4.2.2.1.2/A)}$$

$$\text{sen } \alpha = \text{sen } 80^\circ = 0,985$$

$$2g = 2 \times 9,81 = 19,62$$

Perda de carga

$$h'_g = 1,79 \frac{9,53^{4/3}}{30^{4/3}} \cdot 0,985 \cdot \frac{1,5^2}{19,62} = 0,044 \text{ m}$$

- Perda de carga no canal

. Perda de carga por atrito

Dados:

$$L = 500 \text{ m} = 0,5 \text{ km}$$

$$h = 1,0 \text{ m}$$

$$b = 2,0 \text{ m}$$

$$n = 0,011 \text{ (revestimento com argamassa de cimento 1:3)}$$

$$Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Através das fórmulas citadas no ANEXO 4.2.2.1.3/A, calcula-se :

$$\text{Área da seção molhada: } A = 1,0 \times 2,0 = 2,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado: } P = 2,0 + 2 \times 1,0 = 4,0 \text{ m}$$

$$\text{Raio hidráulico: } R_h = \frac{A}{P} = \frac{2,0}{4,0} = 0,5 \text{ m}$$

Calculando-se a velocidade da água no canal, tem-se:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{3,0}{2,0} = 1,50 \text{ m/s}$$

Entrando-se com os parâmetros  $v$  e  $R_h$  no abaco específico ANEXO 4.2.2.1.3/B para  $n = 0,011$ , encontra-se a declividade  $J$ :

$$J = 0,65 \text{ m/km}$$

A perda de carga será:

$$h'_a = J \times L = 0,65 \times 0,5 = 0,325 \text{ m}$$

Verificação :

Aplicando a fórmula de Ganguillet e Kutter, temos:

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{0,00065} + \frac{1}{0,011}}{1 + \frac{0,011}{\sqrt{0,5}} \left( 23 + \frac{0,00155}{0,00065} \right)} = 83,316$$

326

Levando o valor C à fórmula de Chézy:

$$v = 83,316 \sqrt{0,5 \times 0,00065} = 1,502 \text{ m}$$

o que prova que a operação no ábaco foi correta.

- Perda de carga na tomada d'água da tubulação forçada

. Perda de carga inicial

$$h_i'' = K_i \frac{v^2}{2g}$$

Descarga  $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Área de escoamento  $A = 2,0 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 3,0 \text{ m}^2$

Velocidade da água  $v = \frac{Q}{A} = \frac{3,0}{3,0} = 1,0 \text{ m/s}$

Perda de carga 
$$h_i'' = 0,10 \times \frac{1,0^2}{2 \times 9,81} = 0,005 \text{ m}$$

. Perda de carga na grade

$$h_g'' = K_g \left( \frac{e_1^{4/3}}{e_2^{4/3}} \right) \text{sen } \alpha \frac{v_g^2}{2g}$$

Descarga  $Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Área bruta da grade  $A_g = 2,0 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 3,0 \text{ m}^2$

Velocidade da água a montante da grade  $v_g = \frac{Q}{A_g} = \frac{3,0}{3,0} = 1,0 \text{ m/s}$

Espessura das barras  $e_1 = 10 \text{ mm}$

Espaçamento entre barras  $e_2 = 35 \text{ mm}$

$K_g = 2,42$  (ver ANEXO 4.2.2.1.2/A)

$\text{sen } \alpha = \text{sen } 30^\circ = 0,985$

$2g = 2 \times 9,81 = 19,62$

Perda de carga:

$$h_g'' = 2,42 \left( \frac{10^{4/3}}{35^{4/3}} \right) 0,985 \frac{1,0^2}{19,62} = 0,023 \text{ m}$$

Perda de carga na entrada da tubulação forçada

$$h_e = K_e \frac{v^2}{2g}$$

Descarga

$$Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$K_e = 0,04$ , ver ANEXO 4.2.2.1.4/A - Em forma de campânula

Diâmetro interno da tubulação:

$$D = 91,44 - 2 \times 0,635 = 90,17 \text{ cm (TABELA 4.2.2.1.4/I)}$$

Área interna da seção transversal:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,1416 \times 0,9017^2}{4} = 0,6386 \text{ m}^2 \text{ (TABELA 4.2.2.1.4/II)}$$

Velocidade da água no interior da tubulação:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{3,0}{0,6386} = 4,70 \text{ m/s}$$

A perda de carga na entrada da tubulação será:

$$h_e = 0,04 \frac{4,70^2}{2 \times 9,81} = 0,045 \text{ m}$$

Perda de carga por atrito

Dados:

$K_a = 0,32$  - tubulação nova em chapas de aço soldadas

$L = 40 \text{ m} = 0,040 \text{ km}$  - comprimento da tubulação

$v = 4,70 \text{ m/s}$  (já calculado)

$D = 90,17 \text{ cm}$  (já calculado)

Pela fórmula de Scobey:

$$J = 410 \times 0,32 \frac{4,70^{1,9}}{90,17^{1,1}}$$

Pela TABELA 4.2.2.1.4/III:  $4,70^{1,9} = 18,923$

Pela TABELA 4.2.2.1.4/V, para tubo com diâmetro nominal 36" e espessura de parede 0,635 cm:

$$D^{1,1} = 90,17^{1,1} = 141,44$$

$$J = 410 \times 0,32 \frac{18,923}{141,44} = 17,553 \text{ m/km}$$

A perda de carga será:

$$h_a'' = J \times L = 17,553 \times 0,040 = 0,702 \text{ m}$$

- Perda total de carga no sistema adutor

$$h_t = h_i' + h_g' + h_a' + h_i'' + h_g'' + h_e + h_a''$$

$$h_t = 0,012 + 0,044 + 0,325 + 0,005 + 0,023 + 0,045 + 0,702 = 1,156 \text{ m que representa 4,8\% da queda bruta.}$$

- Cálculo da queda líquida

Dados:

$$H = 25 \text{ m Queda bruta}$$

$$h_t = 1,156 \text{ m Perda Total de Carga no Sistema Adutor}$$

A queda líquida será :

$$H_L = H - h_t = 25 - 1,156 = 23,844 \text{ m}$$

Cálculo da potência instalada

Dados:

$$Q = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_L = 23,844 \text{ m}$$

$$r_t \times r_g = 0,73 \text{ (a ser adotado na falta de informação)}$$

$$P = 9,81 \cdot r_t \cdot r_g \cdot Q \cdot H_L$$

$$P = 9,81 \times 0,73 \times 3,0 \times 23,844 = 512 \text{ kW}$$

#### 4.2.3 Equipamentos Mecânicos

##### 4.2.3.1 Comportas

A tomada d'água e a câmara de carga deverão ser equipadas com comportas de manutenção com a finalidade de permitir a manutenção ou eventuais reparos e inspeções das estruturas civis e dos equipamentos da central. Na câmara de carga também se faz necessário o emprego de uma ou mais comportas de limpeza desarena dora com a função de possibilitar a descarga natural da areia acumulada no fundo da câmara de carga.

Haverá necessidade de se prever uma comporta de manutenção para o canal de fuga das centrais cujo nível d'água do poço de saída da turbina esteja constantemente ligado ao nível d'água do rio.

Estas comportas são do tipo gaveta, capazes de serem operadas sob fluxo hidráulico. Normalmente são operadas manualmente através de um volante ou manivela pertencente a um mecanismo simples, composto de uma ou duas hastes de aço rosqueadas fixas na comporta e um sistema de porca ou sem-fim aparafusadas na travessa superior da estrutura de armação das guias laterais da comporta.

As guias laterais de movimentação das comportas são fabricadas de chapas e perfis estruturais de aço formando um quadro rígido, para serem chumbadas no concreto.

As comportas podem ser construídas em aço ou em madeira, sendo esta última a mais empregada em minicentrais, conforme concepção construtiva ilustrada no ANEXO 4.2.3/A.

Como alternativa das comportas de manutenção inteiriças, conforme ilustradas nos ANEXOS 4.2.3/A e B, poder-se-á adotar a colocação de pranchões de madeira.

Os pranchões são colocados manualmente nas ranhuras, um sobre o outro até que o último ultrapasse a altura do nível d'água máximo. As dimensões básicas dos pranchões podem ser tiradas do ANEXO 4.2.3/A, tendo em vista que a solução dos pranchões é uma comporta de madeira desmontada, sem mecanismo de acionamento. O emprego de pranchões de madeira requer prever-se no projeto civil a construção de ranhuras que servem de guias laterais semelhantes às construídas para as grades.

A escolha da concepção construtiva da comporta deverá levar em conta os recursos disponíveis, tanto de material, quanto de mão de obra encontrados no local de implantação da central, bem como o custo das comportas fornecidas pelos fabricantes.

Os ANEXOS 4.2.3/A e B apresentam, para cada concepção construtiva, um quadro contendo as dimensões básicas de cada comporta, para que a mesma possa ser selecionada de modo compatível com as dimensões da abertura especificada no projeto civil do local de implantação da comporta.

Nos quadros foram incluídos o dimensionamento das peças principais, salientando-se que esse dimensionamento foi feito para comportas de superfície, ou seja, projetadas para suportarem uma altura da água sobre a soleira de no máximo igual à própria altura da comporta.

Concepções construtivas apresentadas nos anexos:

- Comportas de madeira - ANEXO 4.2.3/A

São de simples construção e de baixo custo. As madeiras empregadas na construção da comporta devem possuir boa resistência à ação da água a fim de evitar o apodrecimento prematuro.

- Comportas de aço - ANEXO 4.2.3/B

São de construção relativamente leve e de baixo custo quando comparadas com as comportas de ferro fundido. Dependendo da conservação e pintura de proteção, apresentam grande durabilidade com pouca manutenção.

As comportas de limpeza ou desarenadoras, são sempre menores que as comportas de manutenção, porém suportam maior pressão d'água devido à soleira do desarenador estar sempre na parte mais baixa do local de sua implantação.

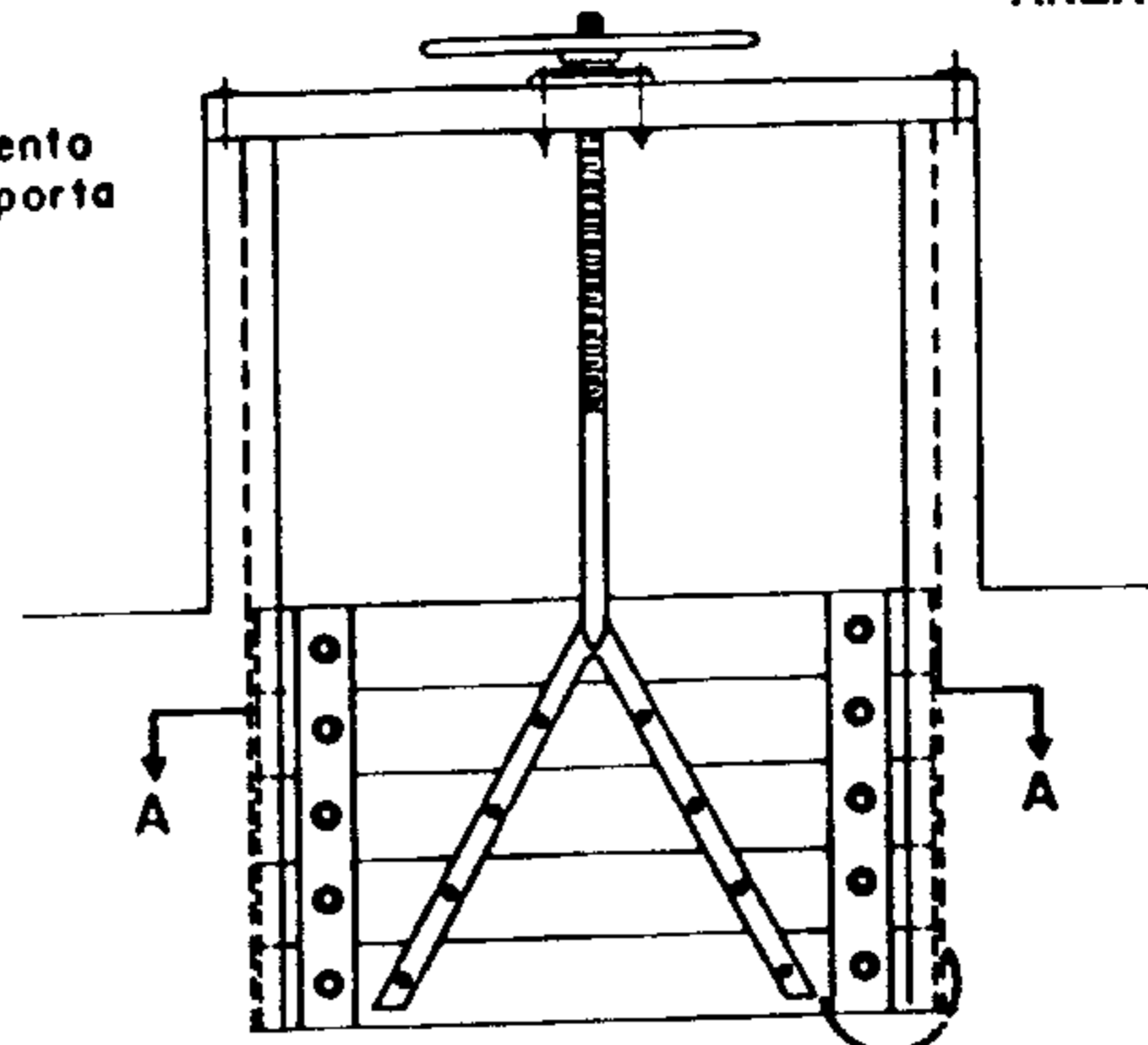
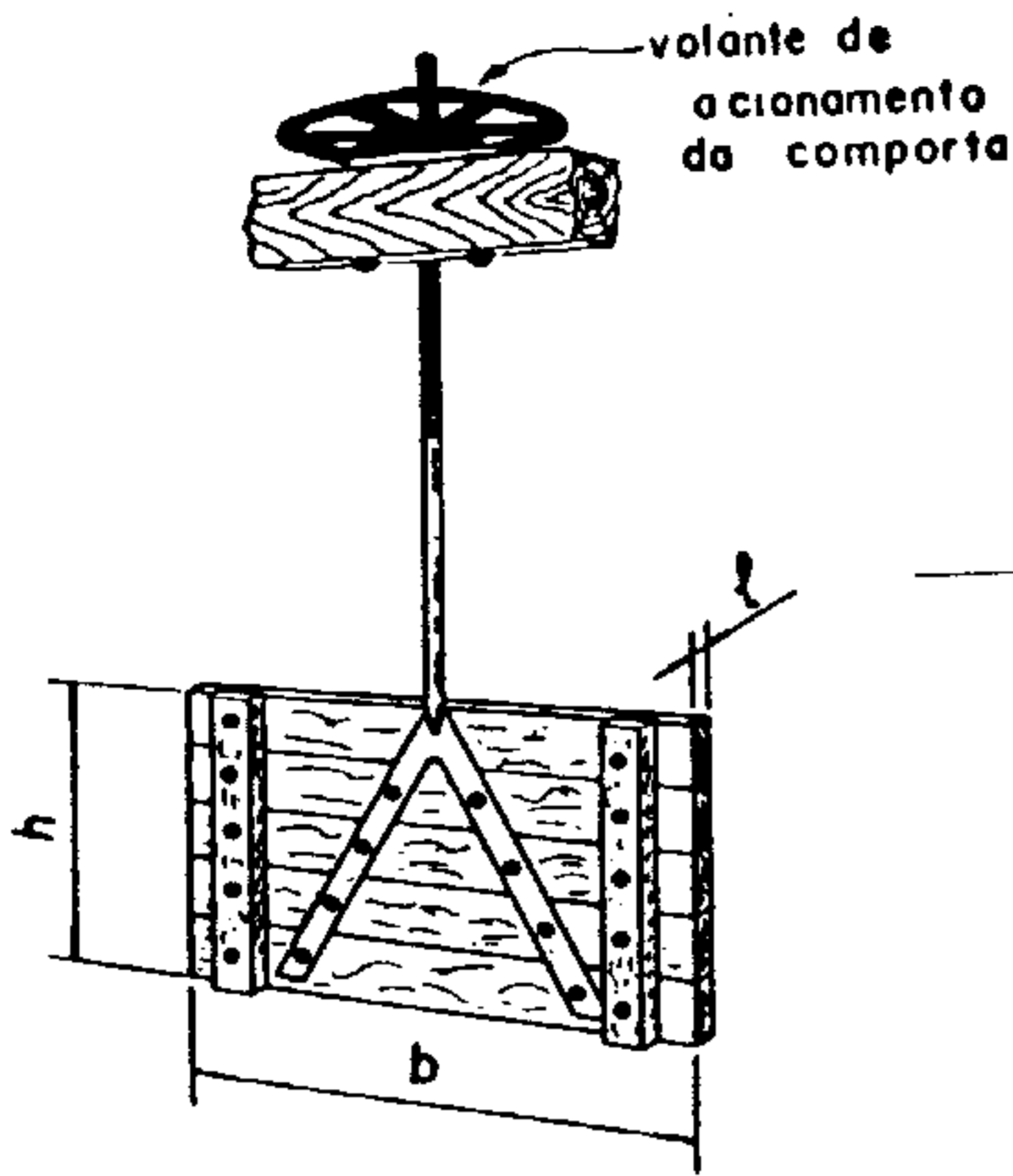
Neste caso, a altura hidrostática, dado de entrada na tabela, deverá ser tomada em relação a sua soleira. As corrediças laterais, que servem de guia da comporta de limpeza, também assemelham-se em construção às da comporta de manutenção, salvo na altura, que deverá permitir a abertura total da comporta. As travessas superiores da armação são suprimidas e as hastes sustentadas por meio de mancais, prolongando-se até a parte superior do muro de concreto, para se ligarem ao pedestal de manobra, adequado a cada comporta.



4.2.3/A

COMPORTAS DE MADEIRA

ANEXO



DET."1"  
(SOLEIRA)

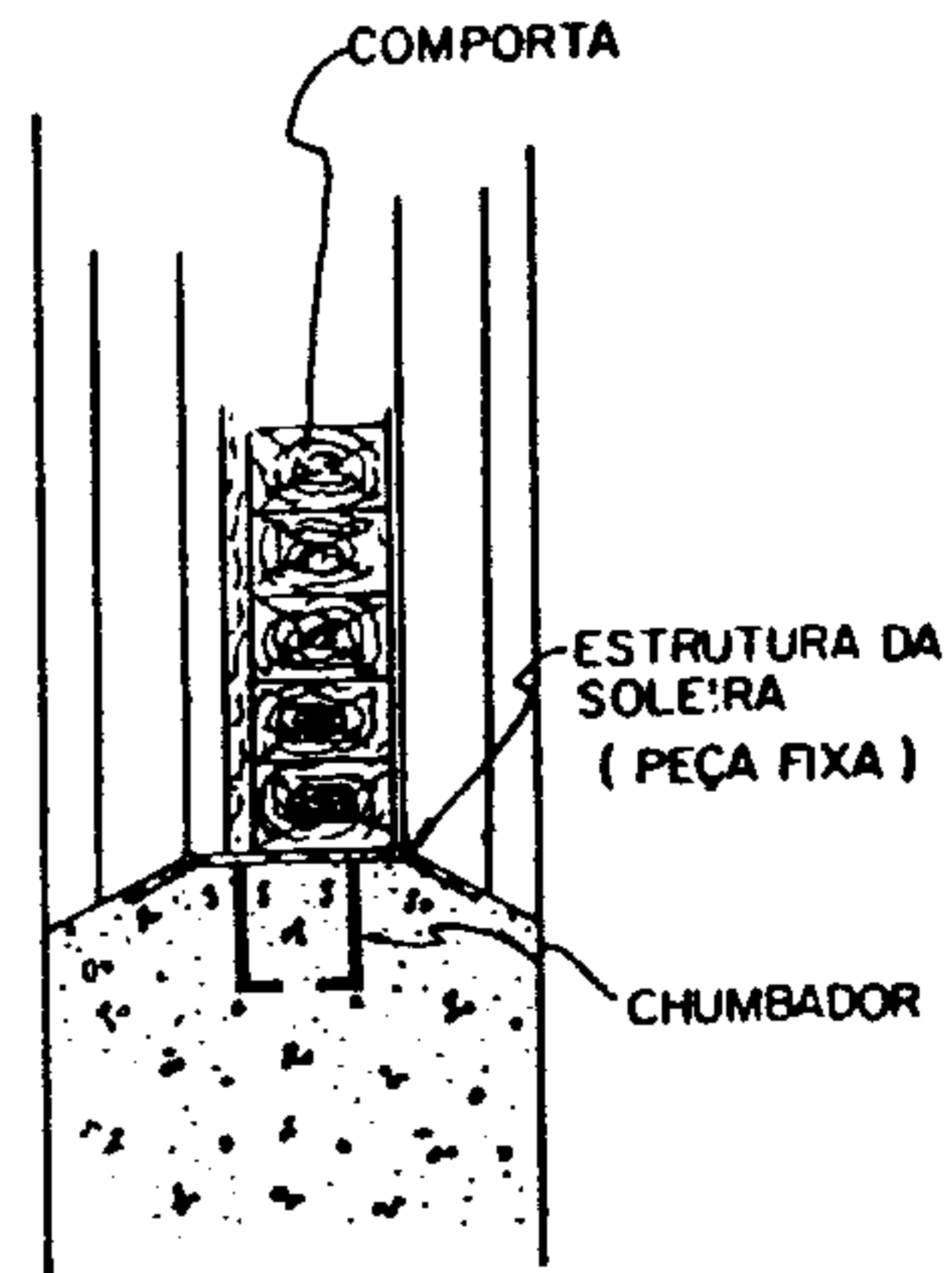
COMPORTA DE MADEIRA			
ALTURA h (metros)	LARGURA b (metros)	ESPESSURA e (centímetros)	PESO kgf (kilogramas)
0,60	0,40	4	10,50
0,60	0,70	4	18,50
0,75	0,85	4	28,00
0,75	1,00	4	33,00
0,90	1,00	4	39,50
1,05	1,00	5	57,50
1,05	1,20	5	69,50
1,05	1,35	5	80,00
1,20	1,35	5	89,00
1,20	1,50	5	99,00
1,40	1,50	5	115,50
1,40	1,80	5	138,50
1,40	1,95	5	150,00
1,55	2,00	6	204,50
1,55	2,05	6	209,50
1,70	2,05	6	230,00
1,75	2,35	6	271,50
1,90	2,35	6	294,50
2,05	2,35	6	318,00
2,20	2,35	6	341,00

NOTA:

1 - NESTES DIMENSIONAMENTOS FORAM ADOTADOS VALORES DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE MADEIRAS DE LEI DE PRIMEIRA CATEGORIA, COM PESO ESPECÍFICO SEMPRE MAIOR OU IGUAL A 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

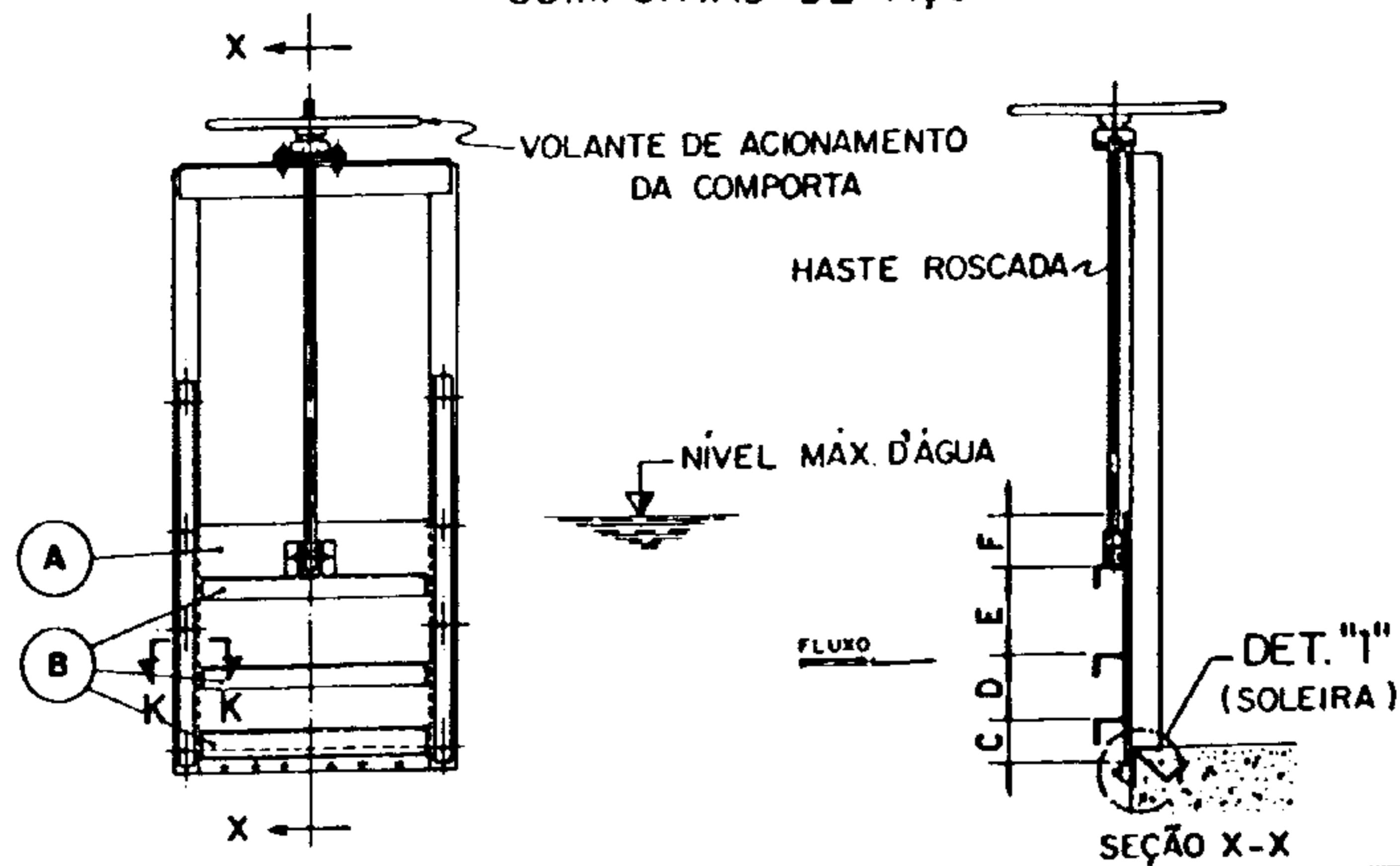


CORTE A-A

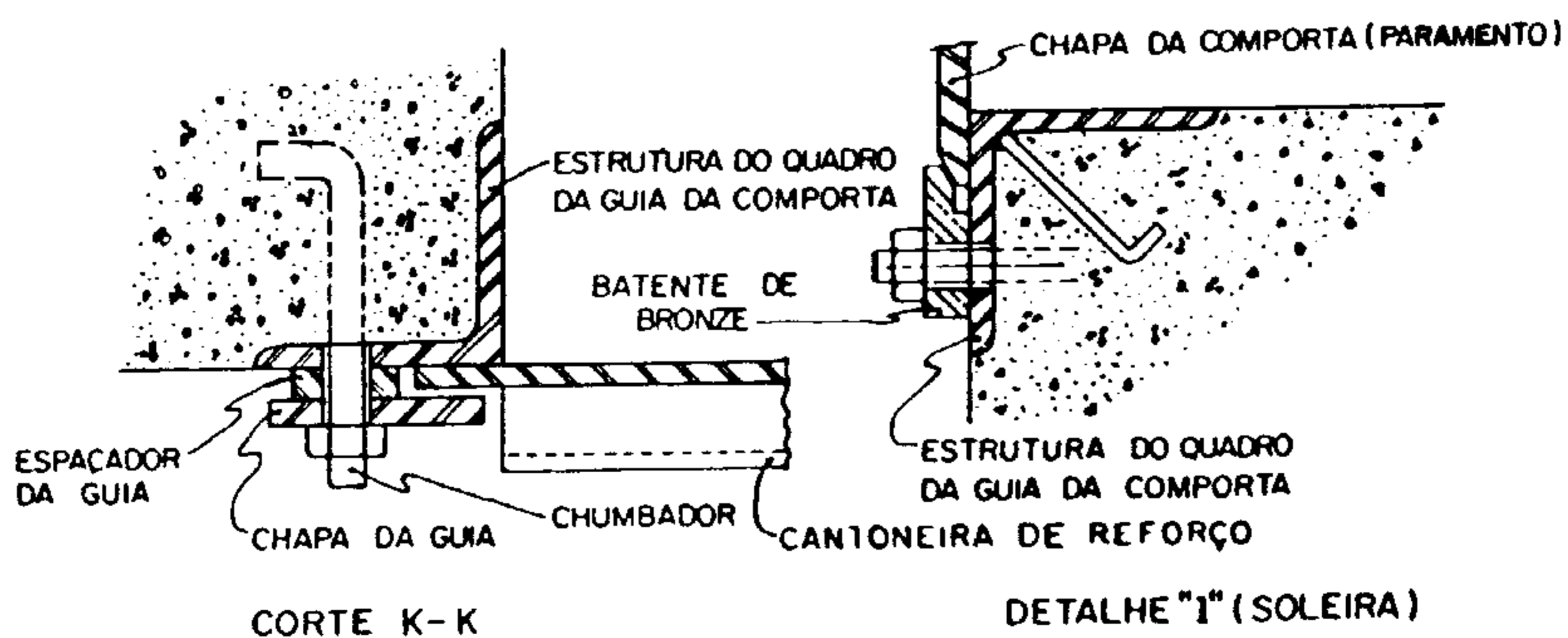


DET."1"  
SOLEIRA DA COMPORTA DE MADEIRA

## COMPORTAS DE AÇO



DIMENSÕES DAS COMPORTAS (metros)		ESPESSURA DA CHAPA (PARAMENTO)	CANTONEIRAS DE REFORÇO	ESPAÇAMENTO DAS CANTONEIRAS DE REFORÇO (metros)				PESO DE CADA COMPORTA
ALTURA	LARGURA	A	B	C	D	E	F	kgf
0,60	0,40	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,08	0,23	0,29	—	11
0,60	0,70	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,08	0,23	0,29	—	19
0,75	0,65	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,10	0,29	0,36	—	37
0,75	1,00	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,10	0,29	0,36	—	44
0,80	1,00	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,08	0,19	0,28	0,35	52
1,05	1,00	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,09	0,22	0,33	0,41	62
1,05	1,20	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,09	0,22	0,33	0,41	74
1,05	1,35	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,09	0,22	0,33	0,41	83
1,20	1,35	1/4" (6,35mm)	1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"	0,10	0,25	0,28	0,47	102
1,20	1,80	1/4" (6,35mm)	1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"	0,10	0,25	0,38	0,47	114
1,40	1,80	1/4" (6,35mm)	1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"	0,12	0,29	0,44	0,55	133
1,40	1,80	1/4" (6,35mm)	1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"	0,12	0,29	0,44	0,55	160
1,40	1,98	1/4" (6,35mm)	1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"	0,12	0,29	0,44	0,55	173
1,55	2,00	1/4" (6,35mm)	2" x 2" x 1/4"	0,13	0,32	0,50	0,60	198
1,55	2,05	1/4" (6,35mm)	2" x 2" x 1/4"	0,13	0,32	0,50	0,60	202
1,70	2,05	1/4" (6,35mm)	2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"	0,14	0,35	0,55	0,66	228
1,75	2,35	1/4" (6,35mm)	2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"	0,15	0,36	0,56	0,68	268
1,90	2,35	1/4" (6,35mm)	3" x 3" x 1/4"	0,17	0,40	0,61	0,72	290
2,05	2,35	1/4" (6,35mm)	3" x 3" x 1/4"	0,18	0,42	0,65	0,80	315
2,20	2,35	1/4" (6,35mm)	3 1/2" x 2 1/2" x 1/4"	0,19	0,48	0,70	0,85	334



#### 4.2.3.2 Grades

A câmara de carga deverá ser equipada com um ou mais painéis de grades, com a função de barrar a passagem de detritos (folhas, galhos, etc.) carregados pelo fluxo da água ao longo do canal de adução.

É necessário impedir a entrada de corpos sólidos junto com o fluxo d'água de acionamento da turbina, porque as suas dimensões e rigidez podem prejudicar o rendimento ou até mesmo danificar a turbina e/ou equipamentos associados.

Assim, o dimensionamento do espaçamento entre as barras de grade não deverá ser maior que a menor dimensão da seção de passagem do fluxo d'água de acionamento da turbina. Para isto, sugere-se comparar as seguintes seções:

- distância entre as palhetas do distribuidor;
- distância mínima entre as pás do rotor da turbina Francis ou Hélice;
- válvula agulha do injetor da turbina Pelton;
- válvula ou registro do fluxo de água de acionamento da turbina.

É importante salientar que a posição e inclinação, bem como o dimensionamento e detalhamento de fabricação da grade, deverão ser definidos ou submetidos à apreciação do fabricante da turbina.

A grade deverá ser do tipo removível, de fácil manuseio, tanto para colocar quanto para retirar, deslocando-se encaixada entre guias construídas nas paredes laterais da tomada d'água.

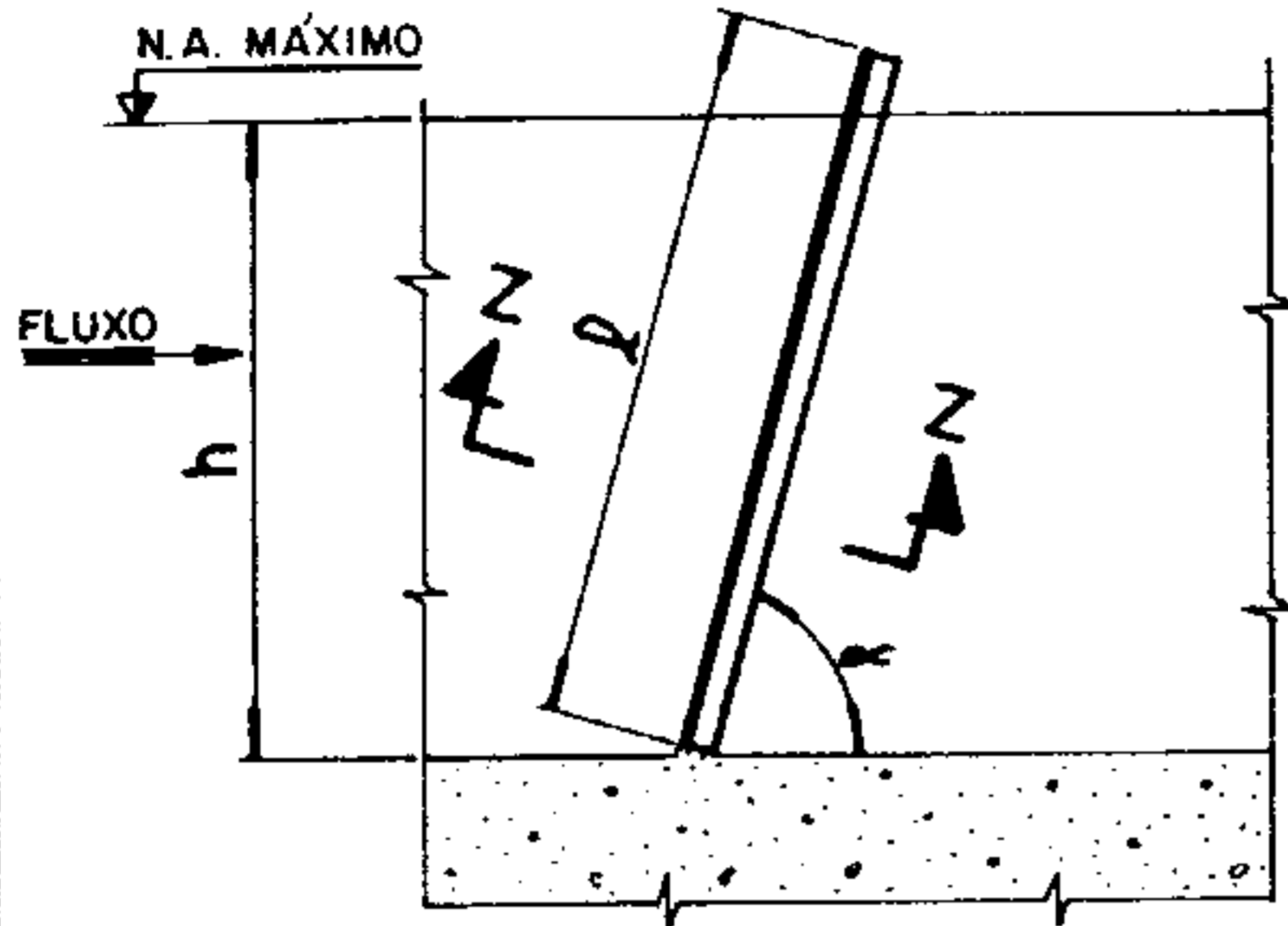
Periodicamente a grade deverá ser limpa, manualmente, com auxílio de um ancinho, equipado com garras para passar por entre as barras da grade, removendo os detritos acumulados. Os intervalos do período para limpeza das grades serão estabelecidos pelo pessoal de operação, com base no comportamento de acúmulo de detritos nas mesmas durante a operação da central.

Os ANEXOS 4.2.3/C, D e E apresentam três variações construtivas de grades, como exemplos ilustrativos que podem ser empregados para um dimensionamento preliminar. Outras variações construtivas de grades poderão ser empregadas desde que desempenhem satisfatoriamente a sua função, bem como sejam submetidas à apreciação do fabricante da turbina.

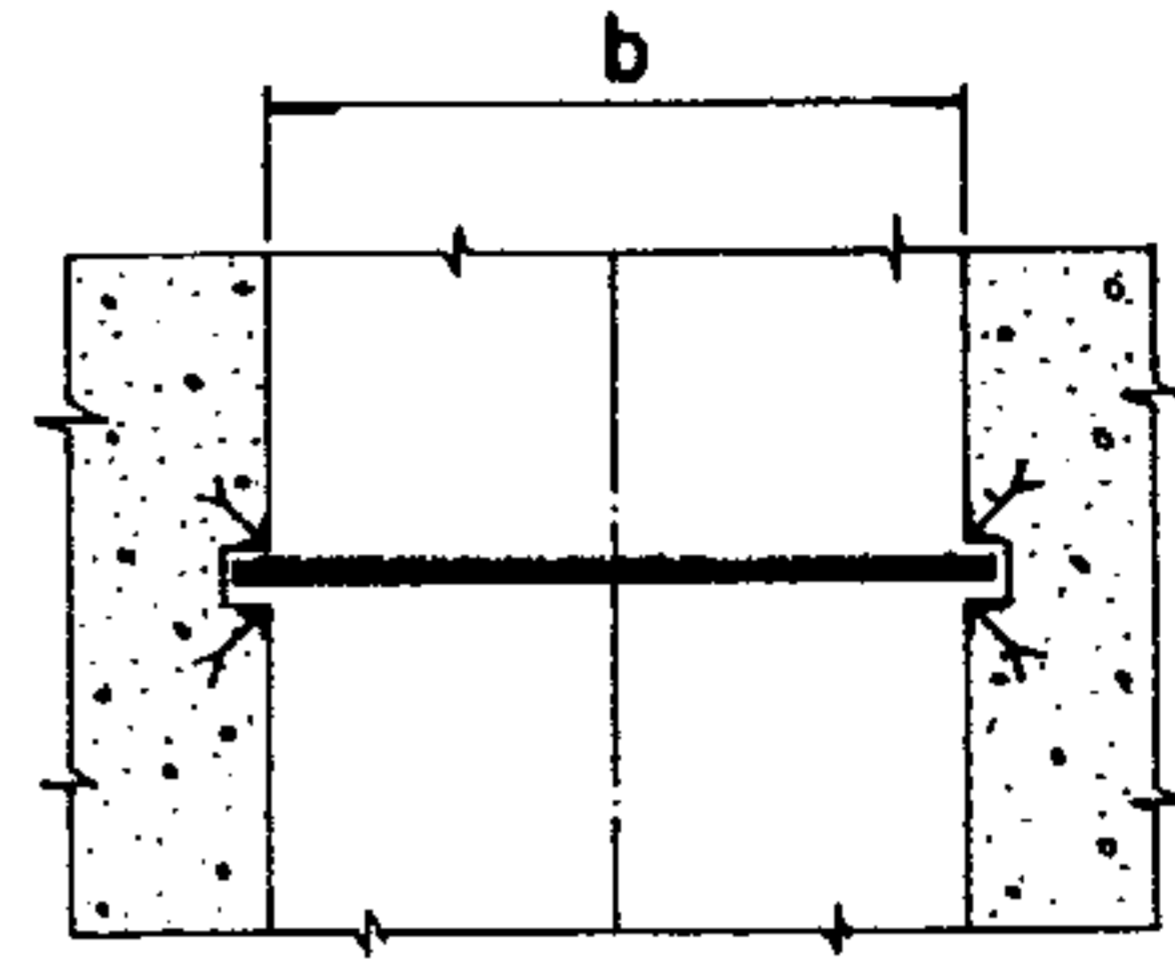
GRADE DE BARRAS DE AÇO REDONDAS

4.2.3/C

ANEXO



CORTE TÍPICO



CORTE Z-Z

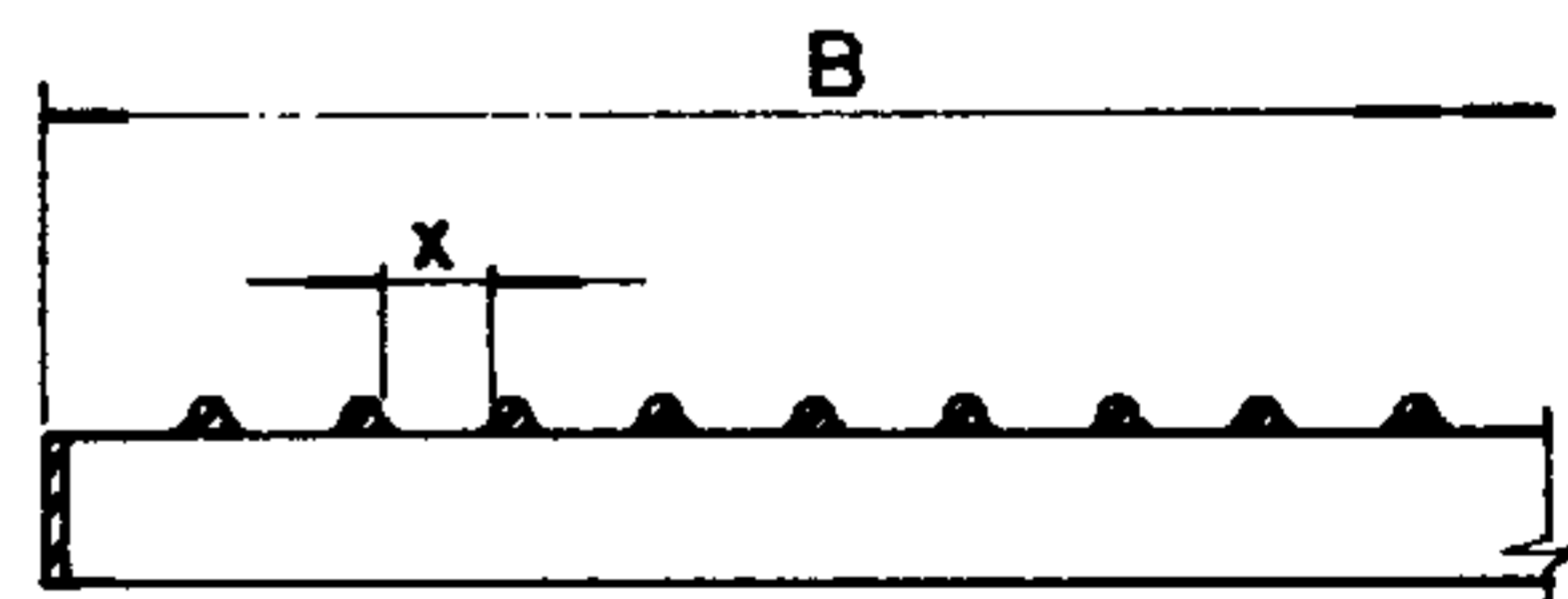
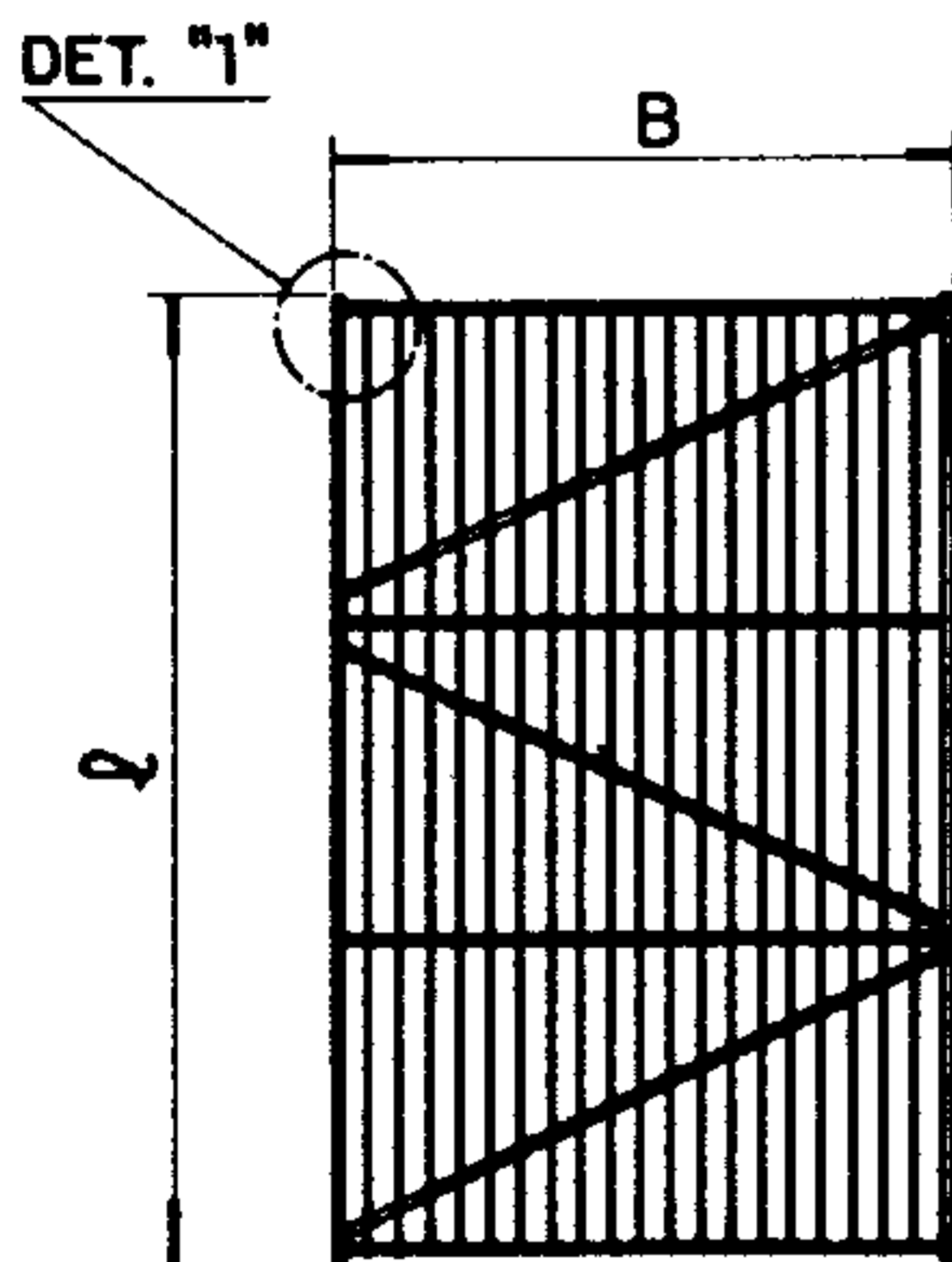
- $\alpha$  - ÂNGULO DE INCLINAÇÃO
- $l$  - ALTURA DA GRADE
- $h$  - PROFUNDIDADE DO CANAL OU ALTURA DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA

- $b$  - VÃO LIVRE DO CANAL OU DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA
- $B$  - LARGURA DA GRADE

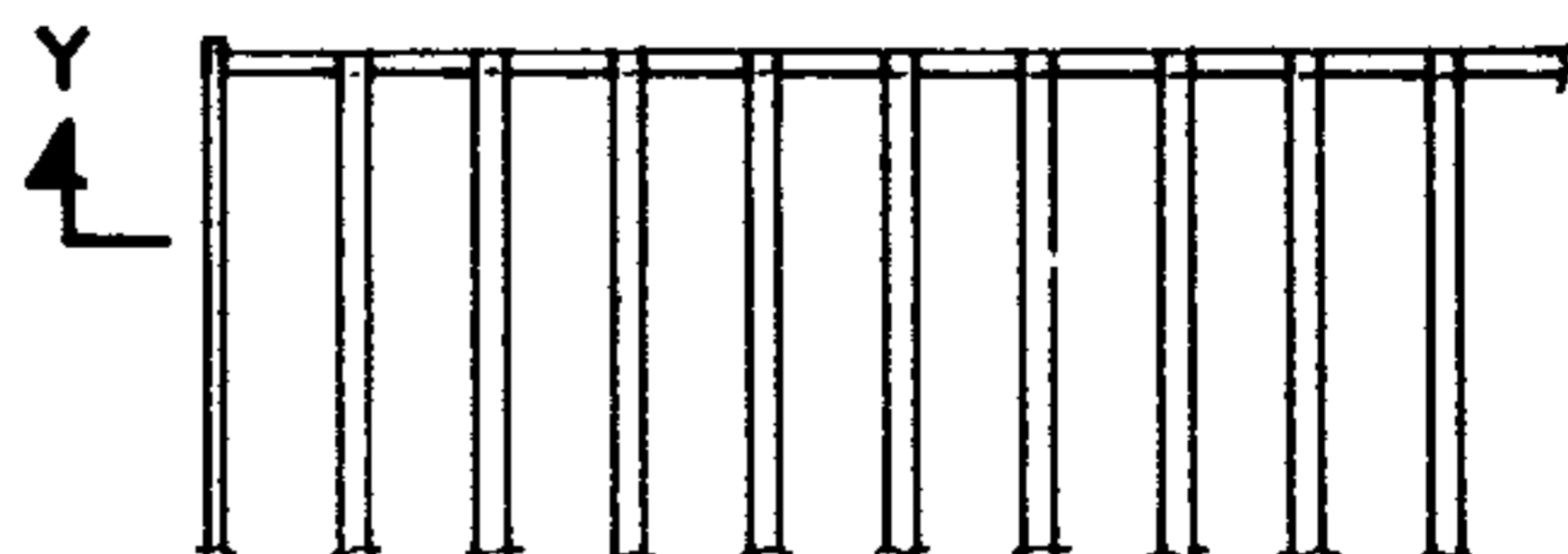
$$l = \frac{h}{\text{SEN. } \alpha} \times 1,2$$

$$B = b \times 1,10$$

$70^\circ < \alpha < 80^\circ$  - FAIXA RECOMENDÁVEL



CORTE Y-Y



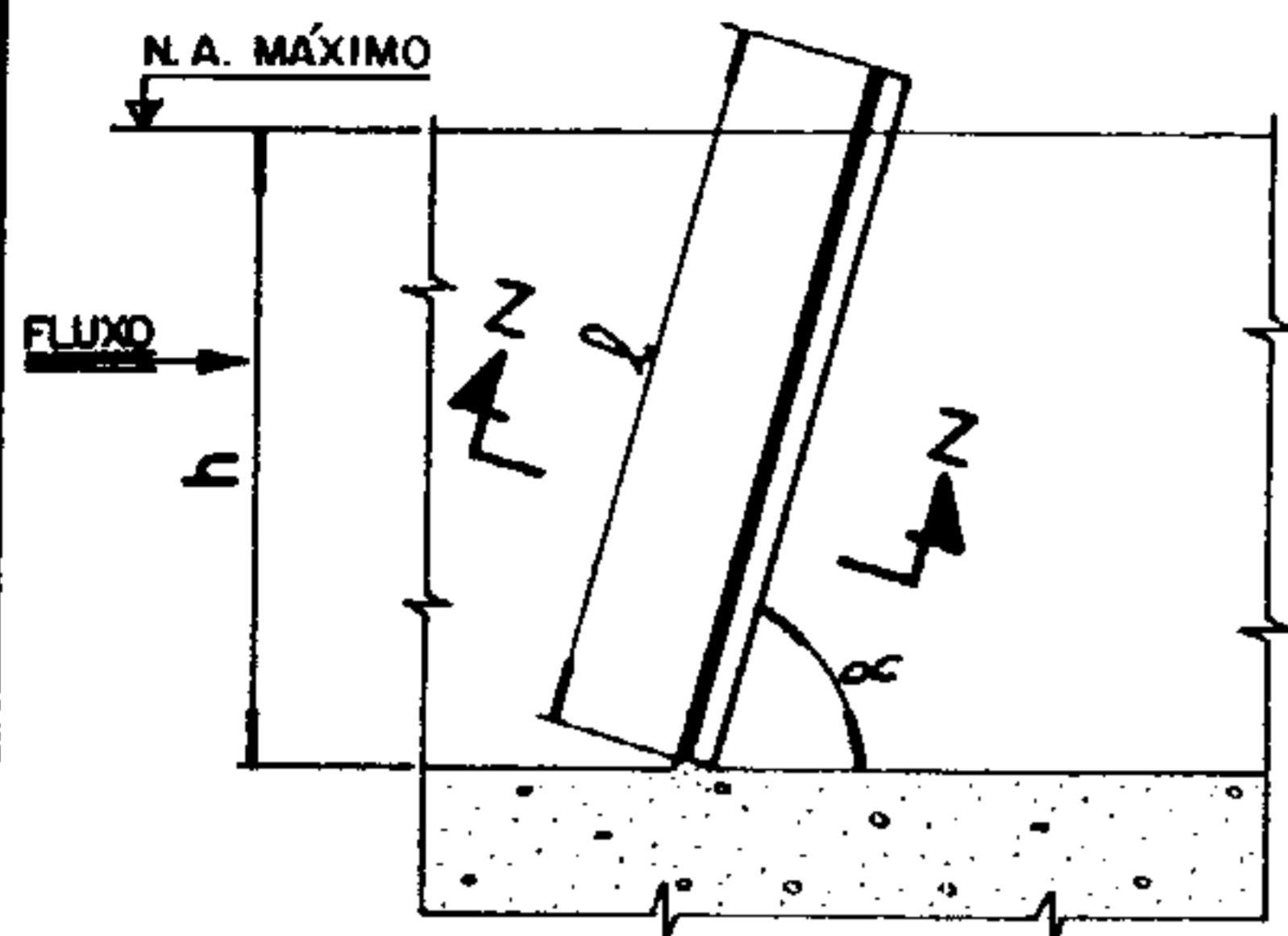
DETALHE "1"

$x$  - ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS  $10 \text{ mm} < x < 30 \text{ mm}$

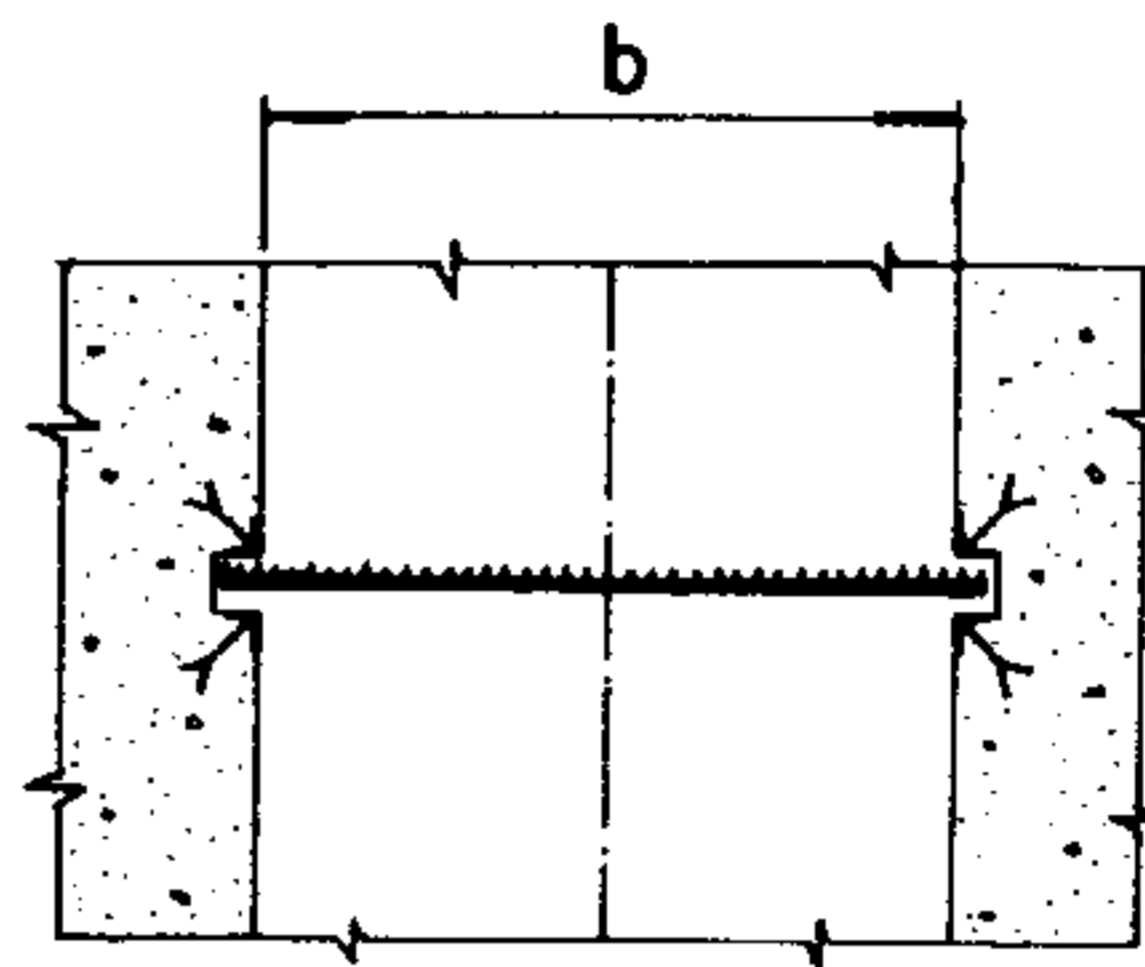
GRADE DE BARRAS DE AÇO CHATO  
(CONCEPÇÃO SOLDADA)

4.2.3/D

ANEXO



CORTE TÍPICO



CORTE Z-Z

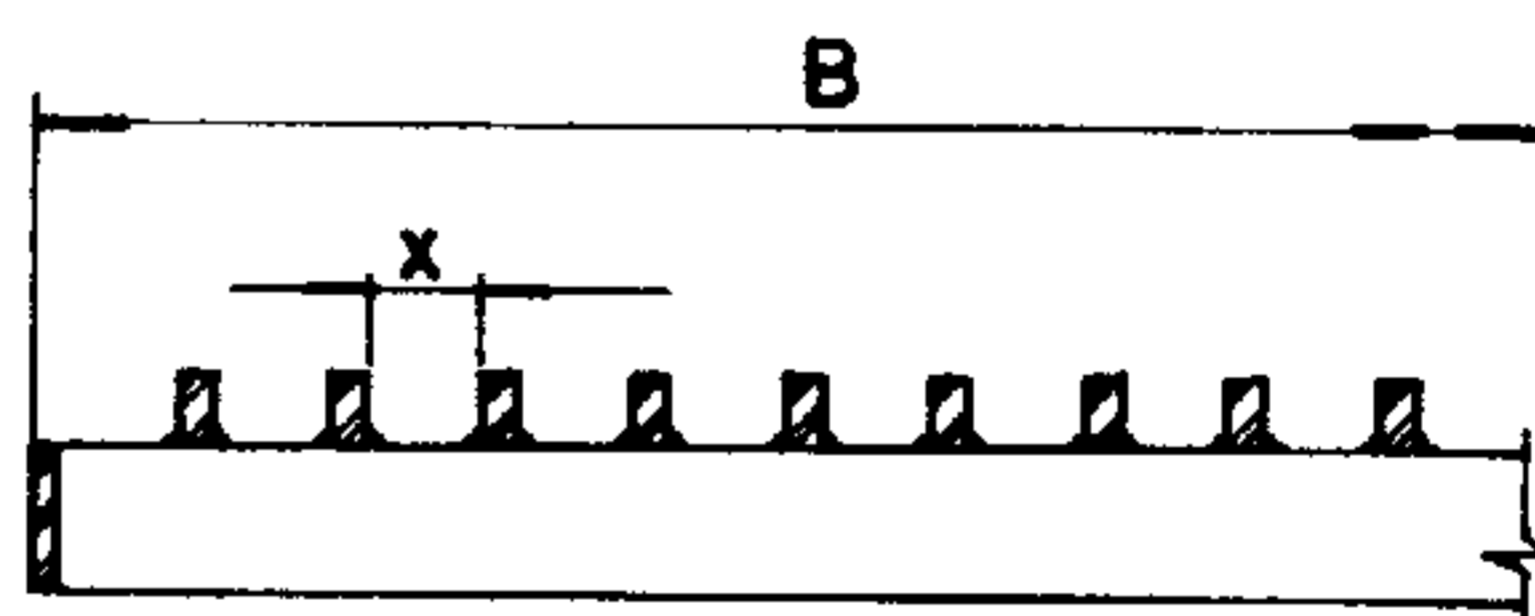
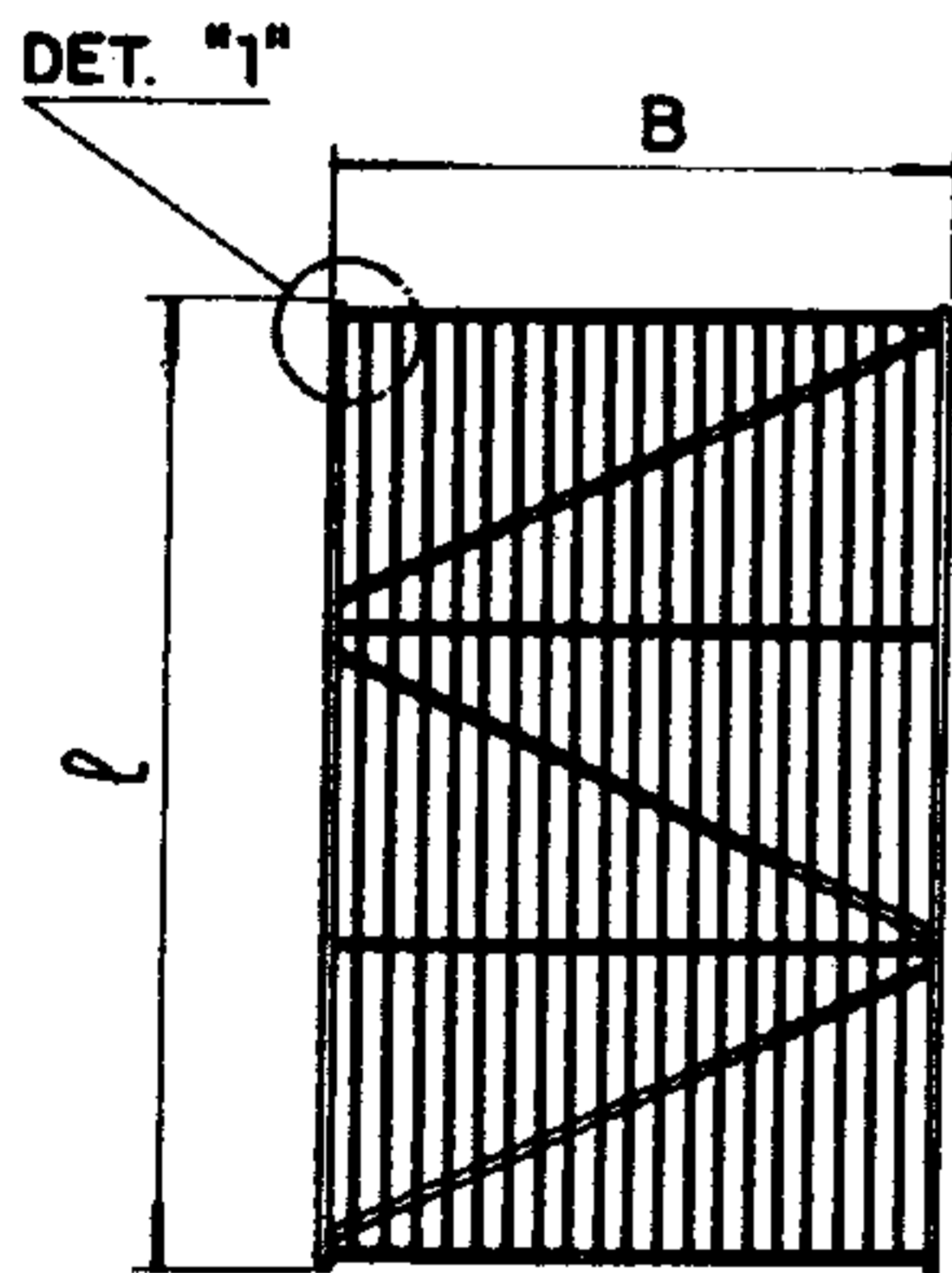
- $\alpha$  - ÂNGULO DE INCLINAÇÃO
- $\ell$  - ALTURA DA GRADE
- $h$  - PROFUNDIDADE DO CANAL OU ALTURA DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA

- $b$  - VÃO LIVRE DO CANAL OU DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA
- $B$  - LARGURA DA GRADE

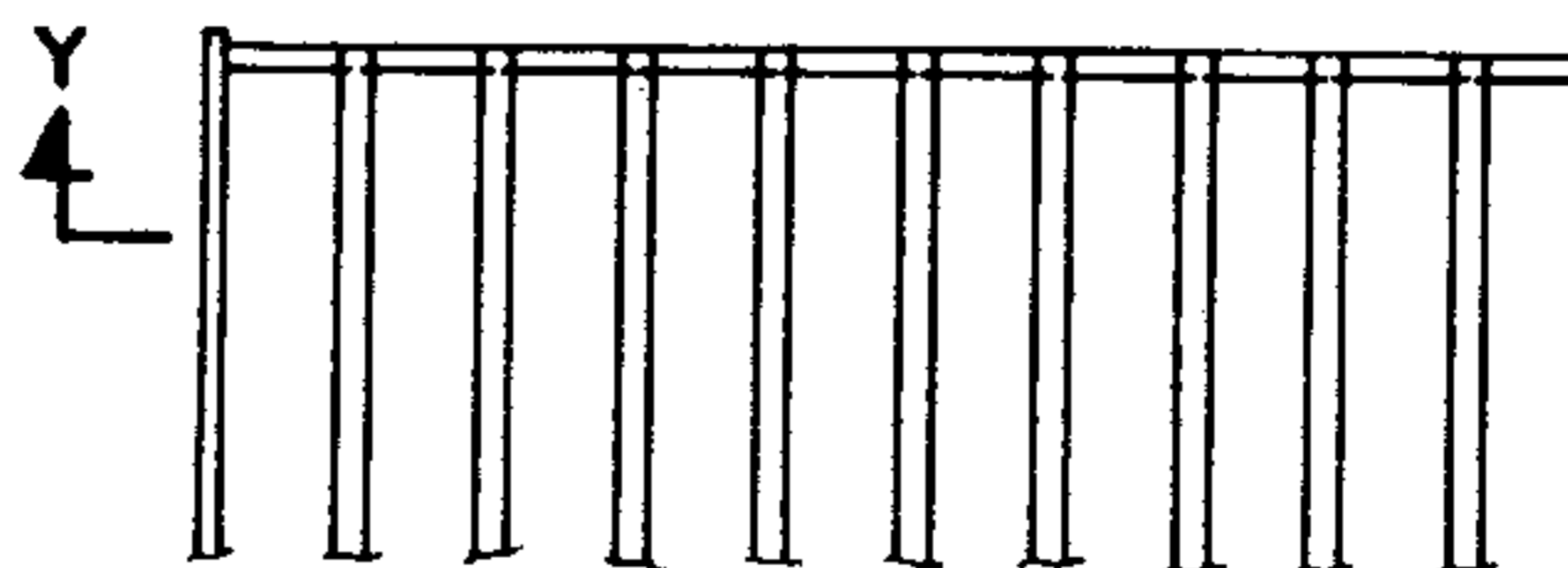
$$\ell = \frac{h}{\text{SEN. } \alpha} \times 1,2$$

$$B = b \times 1,10$$

$70^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$  - FAIXA RECOMENDÁVEL



CORTE Y-Y



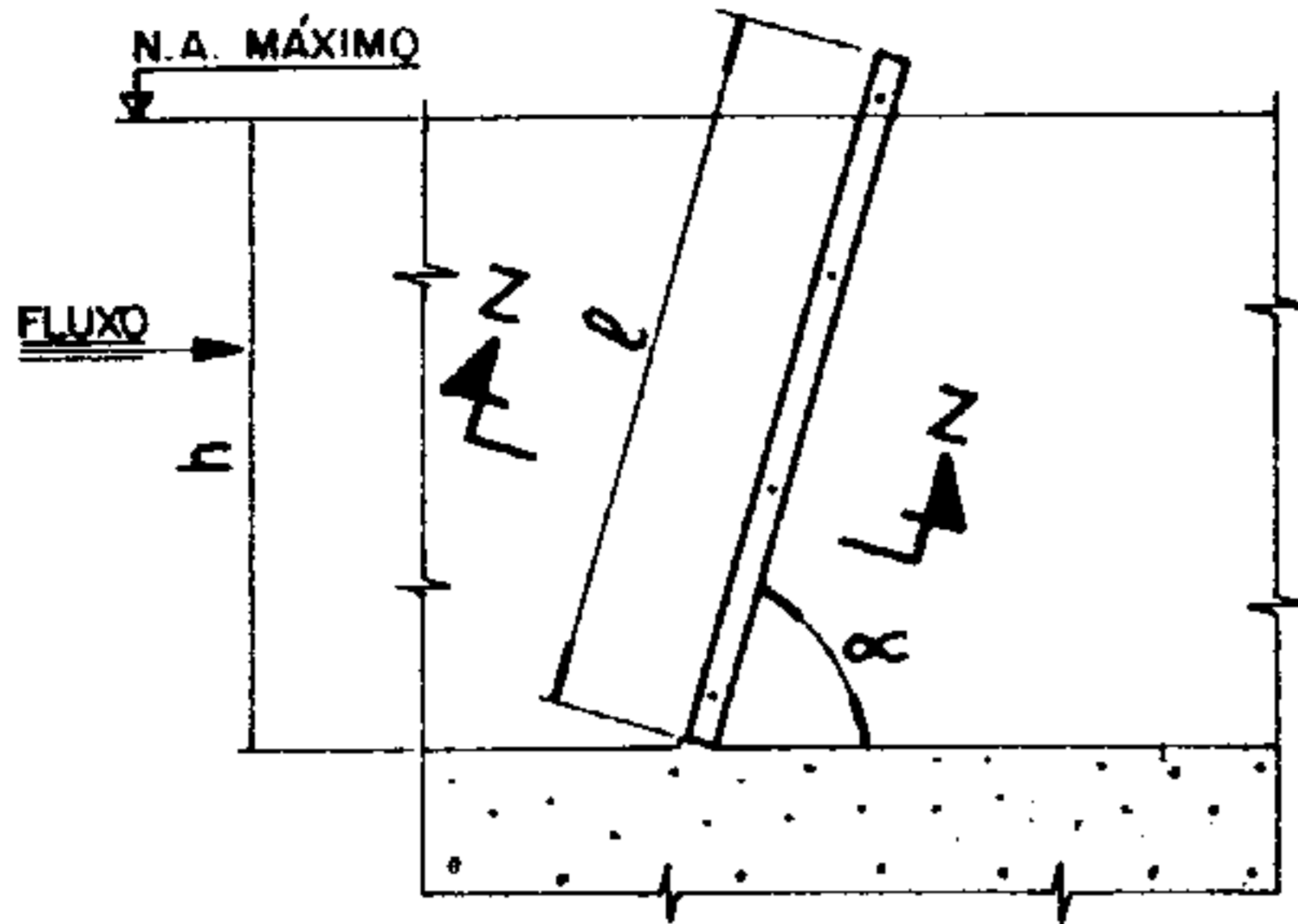
DETALHE "1"

$x$  - ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS  $10\text{mm} \leq x \leq 30\text{mm}$

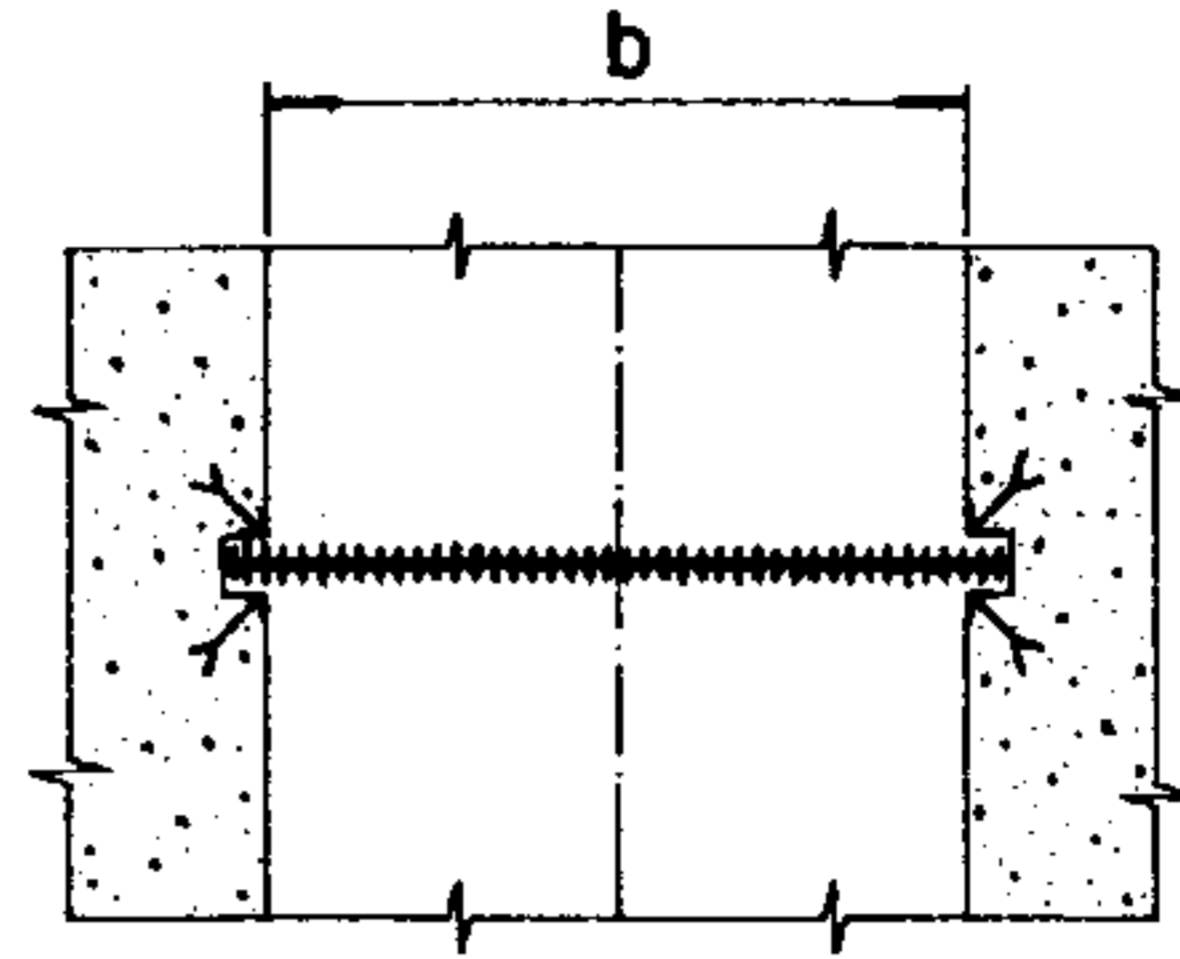
GRADE DE BARRAS DE AÇO CHATO  
( CONCEPÇÃO APARAFUSADA)

4.2.3/E

ANEXO



CORTE TÍPICO



CORTE Z-Z

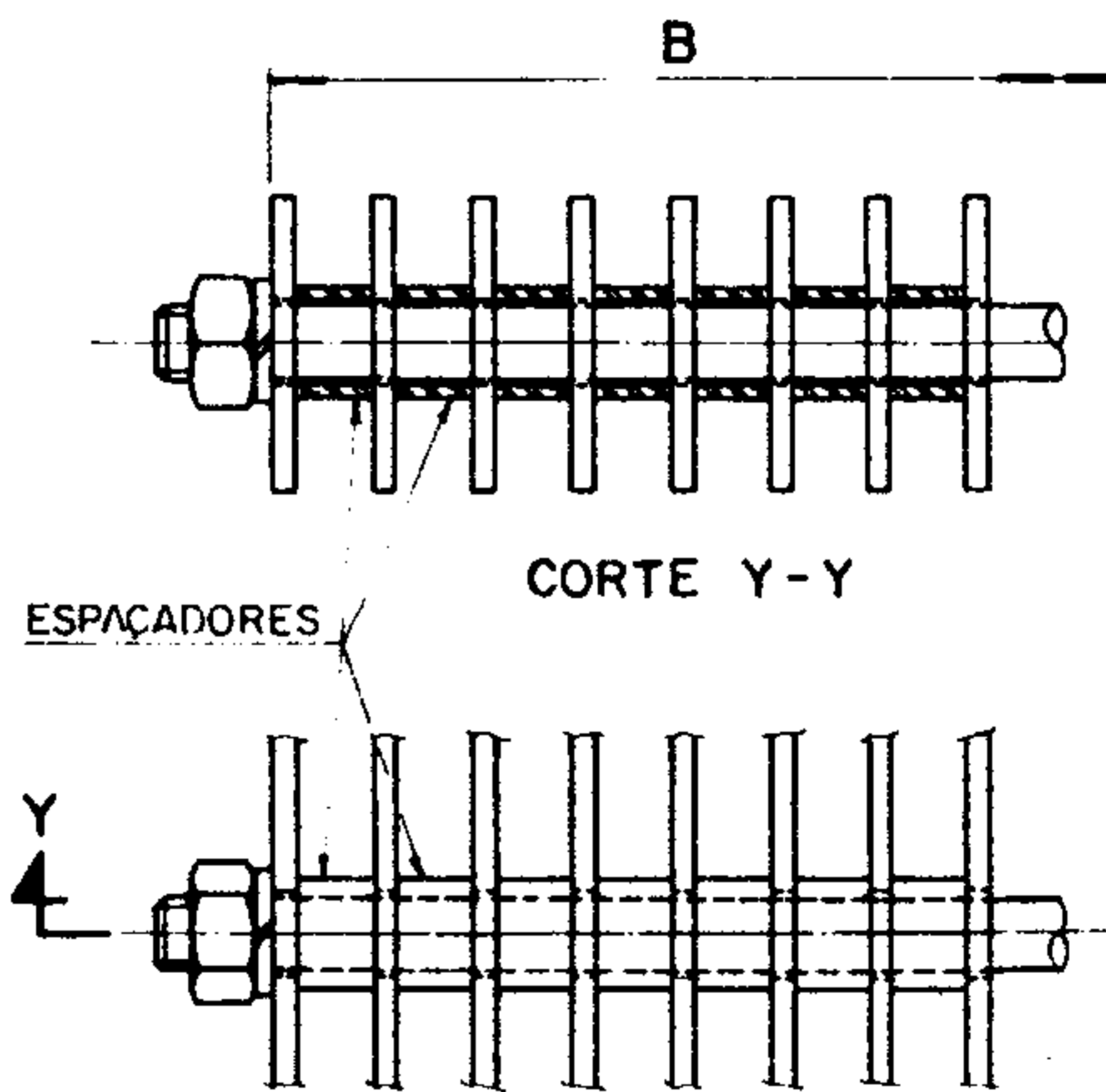
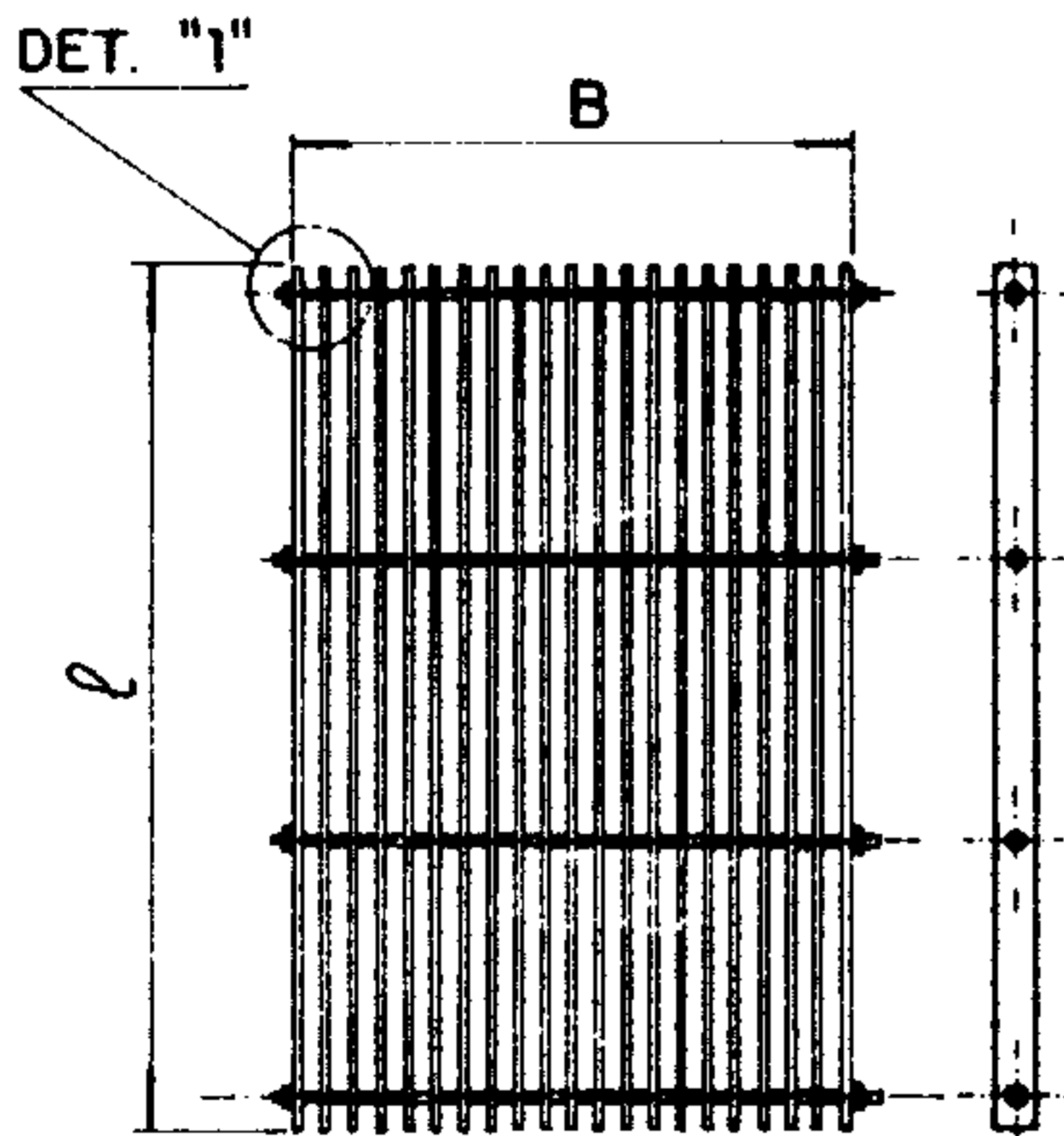
- $\alpha$  - ÂNGULO DE INCLINAÇÃO
- $l$  - ALTURA DA GRADE
- $h$  - PROFUNDIDADE DO CANAL OU ALTURA DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA

- $b$  - VÃO LIVRE DO CANAL OU DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA
- $B$  - LARGURA DA GRADE

$$l = \frac{h}{\text{SEN. } \alpha} \times 1,2$$

$$B = b \times 1,10$$

$70^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$  - FAIXA RECOMENDÁVEL



$x$  - ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS  $10 \text{ mm} < x < 30 \text{ mm}$

#### 4.2.3.3 Válvulas Borboleta

Deverá ser prevista a utilização de válvula borboleta nas mini-centrais que tenham conduto forçado metálico. Esta válvula tem a função de bloquear a entrada do fluxo da água na turbina para fins de manutenção, bem como proporcionar um recurso adicional de parada da turbina em caso de falha do sistema normal.

A válvula borboleta é instalada na casa de máquinas, entre o conduto forçado e a caixa espiral da turbina, através de ligações flangeadas.

A válvula borboleta também pode, eventualmente, substituir a utilização de comporta de manutenção em minicentraís que tenham a tomada d'água muito afogada, com a altura hidrostática que obrigue a um custo da comporta mais oneroso que o custo da válvula. Neste caso, suprime-se a comporta, e uma válvula deve ser instalada logo após a tomada d'água.

Estas válvulas são de fácil instalação e manutenção, proporcionam operação rápida e boa estanqueidade, apresentando características simples e econômicas. São facilmente encontradas no mercado nacional, desde que sejam especificadas nas dimensões padronizadas pelos fabricantes.

São operadas manualmente através de uma alavanca ou de um volante incorporado a um mecanismo de redução.

Recomenda-se que a válvula borboleta faça parte do fornecimento do fabricante da turbina, face à ligação operacional entre ambas.

#### 4.2.3.4 Turbinas Hidráulicas

As turbinas hidráulicas utilizadas nas minicentrals hidrelétricas devem ser selecionadas de modo a se obter facilidade de operação e manutenção, dando-se grande importância à sua robustez.

Assim sendo, na escolha de uma turbina deve-se analisar, além do seu preço, as garantias oferecidas pelo fabricante quanto à ausência de cavitação no rotor da turbina, ao imediato atendimento em caso de problemas na operação da máquina e à pronta troca de componentes danificados.

##### Seleção do Tipo

Uma vez obtidas a queda líquida em metros e a descarga em metros cúbicos por segundo (conforme indicado em outra parte deste Manual), pode-se encontrar o tipo de turbina recomendado para o aproveitamento em estudo. Para isto deve-se utilizar o anexo da folha ANEXO 4.2.3/F, onde estão representadas, em caráter orientativo, as faixas de utilização de cada turbina.

A potência a ser obtida do conjunto turbina-gerador também pode ser tirada do mesmo anexo, bastando para isto interpolar os valores das linhas oblíquas (valor de potência gerada em kW).

A faixa de potência unitária adotada para as minicentrals é de 100 kW até 1000 kW, valendo como entrada os valores de queda (até 200 m) e vazão (até 7 m<sup>3</sup>/s), conforme estabelecido nesta parte deste Manual.

##### Observações Importantes:

- a) A escolha da turbina, quando usado o ANEXO 4.2.3/F, é preliminar, uma vez que, na prática, não existem fronteiras bem definidas entre os vários tipos de turbina. Cada caso deve ser analisado em conjunto com o fabricante da turbina, que poderá sugerir alterações.
- b) As turbinas Banki podem ser utilizadas em uma faixa de quedas e de descargas bastante ampla. De um modo geral, toda a faixa atendida pela turbina Francis, até o limite de potência da ordem de 500 kW, é adequada para turbinas do tipo Banki. O custo de uma turbina Banki é menor do que o custo de uma turbina Francis de mesma queda e potência. No entanto, atualmente as indústrias do ramo têm maior experiência com as turbinas do tipo Francis, existindo grande quantidade de centrais com esse tipo, em operação no país, o que não acontece com as turbinas do tipo Banki.



c) As turbinas Pelton são muito utilizadas em aproveitamentos com altas quedas e pequenas vazões, pois nestes casos o rotor Francis apresentaria passagens muito estreitas, de difícil acabamento, o que resulta em uma turbina de baixo rendimento. O sistema de conchas da turbina Pelton evita este inconveniente.

d) A potência da máquina indicada no ANEXO 4.2.3/F é aproximada, pois supõe rendimentos constantes de 95% para o gerador e de 77% para a turbina, sendo calculada pela expressão:

$$P = 7,16.Q.H_L$$

A potência exata instalada é calculada por:

$$P = 9,81.r_t r_g .Q.H_L$$

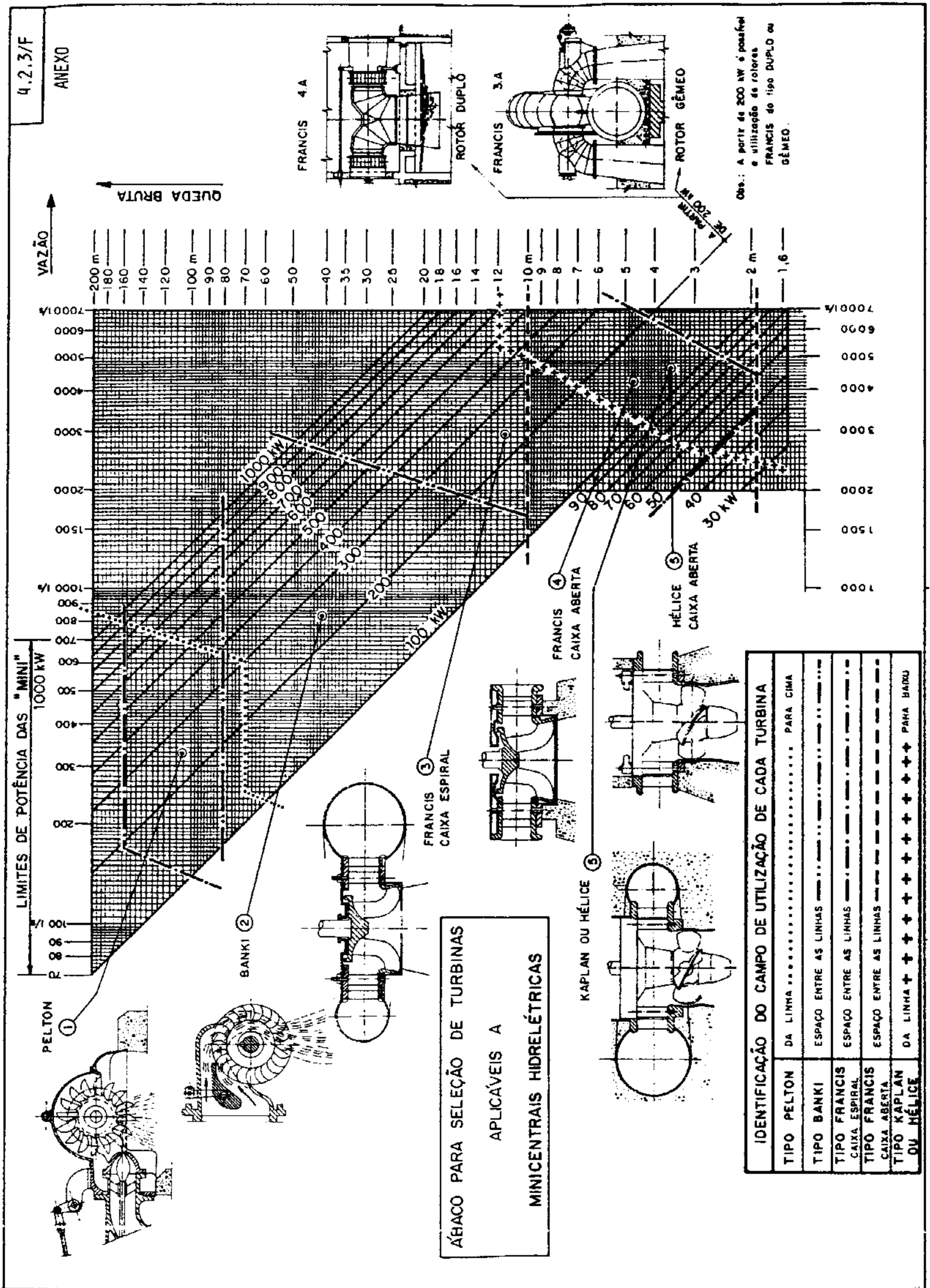
P = potência nos bornes do gerador, em kW

$r_t$  = rendimento da turbina

$r_g$  = rendimento do gerador

Q = descarga da turbina, em m<sup>3</sup>/s

$H_L$  = queda líquida, em m



#### 4.2.3.4.1 Turbinas Pelton

As turbinas de ação, em cuja classificação a turbina Pelton se situa, têm por características a transformação da energia potencial de queda em energia cinética no jato injetor. Posteriormente esta energia cinética é convertida em energia mecânica no rotor da turbina.

O ANEXO 4.2.3/G mostra arranjos típicos para turbinas Pelton de eixo horizontal com um e com dois injetores.

A turbina Pelton é constituída basicamente por um rotor, em torno do qual estão fixadas as pás ou conchas, por uma tubulação de adução contendo um, dois ou mais injetores e por blindagens metálicas no caminho da água.

Rotor - Dispostas na periferia do rotor, as conchas têm uma parede divisória que orienta o fluxo de água simetricamente para as laterais, anulando, assim, a força resultante axial sobre o rotor.

O rotor e suas conchas podem, principalmente em pequenas unidades, ser fundidos em uma única peça. Outra opção, normalmente mais cara, porém válida para maiores unidades, é a fabricação individual das conchas e posterior ligação por parafusos ao rotor, o que permite a troca de cada pá em caso de desgaste.

O rotor deve ser colocado acima do nível da água máximo de jusante, de modo que suas conchas não toquem o espelho d'água, o que provocaria um efeito indesejável de frenagem.

Injetores - Nessas turbinas, a água é conduzida por uma tubulação até as proximidades do rotor, terminando em um injetor ou, esta tubulação pode se bifurcar, dando origem a dois injetores dispostos de modo que o jato livre de água incida diretamente sobre as conchas do rotor. Os dois injetores possibilitam o corte de metade da descarga, pelo simples fechamento de um dos injetores, sem prejuízo do rendimento da máquina.

A turbina Pelton de um jato oferece um arranjo mais simples e econômico. No entanto, a utilização da turbina Pelton de dois jatos permite uma rotação da turbina 1,4 vezes maior, conforme mostram as fórmulas no fim deste item. Deve-se examinar em primeiro lugar a utilização de turbina de um jato. Caso a velocidade de rotação encontrada seja baixa é aconselhável comparar os custos do conjunto turbina-gerador nas duas soluções.

Regulagem - Para minicentraís deve-se prever a regulagem da descarga da água, e conseqüentemente da potência fornecida, por meio de uma peça móvel, colocada na parte interna do injetor e

acionada por mecanismo manual ou hidráulico, denominada agulha. A regulação por meio de um defletor, ou até mesmo uma regulação dupla, por agulha e por defletor, só é empregada em máquinas maiores, onde o aumento de pressão na tubulação de adução durante fechamento rápido por agulha poderia causar problemas graves.

Faixa de Operação - As turbinas Pelton podem ser operadas sem quaisquer dificuldades entre 10% e 100% da potência máxima.

Dimensões Básicas - As dimensões da turbina deverão ser determinadas pelo fabricante de acordo com sua experiência, de modo que ele possa garantir o bom funcionamento e durabilidade da máquina.

A título informativo, são indicados abaixo cálculos simplificados que permitem obter dimensões básicas aproximadas para uma turbina Pelton. As dimensões indicadas referem-se ao ANEXO 4.2.3/G.

$Q$  = descarga da turbina, em  $m^3/s$

$Z_o$  = nº de injetores

$Q_j$  = descarga por injetor, em  $m^3/s$

$H_L$  = queda líquida, em m

$Q_{ij}$  = descarga unitária por injetor

$d_o$  = diâmetro do jato de água, em m

$d_b$  = diâmetro de saída do bocal do injetor, em m

$D_v$  = diâmetro do tubo de adução, na entrada da turbina, no local da válvula, em m

$D_1$  = diâmetro do círculo do rotor no ponto de incidência do jato, em m

$n$  = rotação adequada para a turbina, em rpm

$$Q_j = \frac{Q}{Z_o}$$

$$Q_{ij} = \frac{Q_j}{\sqrt{H_L}}$$

$$d_o = 0,54 \sqrt{Q_{ij}}$$

$$D_v = 3 d_o \sqrt{z_o}$$

$$d_b = 1,20 d_o$$

$$D_1 = 12 d_o$$

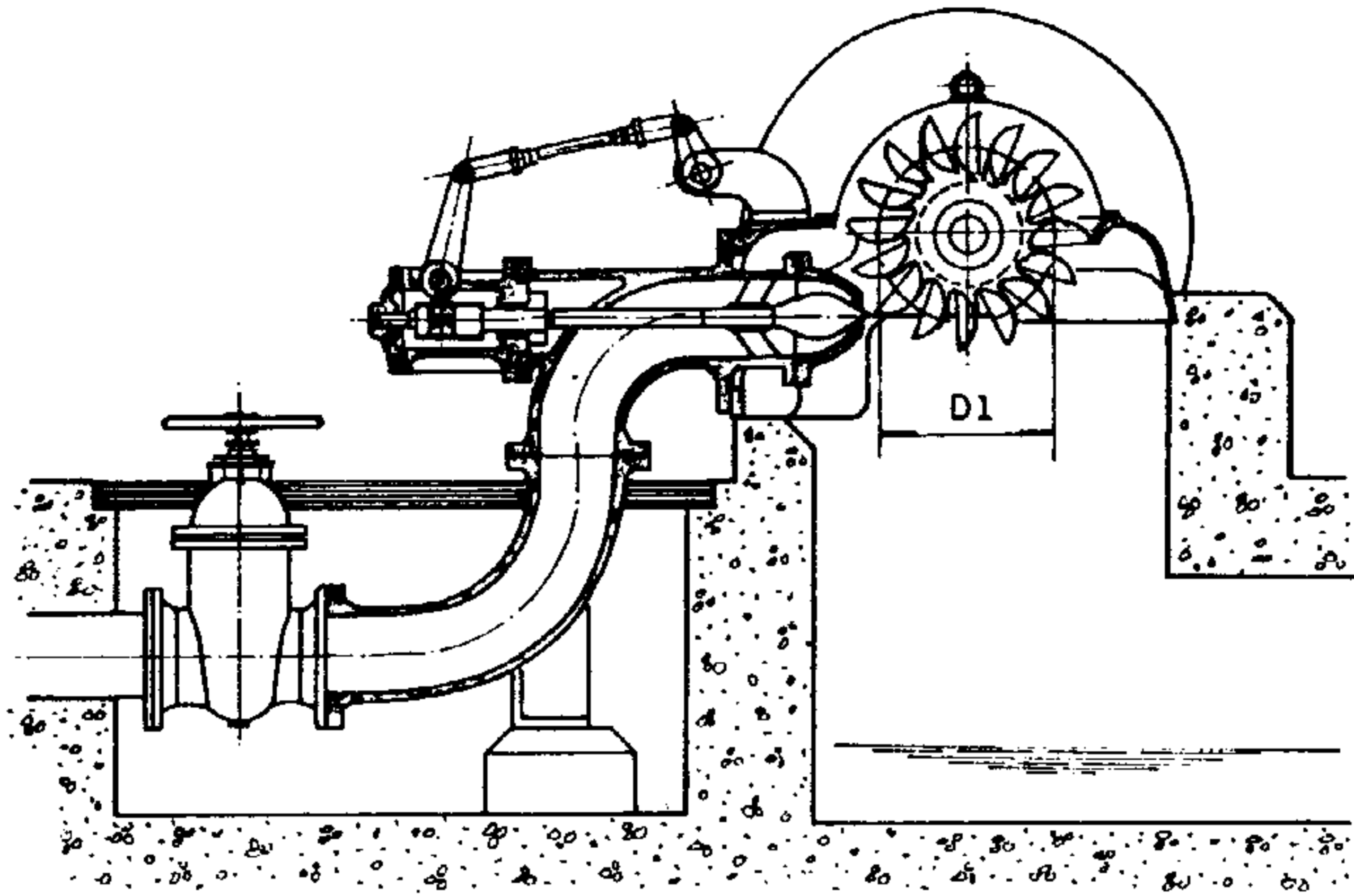
$$n = \frac{37,3 \sqrt{H_L}}{D_1} \text{ ou } n = 5,76 \frac{H_L^{0,75} \sqrt{z_o}}{\sqrt{Q}}$$

Como se pode observar pelas fórmulas, a utilização de dois injetores na turbina Pelton ( $Z_o = 2$ ) permite uma velocidade de rotação mais alta, o que normalmente corresponde a um gerador mais barato.

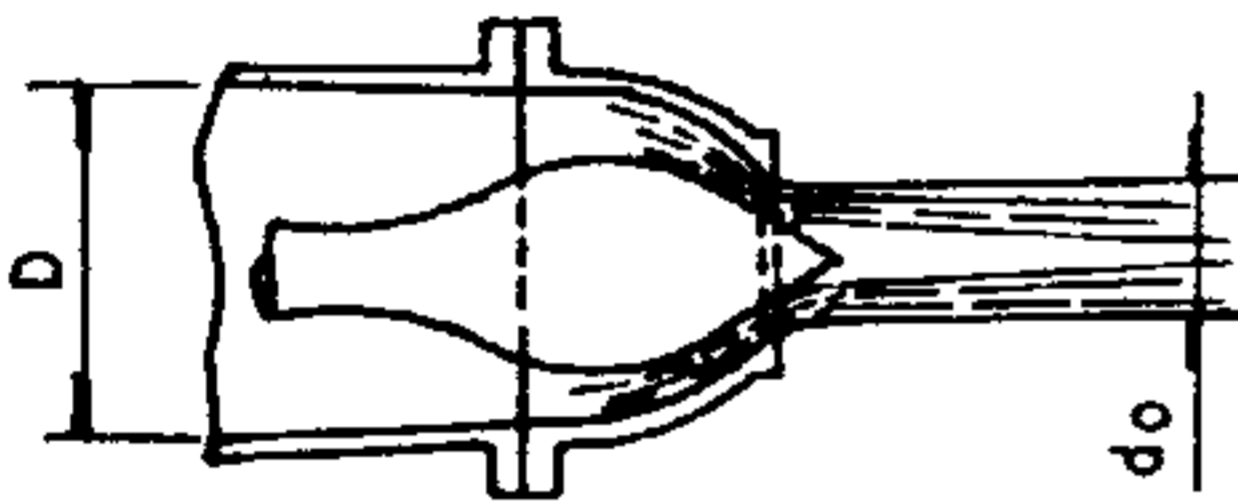
No entanto, deve-se considerar que a velocidade de rotação  $n$  aqui encontrada não é a definitiva, pois a velocidade síncrona de funcionamento da unidade será escolhida levando em consideração os critérios adotados no item 4.2.4.1.2 referente ao gerador.

4.2.3/G

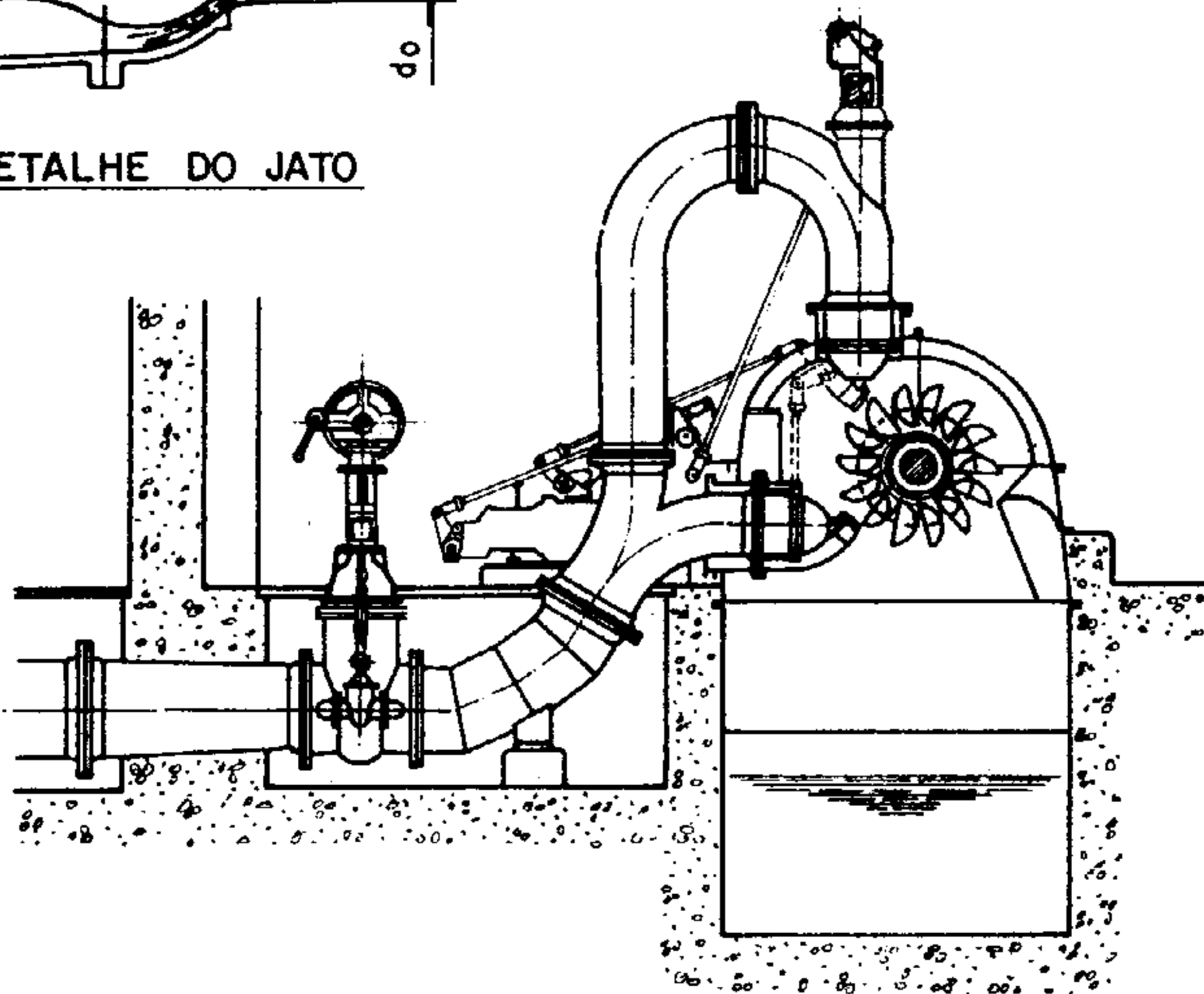
ANEXO



TURBINA PELTON DE 1 JATO



DETALHE DO JATO



TURBINA PELTON DE 2 JATOS

#### 4.2.3.4.2

#### Turbinas Francis

As turbinas Francis são consideradas turbinas de reação e utilizadas em aproveitamentos com quedas abaixo de 10 metros - Francis Caixa Aberta, e em quedas acima de 10 m - Francis Caixa Espiral.

As pequenas unidades são geralmente previstas com o eixo na posição horizontal, o que facilita a instalação e a manutenção do gerador correspondente. Por outro lado, o eixo na posição vertical apresenta a vantagem de se poder colocar o gerador acima do nível máximo de água, utilizado em alguns arranjos da turbina Francis Caixa Aberta.

##### A) Francis Caixa Aberta

Estas turbinas são recomendadas para aproveitamentos hidrelétricos com queda de até 10 metros. Para estas pequenas quedas a ausência do conduto forçado e da caixa espiral simplifica a concepção e diminui o custo do equipamento.

Nas turbinas Francis Caixa Aberta, o rotor, o distribuidor, o tubo de sucção e parte do eixo ficam situados dentro de uma câmara em comunicação direta com a câmara de carga e abaixo do nível mínimo de montante. A câmara da turbina é comumente construída em concreto armado estanque, podendo-se usar também outros materiais locais.

O ANEXO 4.2.3/H dá uma idéia da disposição da turbina Francis Caixa Aberta, com o eixo horizontal e com o eixo vertical.

Um tubo de sucção metálico em forma de cone é necessário, na saída do rotor.

No caso de se utilizar o arranjo com eixo horizontal, deve-se prever uma tampa estanque entre a câmara da turbina e o piso do gerador.

As dimensões do rotor da turbina são aproximadamente iguais aos valores obtidos com as fórmulas para turbinas Francis Caixa Espiral, descritas no item B.

##### A-1) Turbinas Francis Caixa Aberta - Eixo Horizontal

As principais características deste tipo de turbina, quando fabricadas com rotor singelo, são:

- tubo de sucção em curva, com cone de chapa metálica;

- tampa estanque colocada na parede vertical;
- na construção e na montagem, deverão ser tomados os devidos cuidados para não haver infiltração pela tampa de vedação do eixo.

Quanto à posição da curva do tubo de sucção em relação à caixa de alimentação de água, dois tipos podem ser considerados:

- Curva de sucção instalada pelo lado de dentro da caixa  
- FIGURA 4.2.3/1.
- Curva de sucção instalada pelo lado de fora da caixa  
- FIGURA 4.2.3/2 e 3.

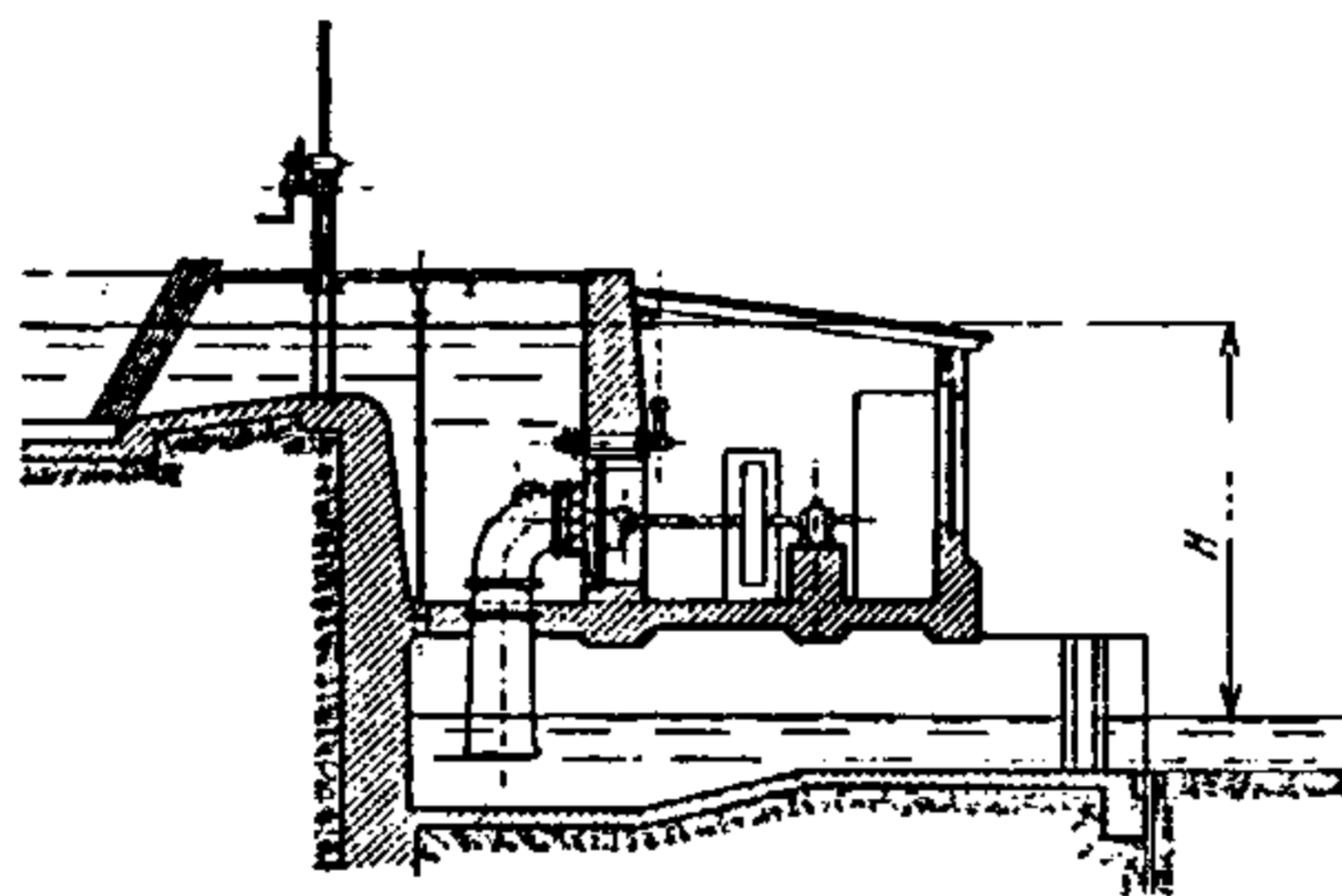


FIGURA 4.2.3/1

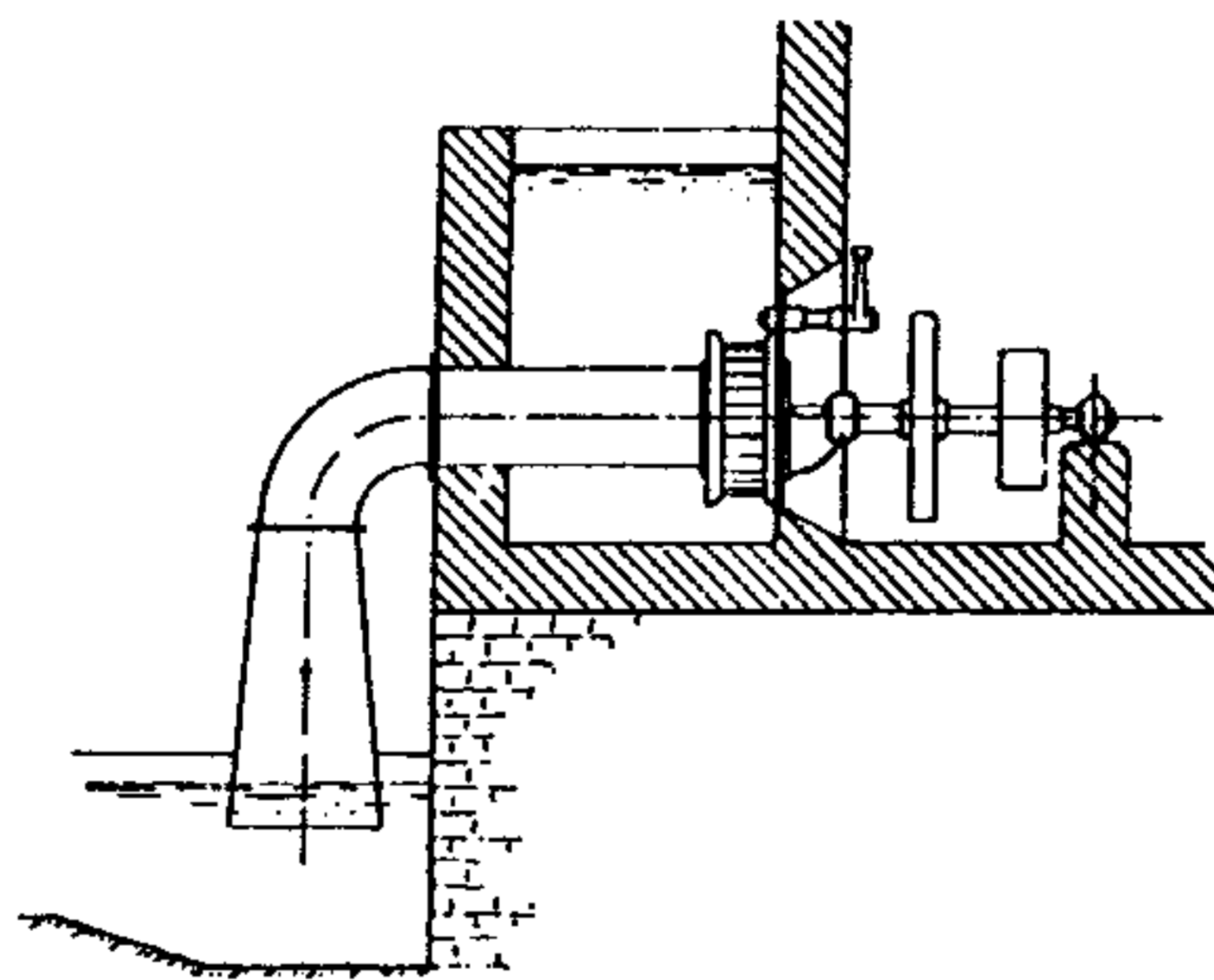


FIGURA 4.2.3/2



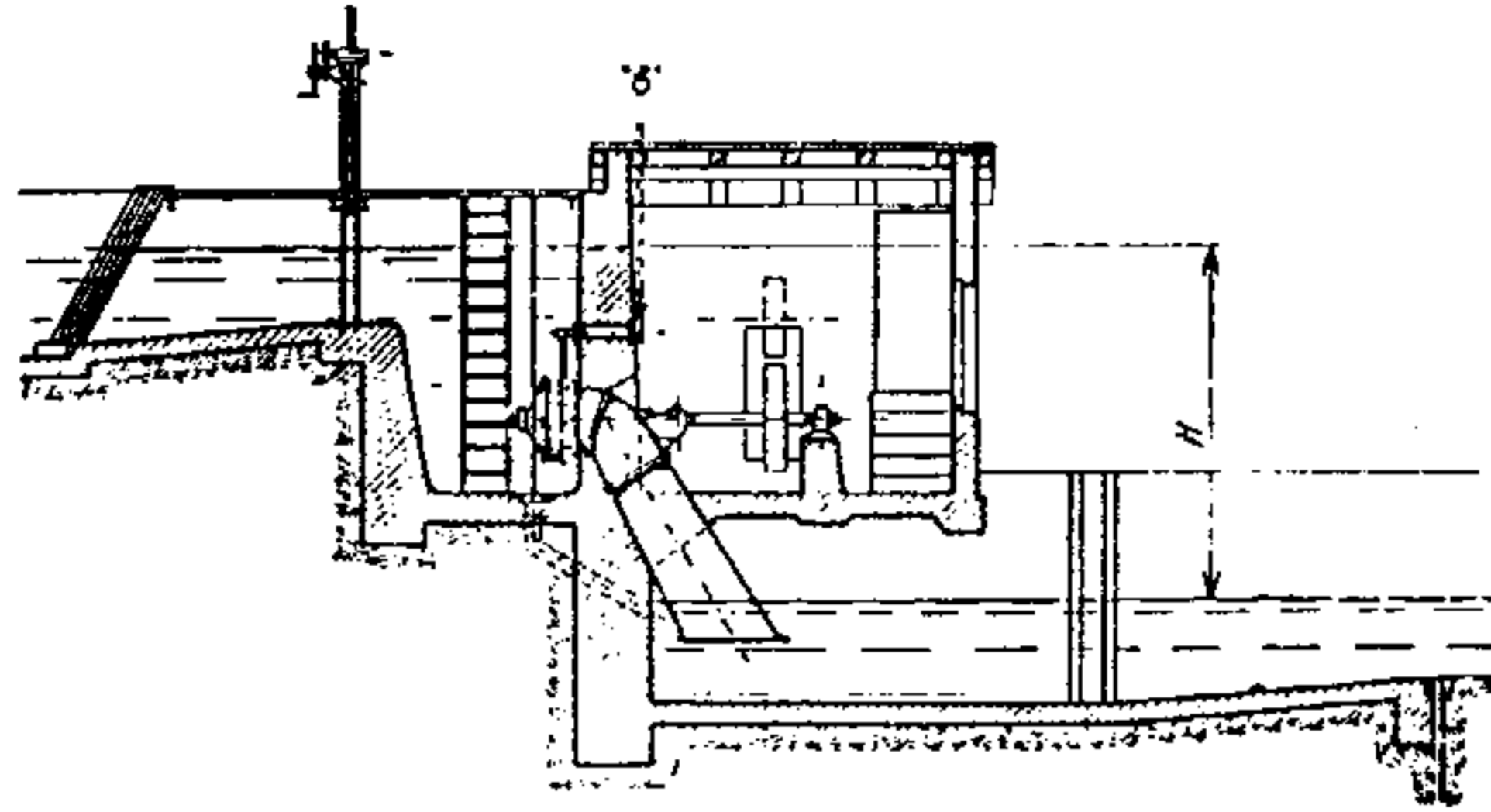


FIGURA 4.2.3/3

Para as turbinas que possuem rotores duplos, o tubo de sucção pode ter a forma segundo a FIGURA 4.2.3/4.

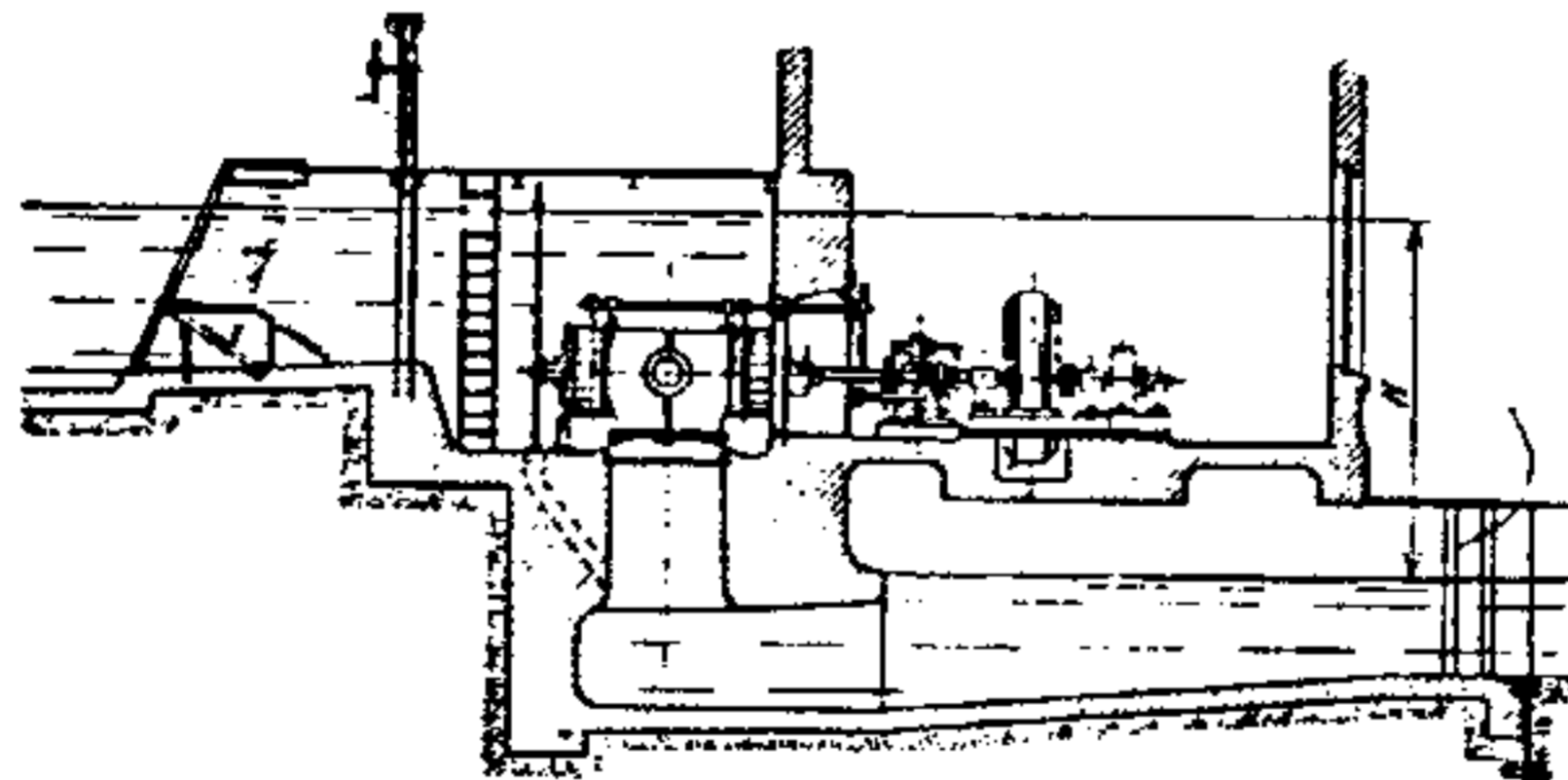


FIGURA 4.2.3/4

A-2) Turbinas Francis Caixa Aberta - Eixo Vertical

As principais características deste tipo de turbina são:

- tubo de sucção reto, em forma de cone blindado de chapa metálica - FIGURA 4.2.3/5;
- laje do piso da turbina com devida proteção contra infiltração e vedação dos eixos da turbina e hastes de manobra;
- nos casos onde não há necessidade da instalação do cone blindado na saída de rotor, a forma é feita diretamente na alvenaria com perfil hidráulico apropriado - FIGURAS 4.2.3/6 a 8.

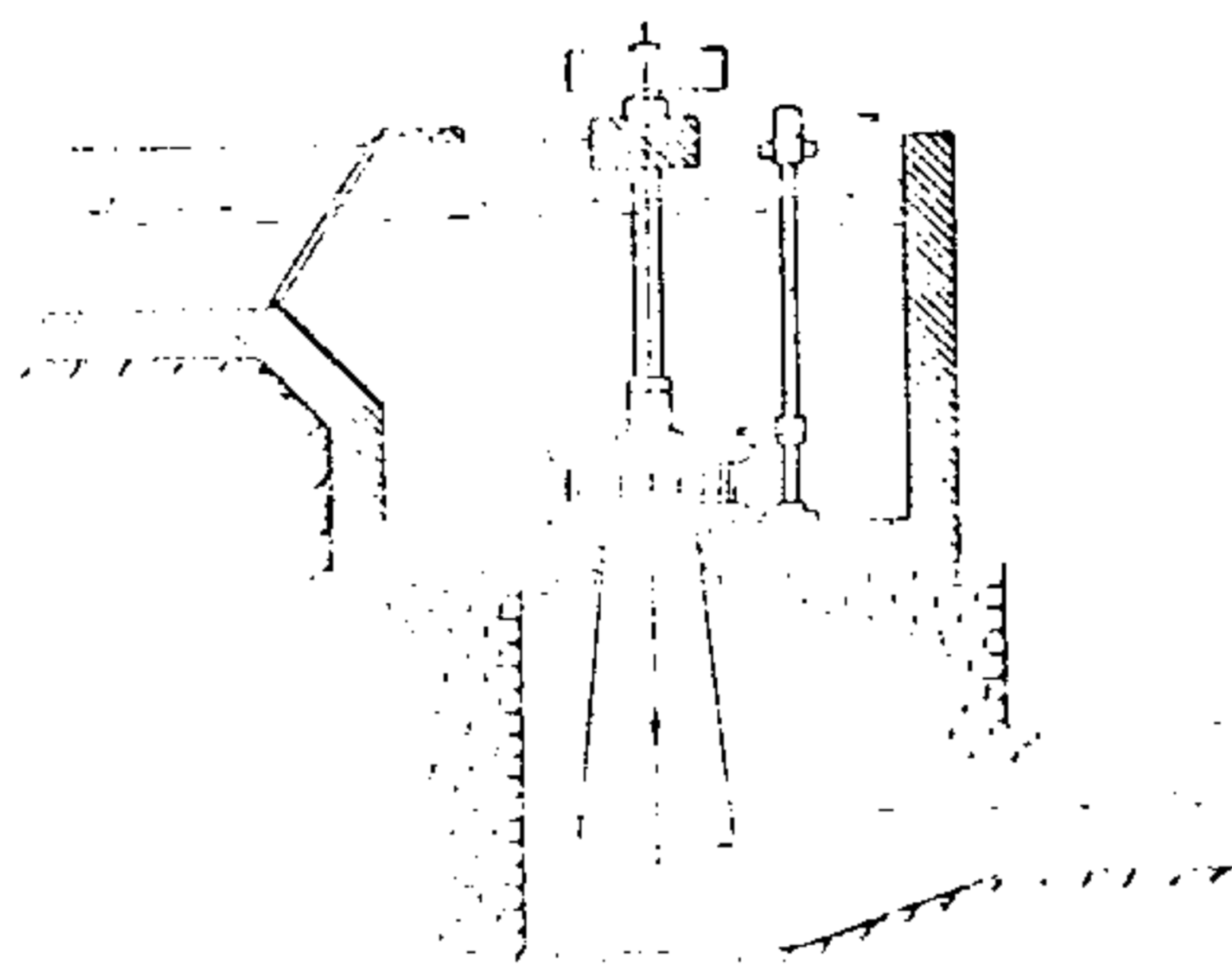


FIGURA 4.2.3/5

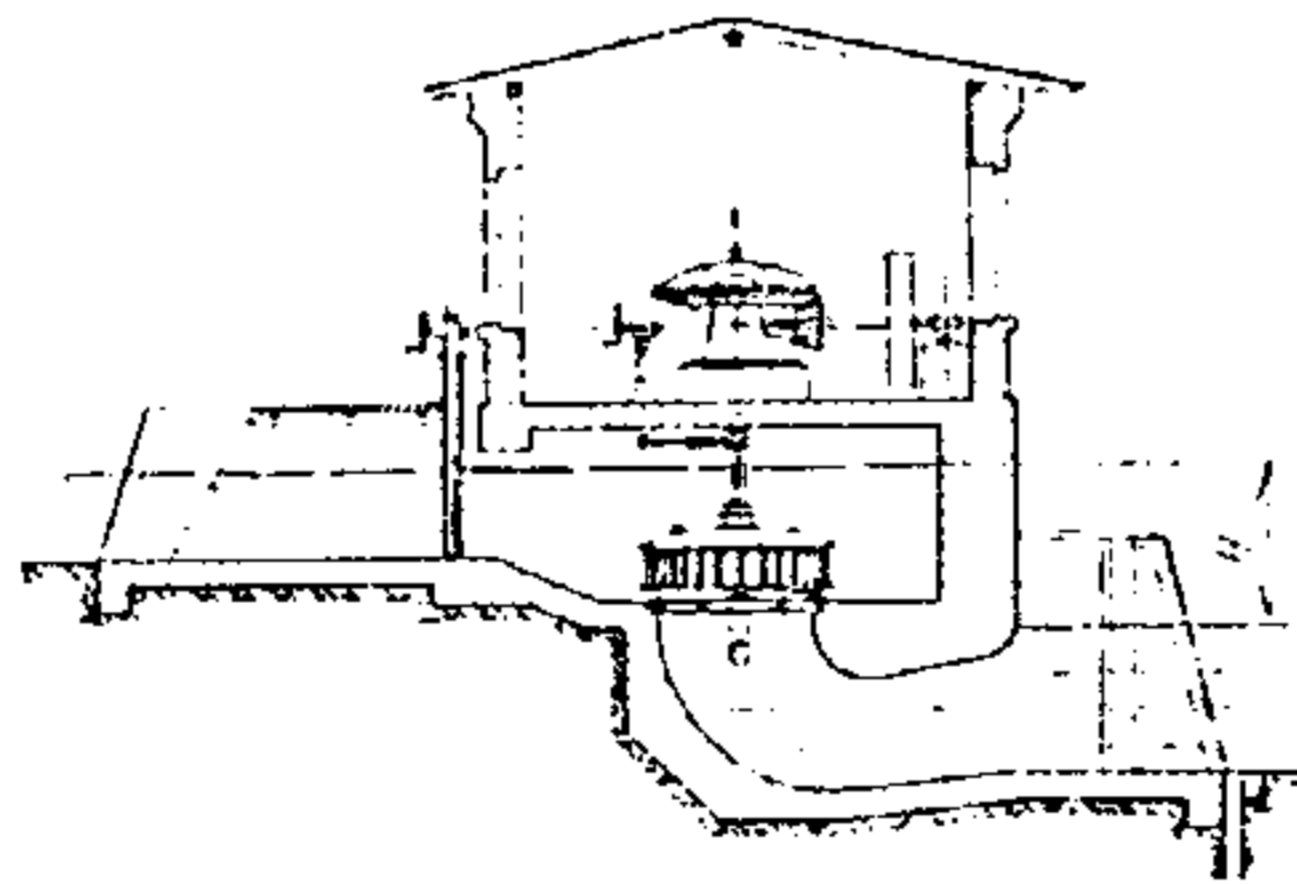


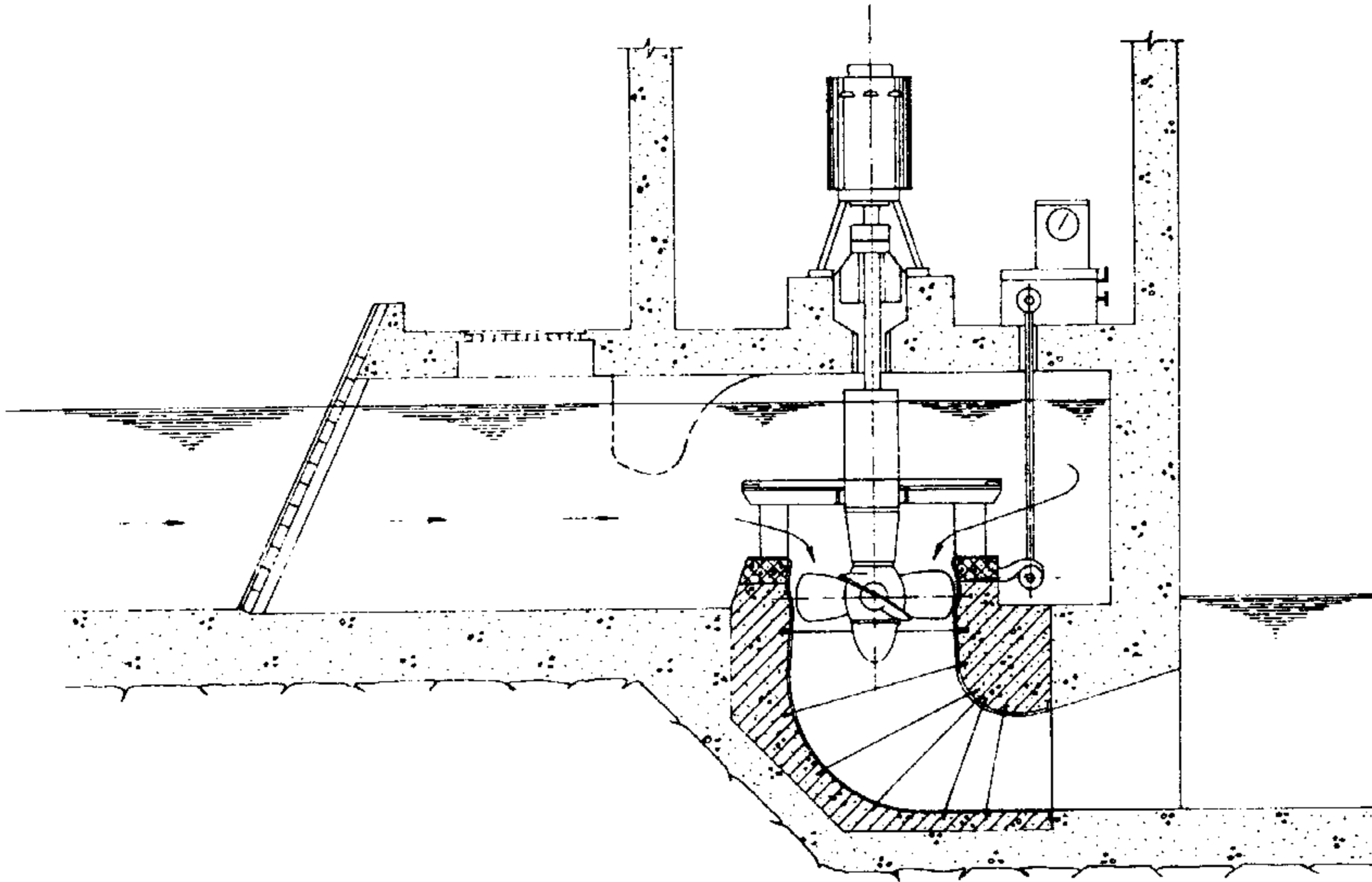
FIGURA 4.2.3/6

*Paula*

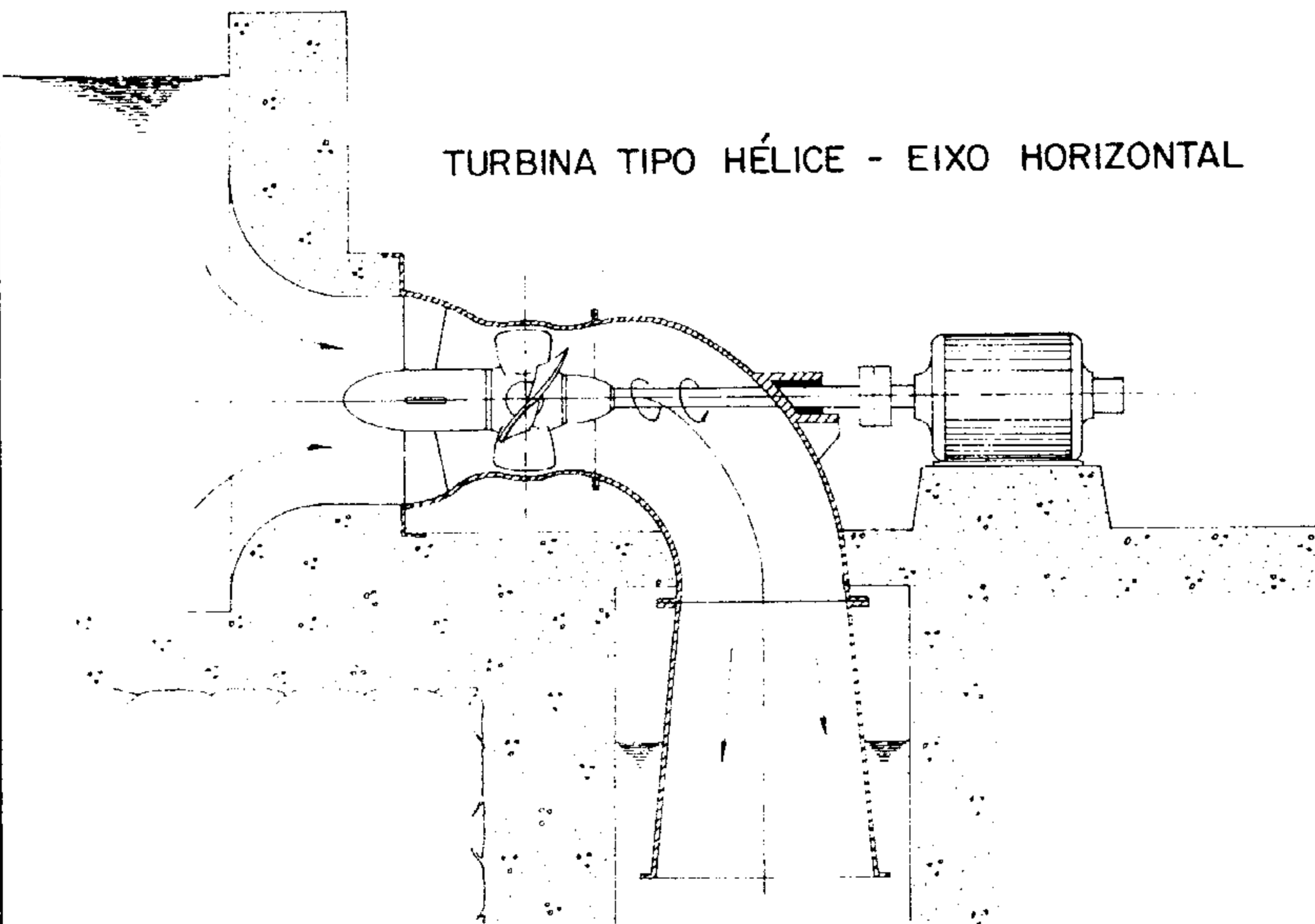
4.2.3/K

ANEXO

TURBINA TIPO HÉLICE - EIXO VERTICAL, COM CAIXA ABERTA



TURBINA TIPO HÉLICE - EIXO HORIZONTAL



A variação da potência fornecida pela turbina é obtida através de abertura e fechamento das palhetas do distribuidor, ligadas, através de um anel de regulação e de hastes apropriadas, ao atuador do sistema de regulação.

Posicionamento da Turbina - A parte mais baixa das pás da turbina deverá estar situada, a aproximadamente, 2,0 metros acima do nível de água mínimo de jusante.

Assim, considerando o eixo na posição horizontal, posição esta recomendada para micro e minicentrals, deve-se prever o piso de acesso à turbina cerca de 1,50 metros acima do nível de água mínimo de jusante.

Velocidade da Turbina - O fabricante da turbina escolherá, então em definitivo, uma velocidade para a turbina, compatível com esta posição, e de modo que não haja excessiva erosão das pás da turbina, por cavitação. Esta velocidade pode ser, em princípio, escolhida da FIGURA 4.2.3/9, onde são representadas faixas de velocidades síncronas já próprias para os geradores, em função da queda líquida e da descarga.

O rotor da turbina Francis é uma peça única e robusta.

O aspecto e disposição de uma turbina Francis Espiral estão mostrados no ANEXO 4.2.3/I, sendo que as letras indicam dimensões básicas, que possibilitam o prosseguimento do projeto civil. Todas as medidas estão referidas ao diâmetro nominal de saída do rotor da Turbina  $D_n$ .

Este diâmetro pode ser estimado a partir da fórmula experimental:

$$D_n = 0,3 \cdot (H_L)^{1/8} \cdot (Q)^{1/2} + \frac{1}{H_L}$$

O valor de  $D_n$  também pode ser tirado diretamente do ANEXO 4.2.3/J.

Na fórmula anterior:

$D_n$  = diâmetro interno na saída do rotor da turbina, em m

$H_L$  = queda líquida nominal, em m

$Q$  = descarga nominal, em  $m^3/s$

As dimensões básicas calculadas através deste Manual são apenas orientativas, permitindo a previsão do espaço necessário à instalação dos equipamentos. As medidas exatas serão definidas pelo fabricante da turbina, de acordo com seu projeto.

As medidas indicadas são sempre referentes ao diâmetro de saída do rotor  $D_n$ , já determinando, e se referem ao ANEXO 4.2.3/I.

- |               |                |
|---------------|----------------|
| $a = 1,5 D_n$ | $f = 1,05 D_n$ |
| $b = 1,9 D_n$ | $g = 2,9 D_n$  |
| $c = 1,7 D_n$ | $h = 1,4 D_n$  |
| $d = 2,0 D_n$ | $i = 2,0 D_n$  |
| $e = 1,3 D_n$ | $k = 3,8 D_n$  |

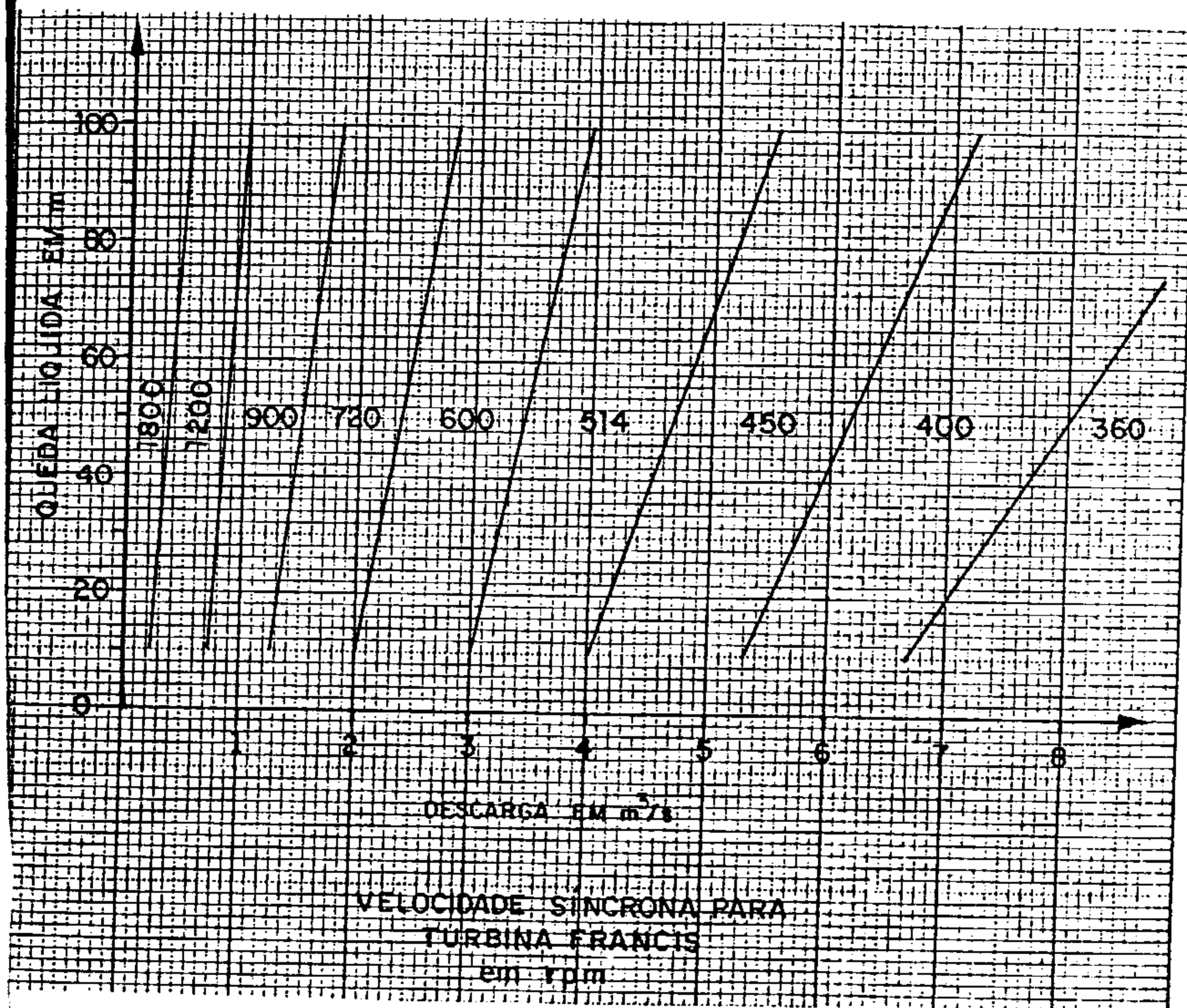


FIGURA 4.2.3/9

VALORES DE  $H_L^{1/8}$

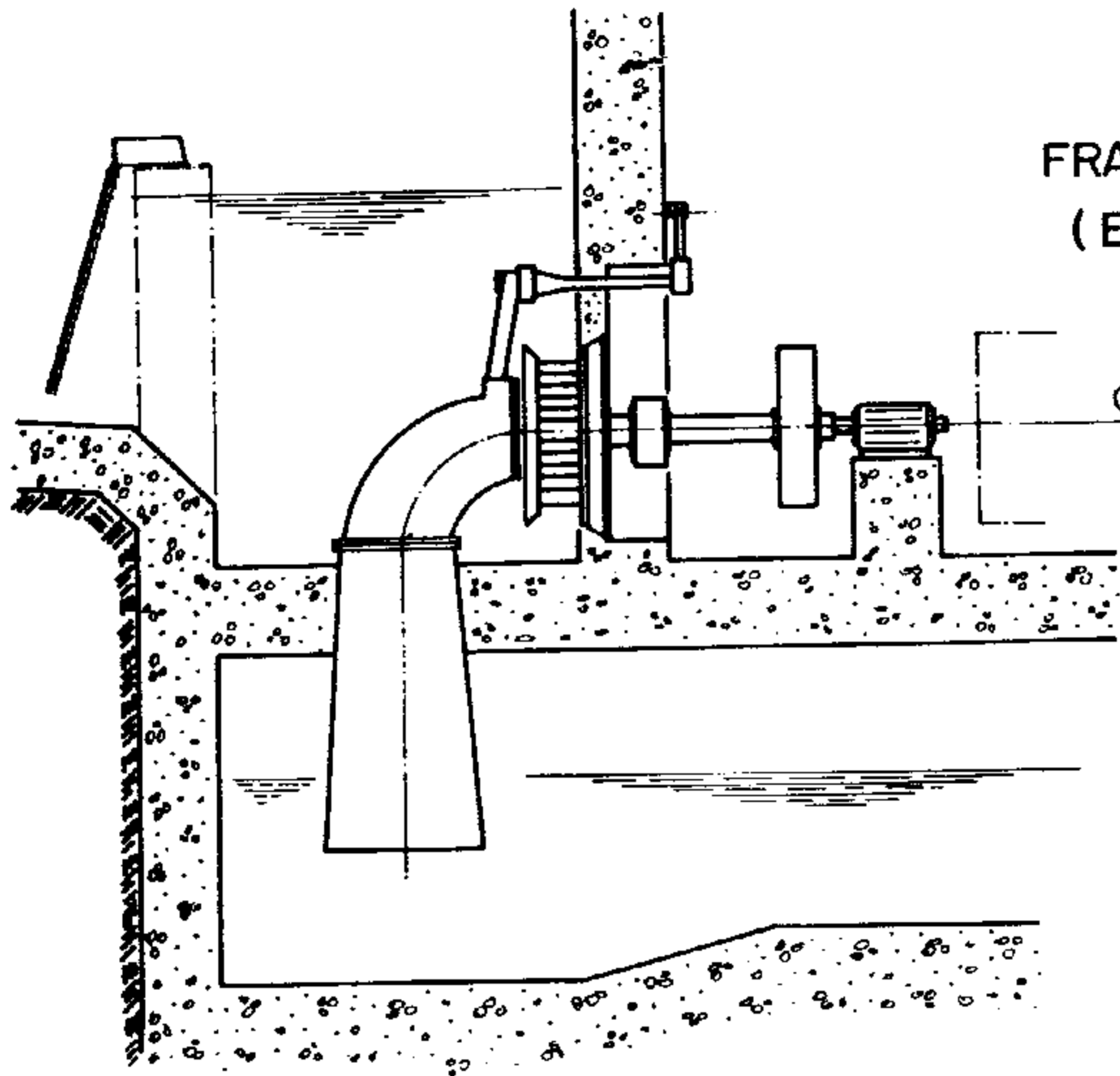
TABELA 4.2.3/I

$H_L$ (m)	FRAÇÃO DECIMAL DE $H_L$ (m)									
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
1	1,0000	1,0120	1,0231	1,0333	1,0430	1,0520	1,0605	1,0686	1,0762	1,0835
2	1,0905	1,0972	1,1036	1,1097	1,1156	1,1214	1,1269	1,1322	1,1374	1,1424
3	1,1472	1,1519	1,1565	1,1610	1,1653	1,1695	1,1736	1,1777	1,1816	1,1854
4	1,1892	1,1929	1,1965	1,2000	1,2035	1,2068	1,2102	1,2134	1,2166	1,2198
5	1,2228	1,2259	1,2289	1,2318	1,2347	1,2375	1,2403	1,2430	1,2457	1,2484
6	1,2510	1,2536	1,2562	1,2587	1,2612	1,2636	1,2660	1,2684	1,2708	1,2731
7	1,2754	1,2776	1,2799	1,2821	1,2843	1,2864	1,2886	1,2907	1,2927	1,2948
8	1,2968	1,2989	1,3008	1,3028	1,3048	1,3067	1,3086	1,3105	1,3124	1,3142
9	1,3161	1,3179	1,3197	1,3215	1,3232	1,3250	1,3267	1,3285	1,3302	1,3318
10	1,3335	1,3352	1,3368	1,3385	1,3401	1,3417	1,3433	1,3448	1,3464	1,3480
11	1,3495	1,3510	1,3525	1,3541	1,3555	1,3570	1,3585	1,3600	1,3614	1,3628
12	1,3643	1,3657	1,3671	1,3685	1,3699	1,3712	1,3726	1,3740	1,3753	1,3767
13	1,3780	1,3793	1,3806	1,3819	1,3832	1,3845	1,3858	1,3870	1,3883	1,3896
14	1,3908	1,3920	1,3933	1,3945	1,3957	1,3969	1,3981	1,3993	1,4005	1,4017
15	1,4029	1,4040	1,4052	1,4063	1,4075	1,4086	1,4097	1,4109	1,4120	1,4131
16	1,4142	1,4153	1,4164	1,4175	1,4186	1,4197	1,4207	1,4218	1,4229	1,4239
17	1,4250	1,4260	1,4271	1,4281	1,4291	1,4301	1,4312	1,4322	1,4332	1,4342
18	1,4352	1,4362	1,4372	1,4382	1,4391	1,4401	1,4411	1,4420	1,4430	1,4440
19	1,4449	1,4459	1,4468	1,4478	1,4487	1,4496	1,4505	1,4515	1,4524	1,4533
20	1,4542	1,4551	1,4560	1,4569	1,4578	1,4587	1,4596	1,4605	1,4614	1,4622
21	1,4631	1,4640	1,4648	1,4657	1,4666	1,4674	1,4683	1,4691	1,4700	1,4708
22	1,4716	1,4725	1,4733	1,4741	1,4750	1,4758	1,4766	1,4774	1,4782	1,4790
23	1,4798	1,4806	1,4814	1,4822	1,4830	1,4838	1,4846	1,4854	1,4862	1,4870
24	1,4877	1,4885	1,4893	1,4900	1,4908	1,4916	1,4923	1,4931	1,4938	1,4946

Exemplo: Para  $H_L = 15,80$ ,  $H_L^{1/8} = 1,4120$

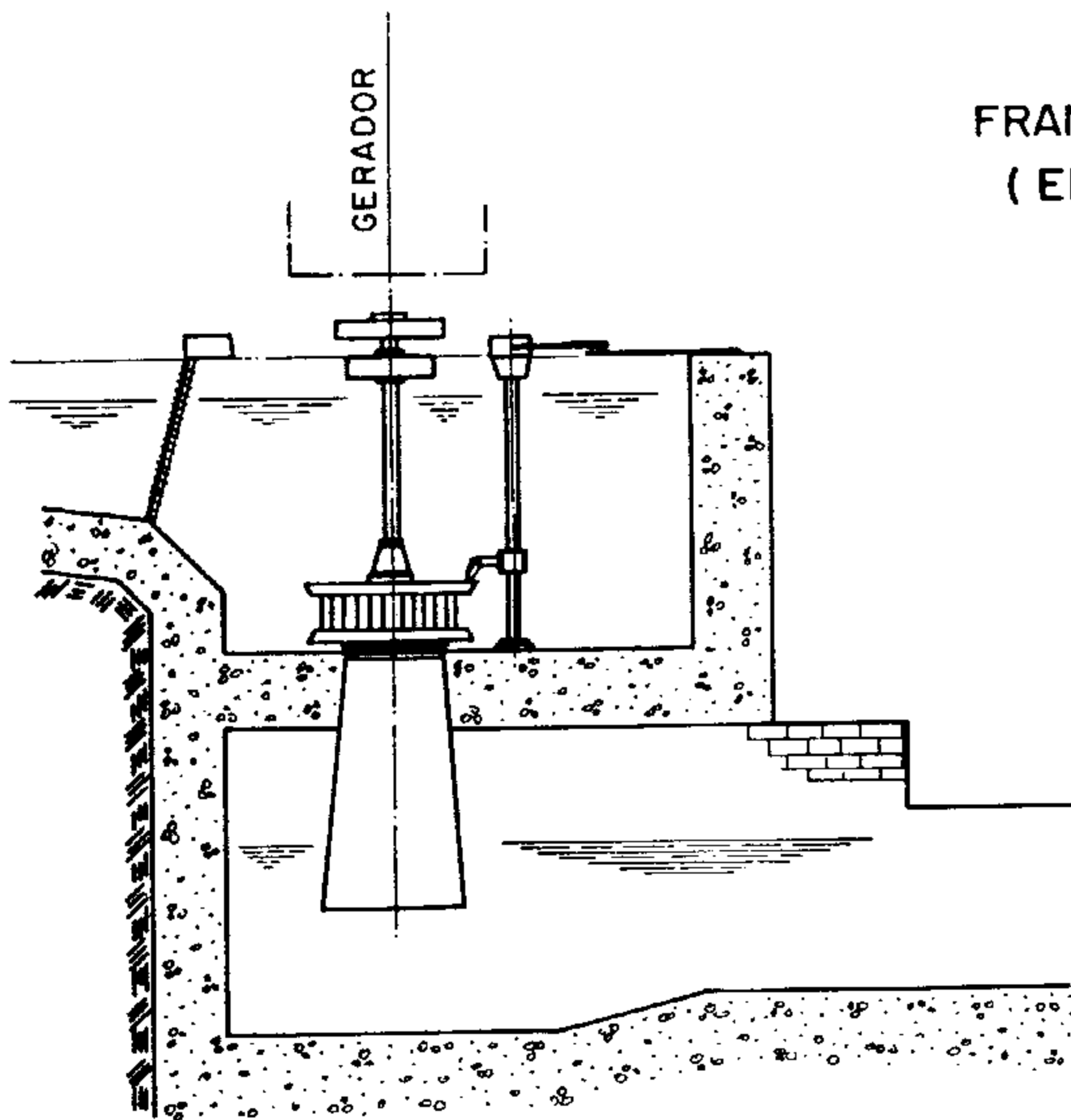
4.2.3/H

ANEXO



FRANCIS CAIXA ABERTA  
(EIXO HORIZONTAL)

GERADOR

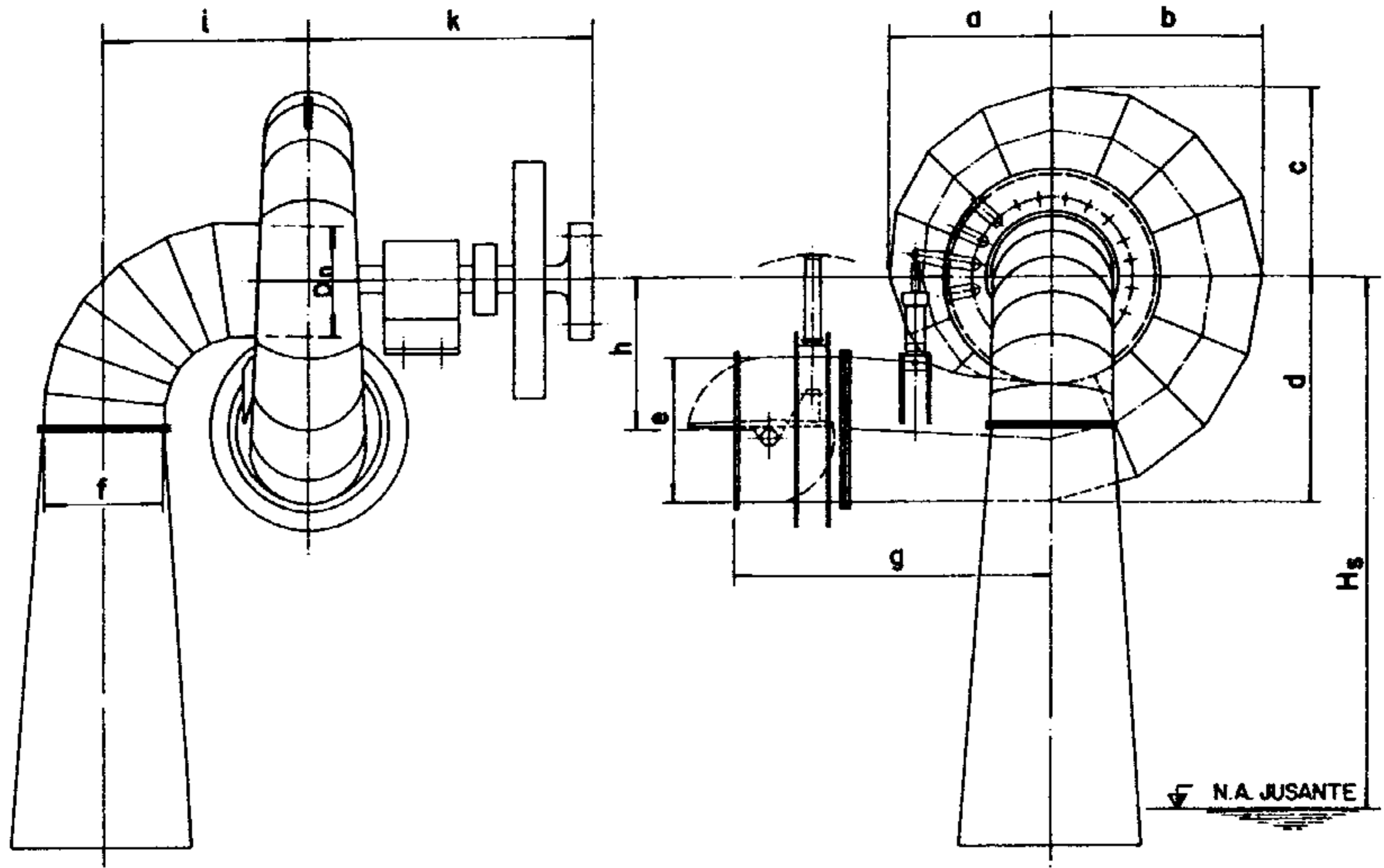


FRANCIS CAIXA ABERTA  
(EIXO VERTICAL)

GERADOR

4.2.3/1

ANEXO



DIMENSÕES BÁSICAS

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
1,5	1,9	1,7	2,0	1,3	1,05	2,9	1,4	2,0	3,8

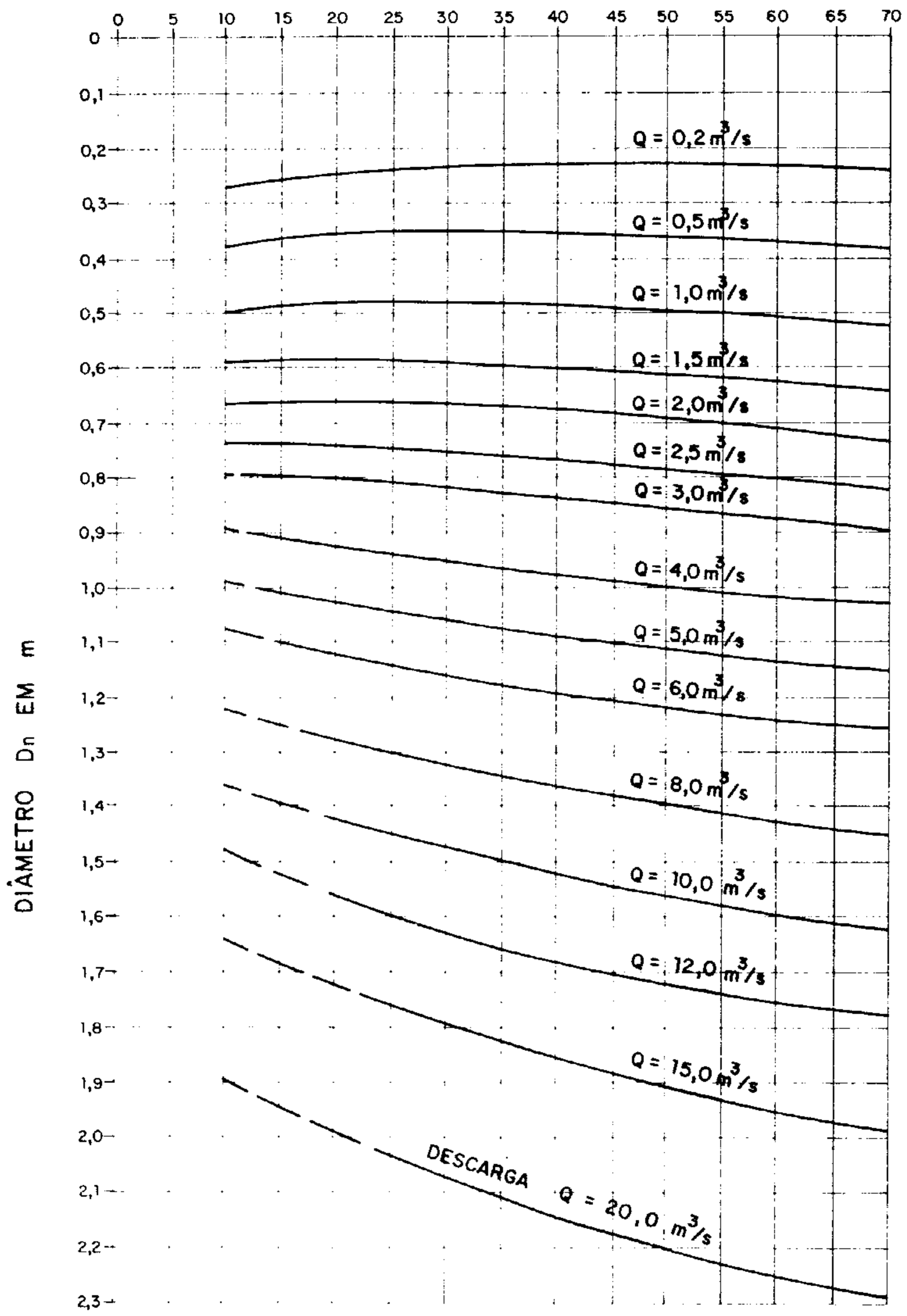
NOTA:

PARA OBTER AS DIMENSÕES REAIS, MULTIPLICAR OS VALORES DA TABELA PELO DIÂMETRO DO ROTOR  $D_n$ .

TURBINA FRANCIS COM CAIXA ESPIRAL



QUEDA LÍQUIDA  $H_L$  EM m



TURBINA FRANCIS - ESCOLHA DO DIÂMETRO A PARTIR DA QUEDA E DA DESCARGA

*Jaite*

#### 4.2.3.4.3 Turbinas Hélice

A turbina hélice é considerada uma turbina de reação, sendo utilizada com maior frequência em aproveitamentos com quedas abaixo de 12 metros. Tais como as do tipo Francis, as turbinas do tipo Hélice também podem ser instaladas em caixa armada ou no concreto com caixa do tipo semi-espiral. Quanto ao eixo da unidade, elas podem ser de eixo vertical ou horizontal, sendo as primeiras utilizadas com maior frequência.

##### A) Turbinas Hélice Caixa Aberta

Estas turbinas são recomendadas para aproveitamentos hidrelétricos com queda inferior a 10 metros. Valem os mesmos comentários adotados para a Francis caixa-aberta, porém com uma pequena diferença ou vantagem sobre o tipo Francis, com relação a rotação.

Se comparada com uma turbina Francis de mesma queda, é possível adotar-se uma turbina tipo Hélice com mesmo diâmetro externo, porém com uma velocidade de rotação ligeiramente superior, o que poderá trazer uma melhor adaptação para o gerador.

O ANEXO 4.2.3/K dá uma idéia da disposição da turbina Hélice caixa aberta, com eixo vertical.

##### A.1) Turbinas tipo Hélice caixa espiral

Estas turbinas são recomendadas para aproveitamentos com queda inferior a 12 metros, onde a turbina é envolvida por caixa espiral, normalmente feita em chapa de aço soldada ou em ferro fundido, semelhante às turbinas Francis com caixa espiral.

O mesmo comentário relativo a velocidade de rotação é válido, pois as máquinas do tipo Hélice possuem velocidades específicas, ligeiramente superiores às do tipo Francis de mesma queda.

O ANEXO 4.2.3/K dá uma idéia da disposição da turbina Hélice caixa espiral, com eixo horizontal.

O rotor da turbina Hélice é uma peça única e robusta e as pás podem ser fundidas diretamente com o cubo central ou podem ser fabricadas isoladamente e depois soldadas na peça central (cubo e cone de saída).

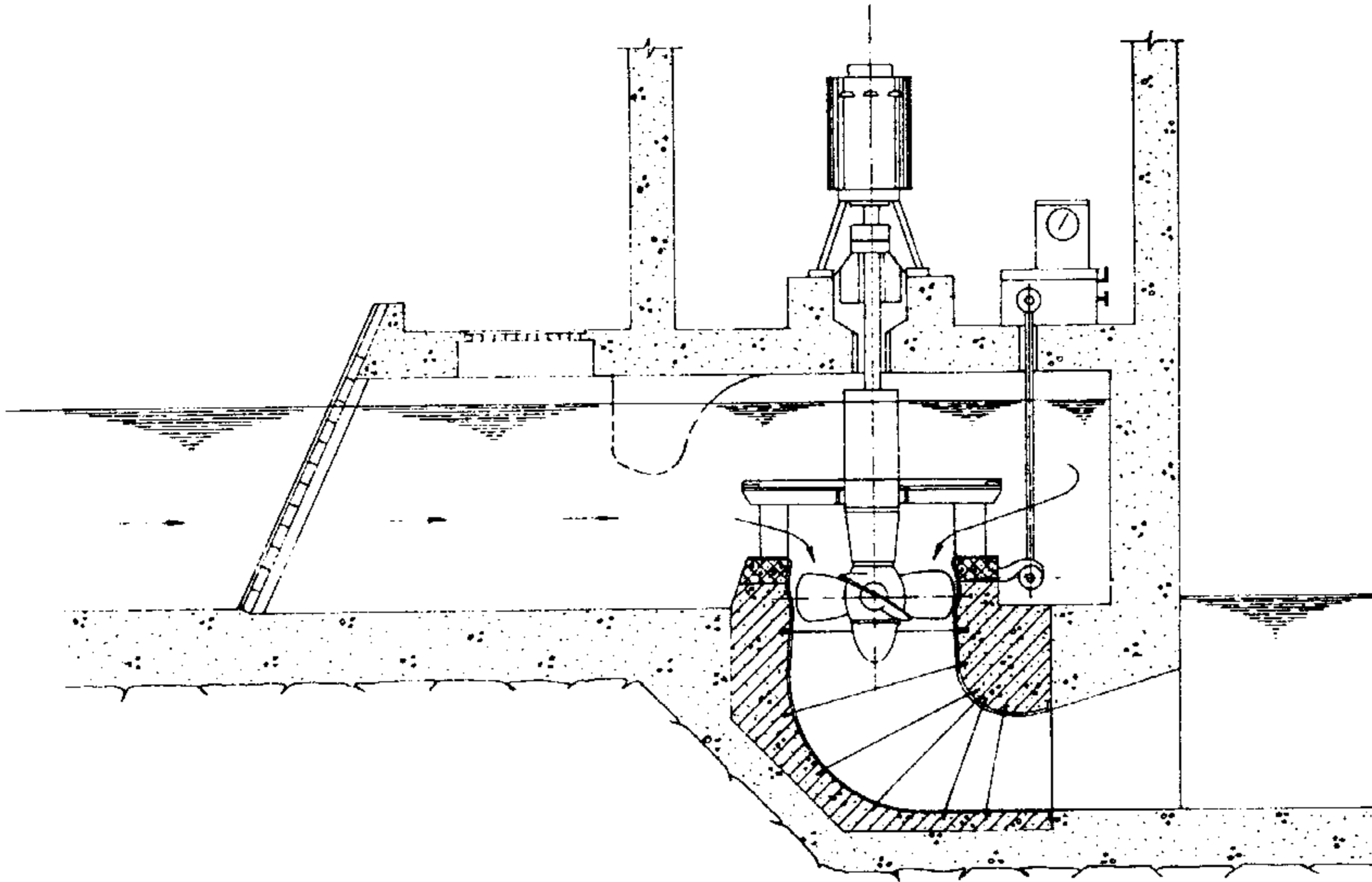
Normalmente, devido a facilidade construtiva, o rotor da Hélice é fabricado com quatro pás, podendo existir, em alguns casos mais específicos, rotores com cinco ou até mesmo seis pás.

*Paula*

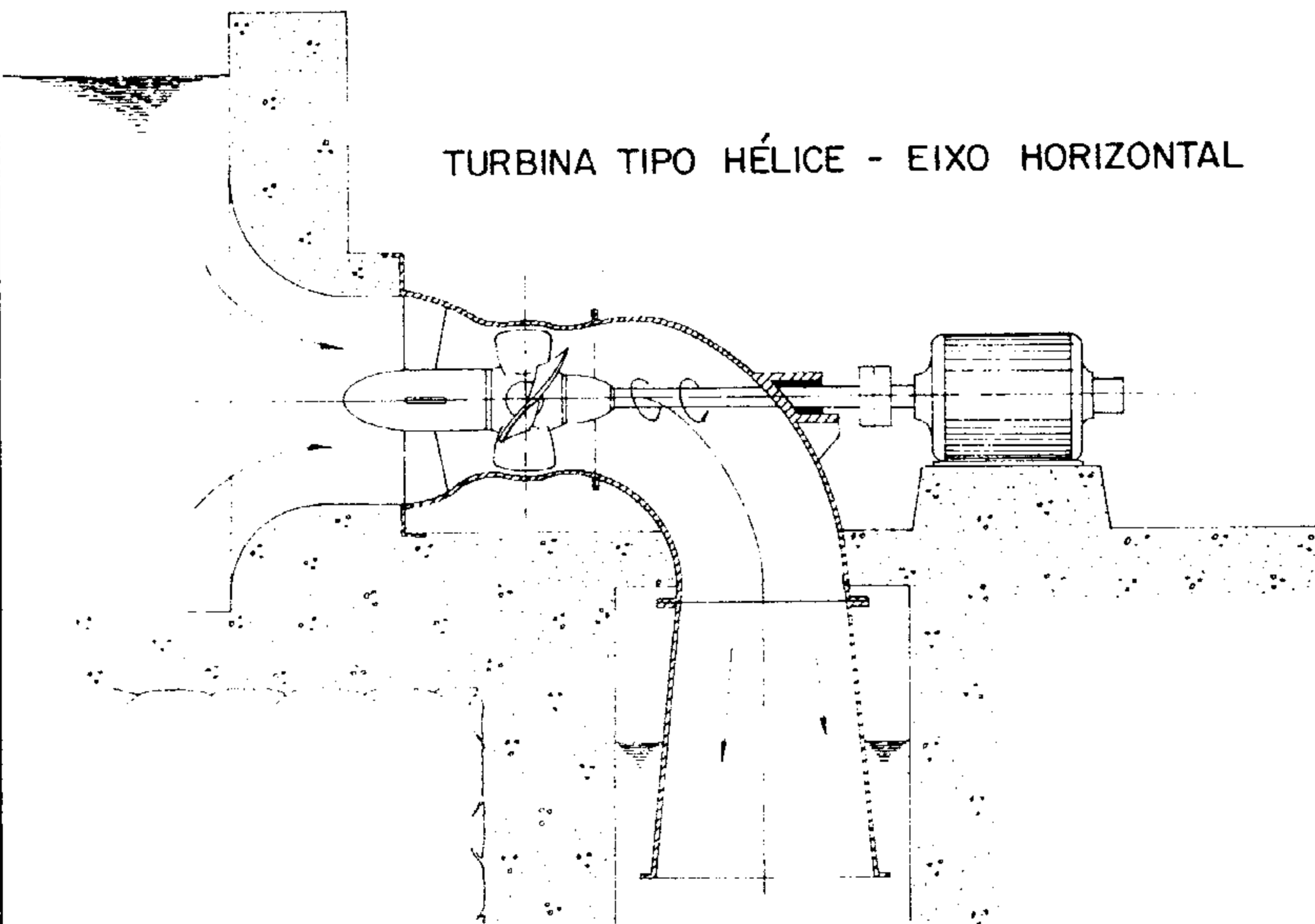
4.2.3/K

ANEXO

TURBINA TIPO HÉLICE - EIXO VERTICAL, COM CAIXA ABERTA



TURBINA TIPO HÉLICE - EIXO HORIZONTAL



#### 4.2.3.4.4 Turbinas Banki

A turbina Banki é considerada uma turbina de aço, na qual o fluxo d'água atravessa o rotor cilíndrico transversalmente com duas passagens pelas pás. (ver ANEXO 4.2.3/L)

Aplicação - no ANEXO 4.2.3/F para escolha do tipo de turbina, a faixa abrangida pela turbina Banki se superpõe, de um modo geral, à faixa das turbinas Francis. A faixa em que a turbina Banki pode operar é muito ampla, chegando até quedas próximas a 200 metros e com descargas a partir de alguns litros por segundo (10 l/s). Pode-se mesmo concluir que a turbina Banki aplica-se adequadamente a aproveitamentos hidrelétricos, desde pequenas potências até potências da ordem de 500 kW ou mais.

Nas faixas de baixa queda (inferior a 10 m), a turbina Banki apresenta o inconveniente de ter de trabalhar com uma velocidade de rotação baixa (abaixo de 200 rpm), o que conduz à necessidade de utilização de uma multiplicação de velocidades, habitualmente feita por meio de correias.

Construção - a turbina Banki é formada por um injetor ou tubulação, que contém uma ou duas palhetas diretrizes, encarregadas de regular o fluxo de água que entra na turbina. O seu rotor tem a forma de um cilindro em cuja periferia estão dispostas as pás, recebendo um duplo impulso, correspondente à entrada e à saída do fluxo d'água no rotor.

Dimensões - as dimensões definitivas serão estabelecidas pelo fabricante da turbina. Somente a título informativo apresenta-se no ANEXO 4.2.3/M a sugestão da OLADE para padronização de turbinas desse tipo. Os tipos T<sub>1</sub> a T<sub>14</sub>, apresentados no ANEXO 4.2.3/M possuem algumas dimensões padronizadas, conforme indicado na TABELA 4.2.3/II.

Velocidade de rotação - a velocidade sugerida pode ser obtida da forma a seguir:

$$n = \frac{40 \sqrt{H_L}}{D_n}$$

onde:

n = velocidade de rotação, em rpm

H<sub>L</sub> = queda líquida, em m

D<sub>n</sub> = diâmetro externo do rotor, em m

Em caso de acoplamento direto ao gerador, esta velocidade deve ser ajustada à velocidade síncrona, conforme estipulado em outra parte deste Manual.

TABELA 4.2.3/II

Nº	DIMENSÕES PRINCIPAIS DAS TURBINAS BANKI PADRONIZADAS		
	DIÂMETRO DO ROTOR (m)	LARGURA DO ROTOR (m)	LARGURA DO INJETOR (m)
T1	0,20	0,040	0,030
T2	0,20	0,060	0,045
T3	0,20	0,085	0,065
T4	0,20	0,160	0,060 - 0,030 *
T5	0,40	0,080	0,060
T6	0,40	0,110	0,085
T7	0,40	0,160	0,120
T8	0,40	0,305	0,120 - 0,060 *
T9	0,40	0,315	0,240
T10	0,40	0,610	0,240 - 0,120 *
T11	0,60	0,350	0,270
T12	0,60	0,500	0,390
T13	0,60	0,700	0,560
T14	0,60	1,200	0,560 - 0,280 *

\* Nestes casos são usados injetores com dois compartimentos, cada um com a largura indicada na Tabela.

#### 4.2.3.4.5 Sistema de Regulação

O sistema de regulação tem por finalidade manter a rotação e, portanto, a frequência da unidade geradora dentro dos limites considerados aceitáveis, em função da variação da demanda da rede elétrica. Nas minicentrals hidrelétricas esta função é desempenhada pelos reguladores de velocidade.

##### 4.2.3.4.5.1 Reguladores de Velocidade

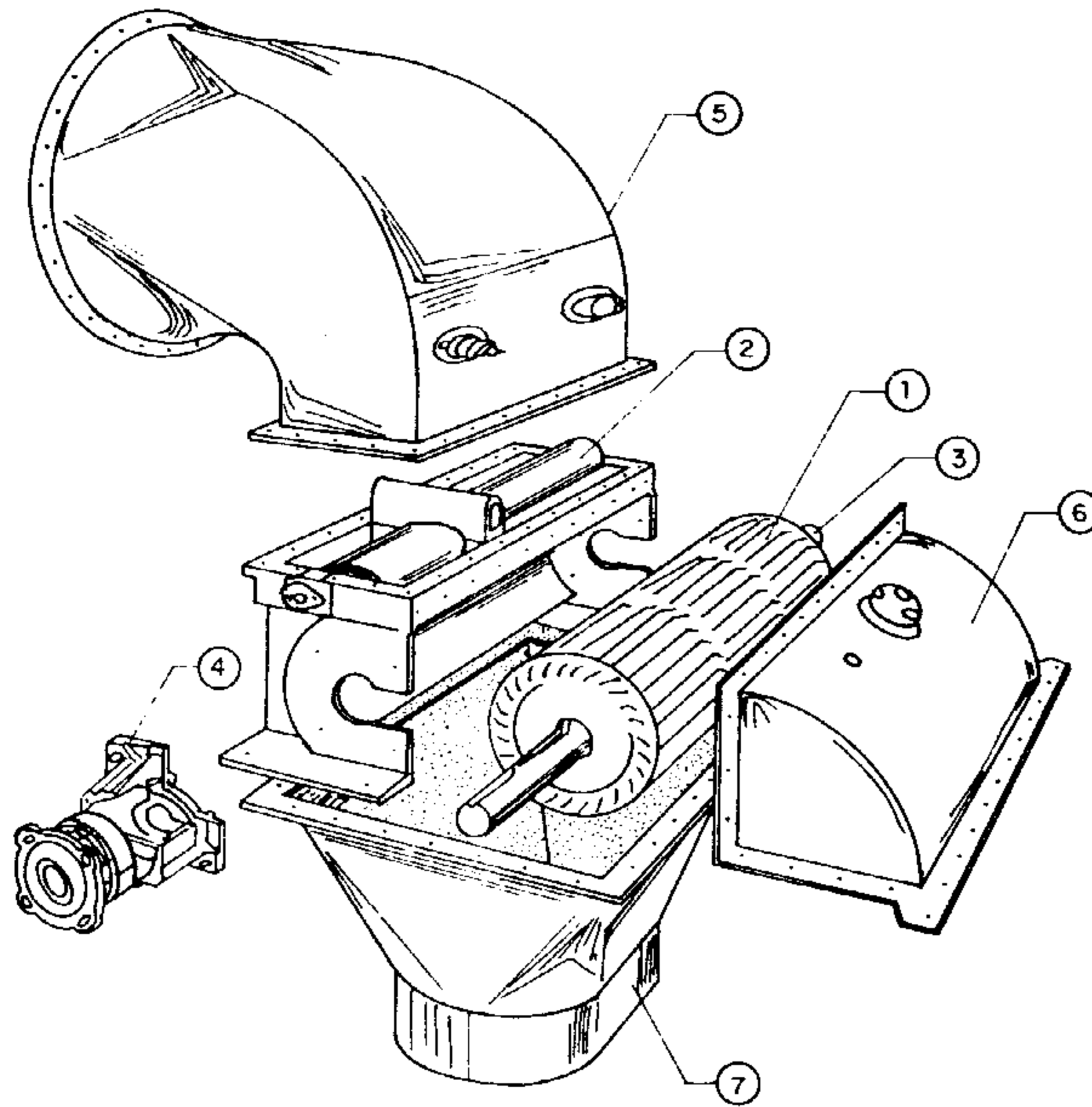
Os reguladores automáticos de velocidade geralmente empregados nas minicentrals hidrelétricas são do tipo mecânico, constituídos por um servo-mecanismo acionado por óleo pressurizado, comandado por um pêndulo centrífugo. O pêndulo detecta qualquer variação da velocidade (rotação) da unidade geradora, causada por variação da carga na rede, pondo em funcionamento o servo-mecanismo de acionamento do distribuidor da turbina. O distribuidor

regula o fluxo de água através da turbina, controlando deste modo a variação da potência da mesma, de acordo com a variação da carga na unidade geradora.

O trabalho necessário para mover o distribuidor da turbina, da posição fechada até a abertura máxima, sob queda máxima, é chamado trabalho de regulação da turbina e é medido em kgf.m. São encontrados normalmente no mercado reguladores de 25 kgf.m a 2500 kgf.m, o que atende a toda a faixa de minicentraís.

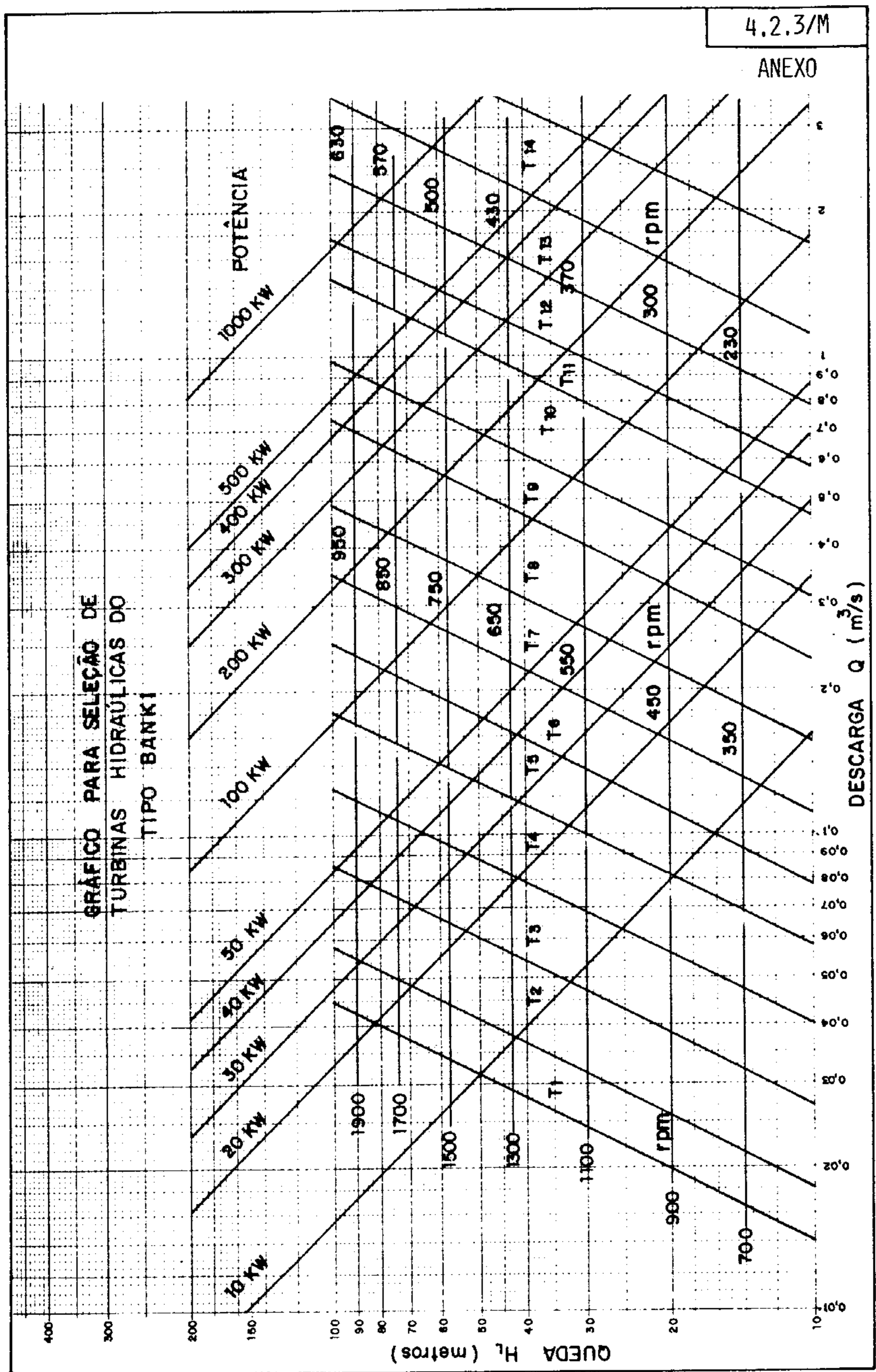
#### 4.2.3.4.6 Volantes de Inércia

Nas unidades geradoras de pequena capacidade ocorre freqüentemente que o momento de inércia ( $GD^2$ ) das massas girantes é insuficiente para garantir uma regulação estável, ou seja, o regulador não tem capacidade de atender às variações de carga na unidade geradora, dentro de certas condições de regulação previamente impostas, considerando-se apenas o  $GD^2$  do gerador e da turbina. Torna-se necessário então recorrer ao emprego de volantes de inércia, que poderão ser fabricados em ferro fundido ou aço fundido. Estes volantes são normalmente colocados na extensão do eixo do gerador, sendo sua massa e seu diâmetro determinados pelo fabricante da turbina em função das características da máquina oferecida.



- 1 - ROTOR
- 2 - DISTRIBUIDOR
- 3 - EIXO
- 4 - MANCAL COMBINADO , DE ENCOSTO E DE APOIO
- 5 - TAMPA SUPERIOR
- 6 - TAMPA LATERAL
- 7 - POÇO INFERIOR DA TURBINA

GRÁFICO PARA SELEÇÃO DE  
TURBINAS HIDRAÚLICAS DO  
TIPO BANKI





O fabricante poderá fornecer a turbina hidráulica e os equipamentos periféricos auxiliares, tais como regulador de velocidade, válvula borboleta ou gaveta, para fechamento de emergência, e outros equipamentos, que venham a ser fornecidos pelo fabricante da turbina, respeitando alguns critérios básicos de segurança que devem fazer parte de um pequeno manual de operação a ser oferecido pelo fabricante e exigido pelo proprietário de minicentral.

Este Manual deverá constar de uma pequena descrição dos equipamentos oferecidos e de uma seqüência de operação a ser seguida pelo futuro operador da máquina.

Observação: (a máquina aqui descrita poderá ser considerada como todo o grupo de operação distribuído dentro da casa de máquinas - ou seja, turbina, válvula de emergência, regulador, acoplamento ou transmissão, gerador e painéis de controle e instrumentação).

O fabricante deverá enviar um técnico para executar a montagem dos equipamentos e esclarecer ao pessoal responsável pela operação da central os critérios da mesma, para prevenir uma operação indevida ou inadequada face ao porte da instalação.

O responsável pela montagem e/ou entrega do equipamento em pauta deverá esclarecer de acordo com o pequeno manual o que poderá caracterizar uma falha na garantia do equipamento oferecido.

O fabricante visa garantir, no mínimo, os seguintes valores oferecidos na sua proposta:

- 1.1 - Potência no eixo da saída da turbina, medida por ocasião do primeiro giro da máquina ou por outros meios indiretos, conforme maior facilidade na obra.
- 1.2 - Voltagem de saída do gerador mediante uma medida externa por meio de um voltímetro ou aparelho multitester calibrado para o referido teste.
- 1.3 - Rotação síncrona da máquina, medida por meio de uma medida externa ou por meio de aparelho especial calibrado para o referido teste. A medida deverá ser feita em "carga" e em "vazio".
- 1.4 - Potência de saída do gerador, por meio de um watímetro por ocasião do primeiro giro da máquina.
- 1.5 - Vazão turbinada pela turbina em função de uma determinada queda conhecida da instalação. A medida poderá ser indireta e deverá ser verificada para valores de "marcha em vazio" e "marcha a plena carga".

Estas garantias deverão proteger tanto o proprietário quanto o fabricante do equipamento e estão apresentadas no ANEXO 4.2.3/N.

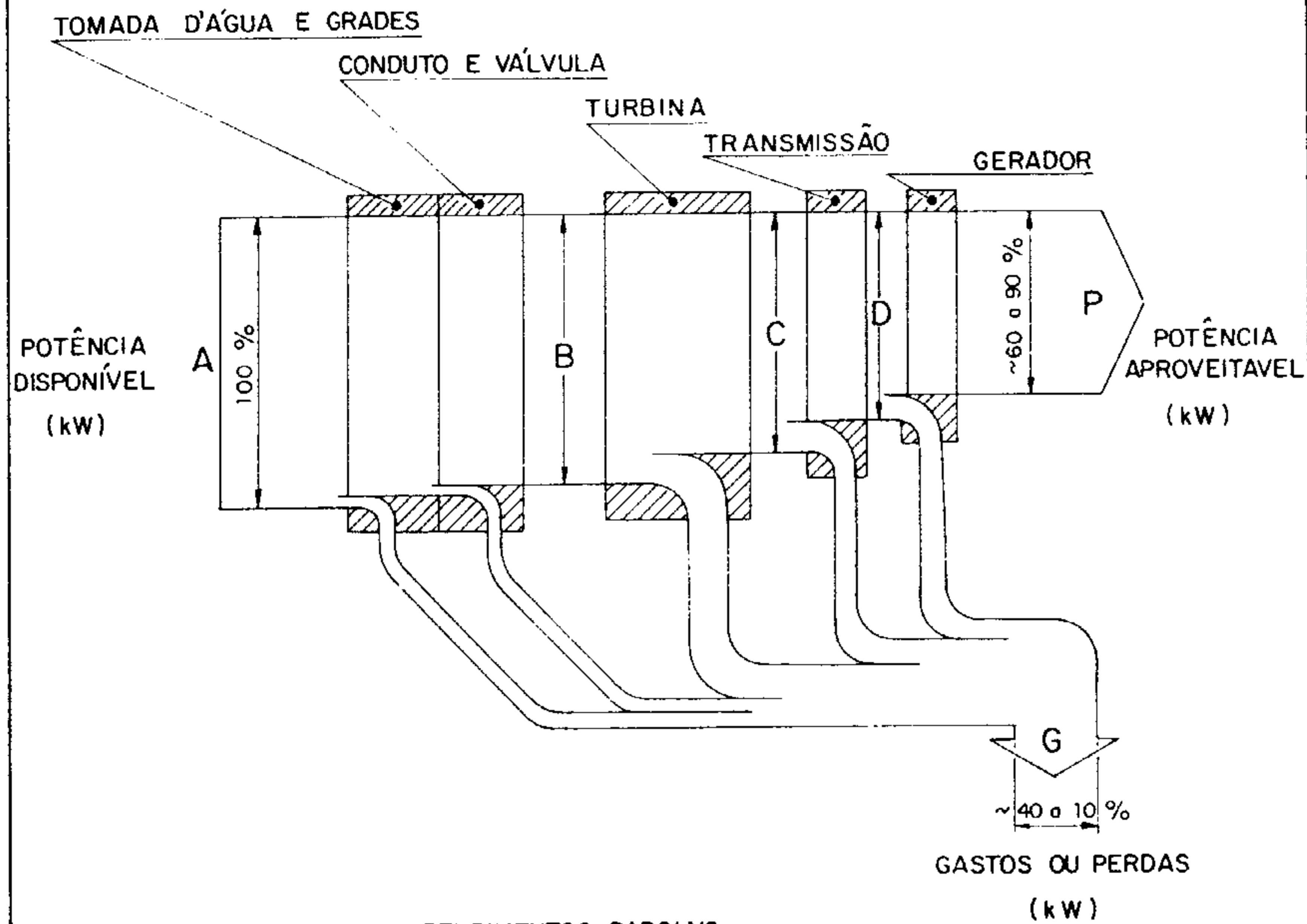
O fabricante deverá ainda dar garantia quanto a peças de reposição dentro de um determinado período contratual, após a 1ª. geração de energia, bem como mandar um representante com experiência suficiente à obra para dar apoio ao pessoal de operação dentro do período de garantia.

Durante algum tempo após a primeira tomada de carga deverá ser estabelecido um prazo de garantia oferecido pelo fabricante e exigido pelo proprietário, para que sejam cumpridos os itens especiais da garantia do referido contrato.

Como valor razoável para o nível de potência para minicentraís (entre 100 kW e 1000 kW), esta garantia pode ser de 6 meses a 12 meses após a primeira tomada de carga ou seja, o fabricante poderá garantir os valores da potência, voltagem e rotação síncrona, dentro de certas margens de segurança da ordem de  $\pm 10\%$ , para efeitos de geração de energia, verificando-se basicamente o tipo de carga que está sendo suprida pela central.

Esquema ilustrativo realístico para esclarecimento do proprietário quanto à potência fornecida pelos equipamentos adquiridos, em termos globais da instalação, está apresentado no ANEXO 4.2.3/N.

## FLUXO DE ENERGIA EM FORMA DE ESQUEMA PARA MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS



RENDIMENTOS PARCIAIS :

- |              |                      |
|--------------|----------------------|
| 1) TURBINA : | $\eta = \frac{C}{B}$ |
| 2) TRANSM. : | $\eta = \frac{D}{C}$ |
| 3) GERADOR : | $\eta = \frac{P}{D}$ |

RENDIMENTO GLOBAL DA CENTRAL

$$\eta = \frac{P}{A}$$

OBJETIVO FINAL DA INSTALAÇÃO É A CONVERSÃO DA ENERGIA HIDRÁULICA TOTAL (A) EM ENERGIA ELÉTRICA (P), EXPRESSA COMO RENDIMENTO DA CENTRAL ( $\eta$ )

Deverá ser prevista a utilização de uma talha manual, com a finalidade de auxiliar os serviços de montagem de instalação e de manutenção dos principais equipamentos contidos na casa de máquinas, tais como, turbina, gerador, válvula borboleta, eixos, mancais, volante de inércia, regulador de velocidade e quadros elétricos.

A determinação da capacidade de levantamento da talha poderá ser feita tomando-se o peso da peça mais pesada que compõe a turbina e o gerador, obtido através de informação prestada pelos respectivos fabricantes. Esse valor deverá ser acrescido de 20% (vinte por cento) como segurança de sobrecarga.

A viga I de aço de sustentação da talha permite duas soluções, quanto à maneira de apoiá-la, a saber:

- simplesmente apoiada em suas extremidades sobre as paredes laterais da casa de máquina, posicionada longitudinalmente por sobre a linha de dentro do grupo turbina gerador, podendo ser deslocada manualmente para as laterais, para permitir a operação da talha por sobre o regulador de velocidade da turbina (se houver).
- fixada em um pórtico móvel equipado com rodas de borracha giratórias para possibilitar sua movimentação em qualquer direção.

A escolha mais adequada do arranjo da estrutura de apoio da talha deverá ser analisada em conjunto com o fabricante da turbina com base na sua experiência e na disposição do lay-out dos equipamentos da casa de máquina.

#### 4.2.4 Equipamentos e Instalações Elétricas

##### 4.2.4.1 Geradores Síncronos e Sistema de Excitação

##### 4.2.4.1.1 Determinação da Potência do Gerador

A determinação da potência do gerador é feita conforme indicado no item 4.2.2.2. A potência do gerador será especificada considerando-se a temperatura do meio ambiente, normalmente 40°C, e a temperatura máxima permitida pela classe de isolamento utilizado.

O projeto e fabricação das máquinas devem obedecer às Normas Brasileiras e/ou normas internacionais como IEC, ANSI, VDE, ou outras aplicáveis.

##### 4.2.4.1.2 Determinação do Número de Pólos para a Frequência de 60 Hz.

A partir do estabelecimento da velocidade nominal recomendada para a turbina, obtém-se o número de pólos e a velocidade nominal síncrona para a frequência de 60 Hz. Este processo se aplica a geradores acionados diretamente pela turbina.

<u>rpm</u>	<u>nº de pólos</u>
360	20
400	18
450	16
514,28	14
600	12
720	10
900	8
1200	6
1800	4

Quando o acionamento direto do gerador resultar anti-econômico, emprega-se o acionamento indireto do gerador, através de correia ou multiplicador de velocidade. Usualmente utiliza-se, em acionamento indireto, geradores de 4 pólos.

##### 4.2.4.1.3 Determinação da Tensão de Geração

O fornecedor deverá recomendar a tensão mais econômica para o gerador de potência definida no item 4.2.4.1.1, entre os valores usuais utilizados pelos fabricantes de geradores, compatível com a instalação do usuário.

##### 4.2.4.1.4 Sistema de Excitação

O sistema de excitação deve ser capaz de manter a tensão nos ter

minais do gerador dentro de uma faixa razoável de regulação de tensão, nas condições normais de operação, em vazio, em carga e durante a rejeição de carga. A faixa de regulação de tensão deve estar de acordo com as normas da ABNT, ANSI, IEC, etc. e deverá ser garantida pelo fornecedor dentro das condições operativas aqui indicadas.

Deve-se dar preferência a geradores capazes de fornecer sua própria excitação inicial, como por exemplo, o tipo de excitação sem escovas (brush-less).

#### 4.2.4.1.5 Aterramento do Neutro do Gerador

O enrolamento do estator deverá ser ligado em estrela com neutro acessível. No tocante ao método de aterramento mais adequado para o neutro do gerador, a praxe é a de seguir a recomendação do fornecedor do mesmo, incluindo no fornecimento os dispositivos e equipamentos necessários. O aterramento deverá levar em consideração o valor da corrente de defeito monofásico, necessário à operação do sistema de proteção definido no item 4.2.4.3.

#### 4.2.4.1.6 Fator de Potência

O fator de potência do gerador será definido de acordo com as características das cargas a serem acionadas. Para pequenos sistemas isolados recomenda-se especificar o fator de potência 0,8 para o gerador.

#### 4.2.4.1.7 Sobrevelocidade

O gerador deverá ser dimensionado para suportar a maior sobre-velocidade de disparo, em função das características da turbina.

#### 4.2.4.1.8 Serviços Auxiliares

Os serviços auxiliares de corrente alternada, quando necessários, poderão ser alimentados diretamente dos terminais do gerador, através de transformador abaixador ou não, ou através de qualquer fonte externa.

Os serviços auxiliares de corrente contínua poderão ser fornecidos por um conjunto de baterias e carregadores, na tensão adequada ao acionamento das bobinas de disparo de disjuntores e aos relés de proteção (24, 48 ou 125 VCC).

#### 4.2.4.2 Quadros de Comando

Os instrumentos de medição e os dispositivos de controle, necessários para a operação do gerador, devem ser montados nos cubículos de manobra do gerador ou em um quadro de comando independente.

Na figura do ANEXO 4.2.4/C apresenta-se um quadro de comando típico contendo os equipamentos mostrados nos diagramas unifilares dos ANEXOS 4.2.4/A/B. O fornecedor deverá recomendar os instrumentos e dispositivos mínimos necessários à operação do gerador.

#### 4.2.4.3 Dispositivos de Proteção

Para proteção dos geradores contra falhas elétricas apresenta-se abaixo as seguintes alternativas:

- para potência inferior a 300 kW deverá ser utilizado disjuntor em caixa moldada com dispositivo termo-magnético ajustável;
- para potência igual ou superior a 300 kW, é recomendável, como proteção mínima, a utilização de relés de sobrecorrente com travamento por tensão (51 V) e relés para proteção contra sobrecarga (49);
- poderão ser utilizadas opcionalmente (dependendo de: tipo de excitação, tipo de aterramento, nível da tensão de geração, comprimento de linha, importância do gerador e disponibilidade financeira) as seguintes proteções: diferencial (87), sobre tensão (59), sobrecorrente de terra (51G) e seqüência negativa (46).

Para proteção do gerador contra sobretensões de origem atmosférica, deve-se considerar os seguintes casos:

- 1) Conexão direta do gerador à linha de alimentação
- 2) Conexão do gerador à linha de alimentação através de cabos isolados.
- 3) Conexão do gerador à linha de alimentação através de transformador.

No primeiro caso recomenda-se a instalação de pára-raios tipo distribuição na linha e pára-raios especiais e capacitores junto aos terminais do gerador, conforme indicado no ANEXO 4.2.4/D, figura a.

No segundo caso recomenda-se a instalação de pára-raios do tipo distribuição na linha, junto aos terminais do cabo isolado e pára-raios do tipo especial e capacitores nos terminais do gerador, conforme mostrado na figura b do ANEXO 4.2.4./D.

No terceiro caso recomenda-se a instalação de pára-raios tipo distribuição junto ao transformador elevador e pára-raios do tipo especial e capacitores nos terminais do gerador, conforme mostrado na figura c do ANEXO 4.2.4/D.

Neste caso, para gerador com tensão de geração igual ou inferior a 600 V, pode-se dispensar o emprego de pára-raios e capacitores nos terminais do gerador.

Observe-se que o disposto aqui com relação a dispositivos de proteção diz respeito a centrais funcionando em sistema isolado.



TABELA 4.2.4/I

TENSÃO DO GERADOR ENTRE-FASES (V)	PARA INSTALAÇÃO NOS TERMINAIS DO GERADOR					PARA INSTALAÇÃO NA LINHA				
	CAPACITOR DE PROTEÇÃO (1)					PÁRA-RAIOS TIPO DISTRIBUIÇÃO				
	TENSÃO (V)	µ F por Fase	Nº Unid. Monof.	Tensão - (V)		Nº Unid. Monof.	Tensão - (V)		Nº Unid. Monof.	
			Sistema não Ater. ou Resistor	Sistema Efetivamente Aterrado		Sistema não Ater. ou Resistor	Sistema Efetivamente Aterrado			
0 - 650	0-650	1,0	3 (2)	650	650	3 (2)	650	650	3	
2.400	2.400	0,5	3 (2)	3.000	3.000	3	3.000	3.000	3	
4.160	4.160	0,5	3 (2)	4.500	3.000	3	6.000	3.000 (3)	3	
4.800	4.800	0,5	3	6.000	4.500	3	6.000	6.000	3	
6.900	6.900	0,5	3	7.500	6.000	3	9.000	6.000	3	
11.500	11.500	0,25	3	12.000	9.000	3	12.000	9.000	3	
13.800	13.800	0,25	3	15.000	12.000	3	15.000	12.000	3	

Observações: (1) Não é necessário para gerador com uma espira por bobina.

(2) Uma unidade trifásica é usualmente utilizada.

(3) O uso de pára-raios de tensão nominal de 3000V em sistema de 4.160 V requer um  $X_0$  menor do que o requerido para um sistema efetivamente aterrado.

#### 4.2.4.4 Subestação

As subestações para minicentraís hidrelétricas podem ser instaladas na casa de força ou ao tempo. As subestações podem ser para instalação abrigada ou ao tempo, podendo ser do tipo blindada ou convencional.

Para o dimensionamento do transformador recomenda-se a escolha da potência do transformador igual à potência máxima do gerador, em kW. A tensão nominal do primário deve ser igual à tensão de geração, e a tensão nominal do secundário igual à tensão adotada para a linha de alimentação.

O transformador não deverá utilizar fluído isolante que seja tóxico e poluente.

Para dimensionamento dos equipamentos de manobra, será necessário que sejam calculadas as correntes de curto-circuito e as correntes de carga e estabelecido o nível de isolamento, para a classe de tensão nominal da subestação.

O método de cálculo das correntes de curto-circuito trifásico para dimensionamento dos equipamentos na tensão de geração é o seguinte:

$$I_{cc} = \frac{I_n}{X''_d}$$

onde:

$I_n$  = corrente nominal do gerador, em Ampères

$X''_d$  = reatância subtransitória de eixo direto do gerador, por unidade.

Para equipamentos instalados no lado de alta tensão do transformador, se utilizado, emprega-se a fórmula citada adicionando-se a reatância do transformador à reatância  $X''_d$  do gerador.

Para seleção das características dos equipamentos de manobra, devem ser consultados os catálogos atualizados dos fabricantes nacionais e as normas da ABNT aplicáveis para o caso.

#### 4.2.4.5 Ligação do Gerador à Subestação

A ligação do gerador à subestação poderá ser feita por meio de cabos isolados, cabos, barras e tubos sobre isoladores. Deve-se dar preferência a cabos isolados devido à simplicidade de instalação, a não ser que a energia a transportar resulte em corrente muito alta ou a distância a transportar seja muito grande.

Devem ser consideradas previamente as alternativas de instalação mais adequada de execução no local da obra (eletrodutos, bandejas, canaletas, etc.). O projeto da instalação deve obedecer aos requisitos da Norma NBR 5.410 da ABNT, particularmente na parte 5 e Anexo J.

Os cabos podem ser de cobre ou de alumínio, com 4 tipos básicos de isolamento. A capacidade de corrente de um cabo depende da temperatura suportada pelo isolamento. Conseqüentemente a seleção do cabo mais adequado envolve uma análise técnico-econômica dos parâmetros envolvidos (preço, facilidade de instalação, queda de tensão admissível, etc.). A capacidade de condução de corrente dos cabos consta das tabelas do Anexo J da NBR 5.410. Também deverão ser consultados os catálogos atualizados de fabricantes.

O dimensionamento de barramento nu (sem isolamento) assentado sobre isoladores é determinado por critérios técnicos, mecânicos e elétricos, e por este motivo as normas não apresentam tabelas de capacidade de condução de corrente em tubos e barras, uma vez que isto poderia induzir a aplicações inadequadas se se tratar apenas de um dos fatores envolvidos. Neste caso, recomenda-se consultar catálogos atualizados de fabricantes.

##### A) Dimensionamento dos cabos de interligação

Para o dimensionamento dos cabos devem ser levados em conta, além das características do próprio gerador, os seguintes parâmetros:

- temperatura ambiente do local da instalação - geralmente 30°C ou 40°C;
- tipo de instalação - geralmente eletrodutos, bandejas ou canaletas;
- seção dos cabos disponíveis e tipo de isolamento (para facilidade de instalação é recomendável limitar a seção em torno de 400 MCM ( 203 mm<sup>2</sup>)).

Face à grande variedade de tipos de cabos e modos de instalação, recomenda-se consultar sempre os catálogos mais recentes dos fabricantes.

Exemplo: dimensionar o cabo que liga o gerador à subestação e ao disjuntor do diagrama unifilar da figura constante no ANEXO 4.2.4/A, para um gerador de 300 kW, 380 V entre fases, trifásico,  $X'' = 0,14/\text{un.}$ , distância entre o gerador e a subestação = 30 m, ligação por meio de cabos com isolamento de PVC, instalados em eletrodutos.

$$I_n = \frac{300 \times 10^3}{380 \sqrt{3}} = 455 \text{ A}$$

Para atender a eventuais sobrecargas, os cabos devem ser dimensionados, segundo as normas, para suportar permanentemente  $1,25 I_n$ . No caso de instalação em eletrodutos deverão ser instalados 3 cabos, um de cada fase, por eletroduto, a fim de minimizar o aquecimento da instalação. Com base em catálogos de fabricantes, temperatura ambiente de  $40^\circ\text{C}$  e 3 cabos singelos no eletroduto, tem-se:

cabos 500 MCM ( $253 \text{ mm}^2$ )	- 385 ampères
400 MCM ( $203 \text{ mm}^2$ )	- 340 ampères
300 MCM ( $152 \text{ mm}^2$ )	- 285 ampères

Sendo a corrente a transportar de  $1,25 \times 455 = 570 \text{ A}$ , verifica-se que se tornam necessários, pelo menos, 3 eletrodutos, ou seja, 2 condutores por fase. Para levar em conta a proximidade dos eletrodutos, onde a dissipação térmica de um afeta os demais, introduz-se um fator de correção, que no caso em questão é 0,94 (2 eletrodutos em plano horizontal).

Para 2 cabos por fase temos:

$$\frac{570}{2 \times 0,94} = 303 \text{ A/cabo}$$

Portanto, seleciona-se 2 cabos de 400 MCM ( $203 \text{ mm}^2$ ) por fase.

. Verificação do limite térmico do cabo em regime de curto-circuito:

Cada cabo deve suportar os efeitos térmicos e dinâmicos devido à corrente de curto-circuito nos terminais do gerador, cujo valor está calculado a seguir:

$$I_{cc} = \frac{I_n}{X''_d} = \frac{455}{0,14} = 3250 \text{ A}$$

Observando-se os gráficos de fabricantes, verifica-se que o cabo 400 MCM ( $203 \text{ mm}^2$ ) suporta até 18 kA durante 2 segundos, tempo suficiente para que o curto-circuito seja eliminado.

. Verificação da queda de tensão:

De modo geral a queda de tensão entre o gerador e a subestação deve ser mantida o mais baixo possível, não ultrapassando 1%.

Neste caso calculou-se a queda de tensão a partir de tabelas padronizadas fornecidas pelos fabricantes ou por normas:

$$\text{corrente por cabo} \quad \frac{570}{2} = 285 \text{ A}$$

Para 30 m de distância  $285 \times 30 = 8550 \text{ A} \times \text{m}$ .

Consultando-se a tabela obtém-se  $\Delta V$  da ordem de 0,6% a 0,7%.

Conclusão: 2 cabos de 400 MCM ( $203 \text{ mm}^2$ ) por fase é aceitável.

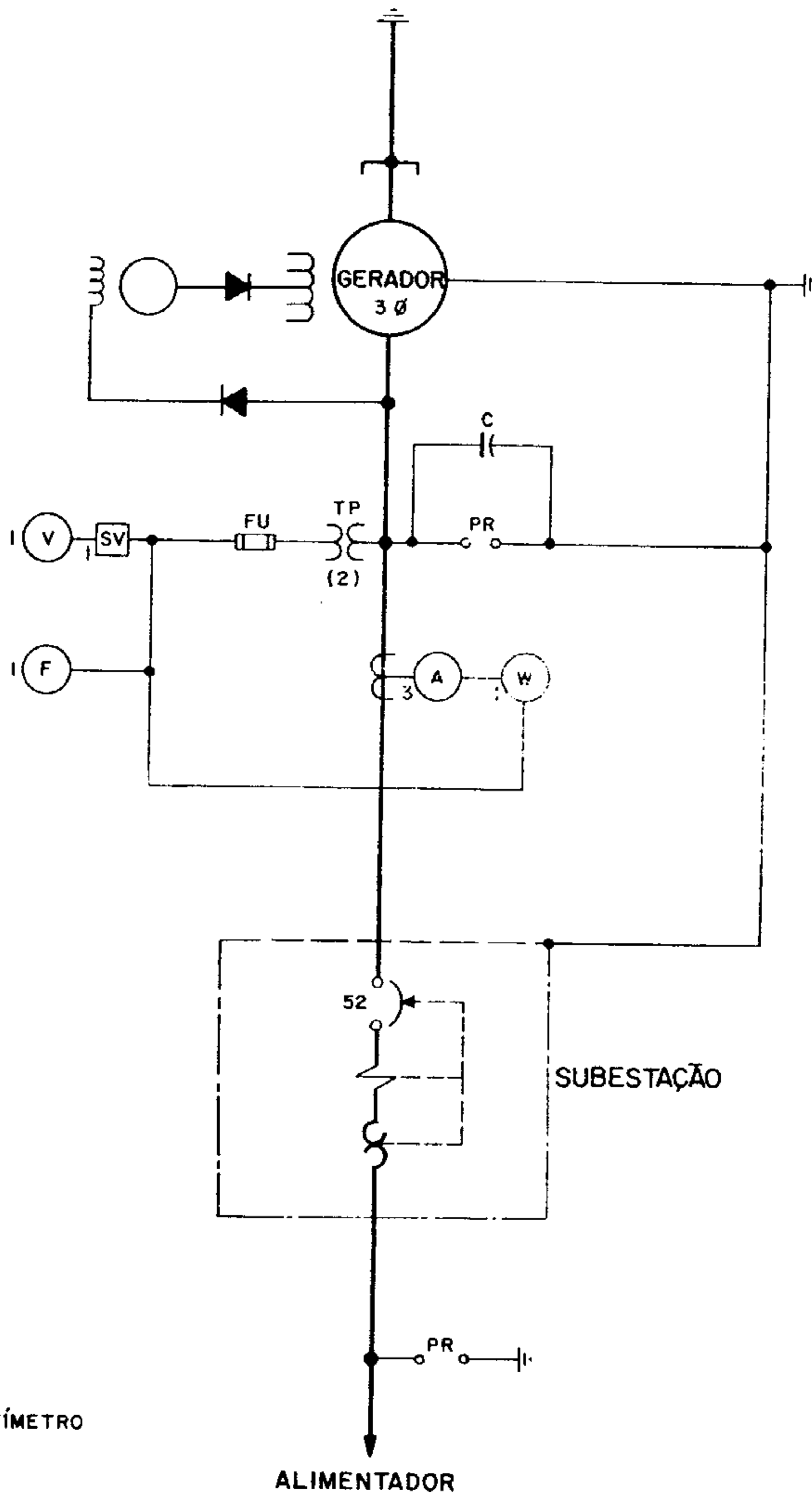
B) Dimensionamento do disjuntor

Os seguintes parâmetros básicos deverão ser considerados:

- tensão nominal
- corrente nominal
- capacidade de interrupção, simétrica, à tensão nominal

No caso de disjuntores de baixa tensão recomenda-se que a corrente nominal do disjuntor seja, no mínimo, igual a 125% da corrente solicitada pela carga, ou seja,  $1,25 \times 455 = 570 \text{ A}$ . Esta corrente define a carcaça do disjuntor (Frame Size), ou seja, o tamanho físico da carcaça, cujos valores são padronizados, tais como 400 A, 600 A, 800 A, etc. Consultando literatura de fabricantes nacionais, constata-se que poderá ser aplicado o disjuntor tipo NB, 600 V, carcaça 600 A - 3 pólos, corrente nominal 500 A, capacidade de interrupção simétrica, em 380 V, 35 kA.

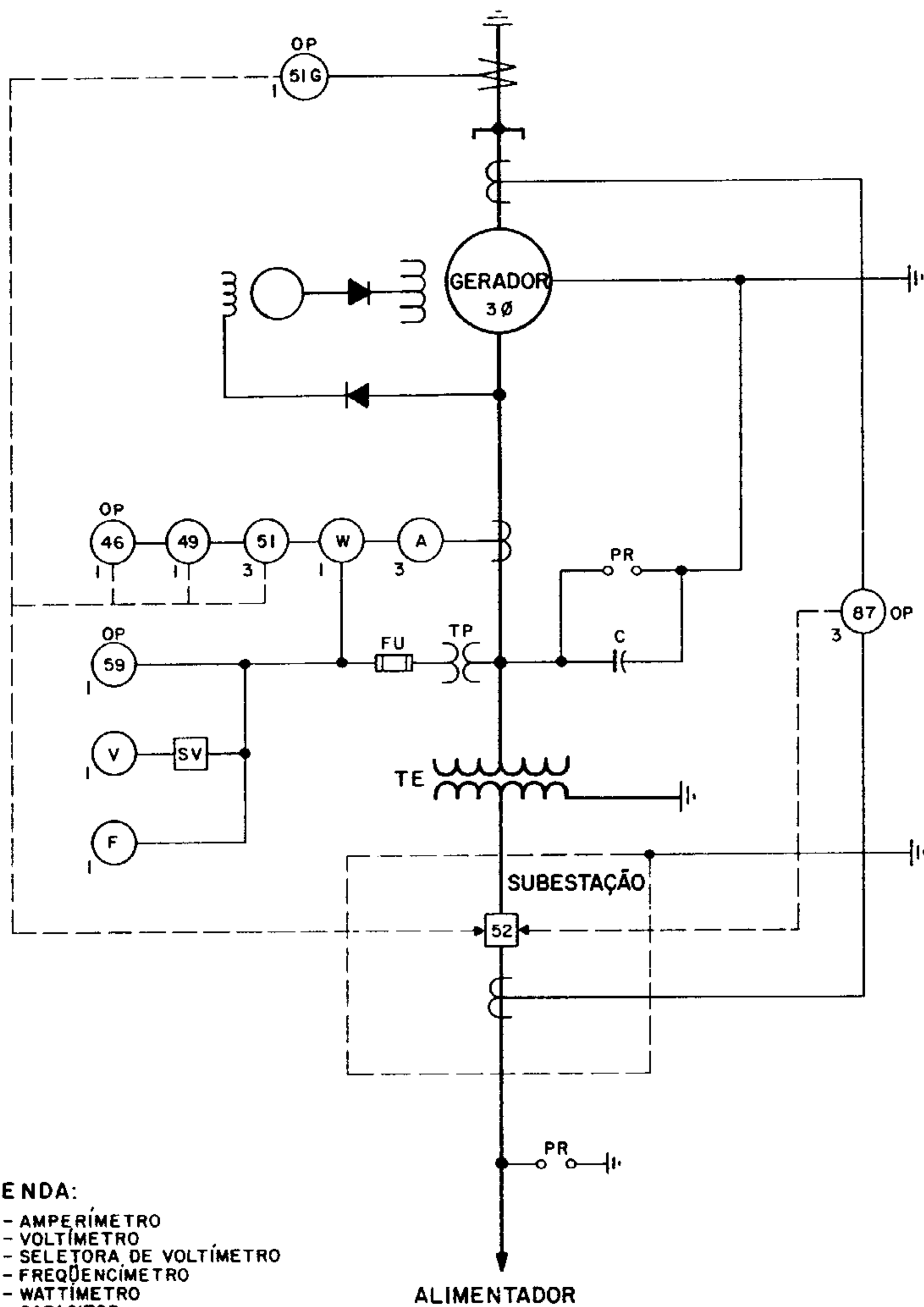
## GERADOR DE 100 - 300 kW



## LEGENDA:

- A - AMPERÍMETRO
- V - VOLTÍMETRO
- SV - SELETORA DE VOLTÍMETRO
- F - FREQUÊNCÍMETRO
- W - WATTÍMETRO
- C - CAPACITOR
- 52 - DISJUNTOR
- PR - PÁRA - RAIOS
- FU - FUSÍVEL
- TP - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

## GERADOR DE 300 - 1000kW

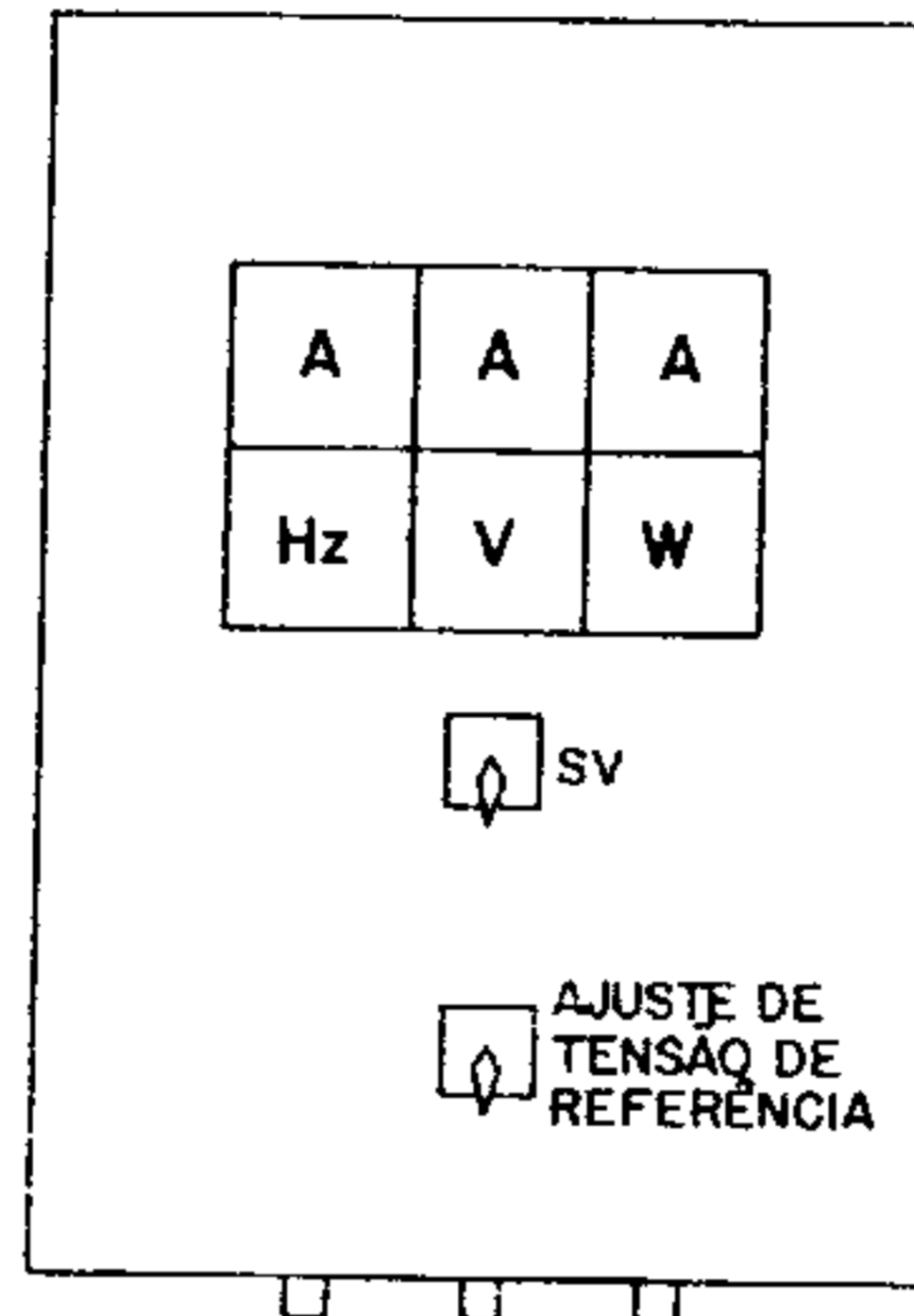


## LEGENDA:

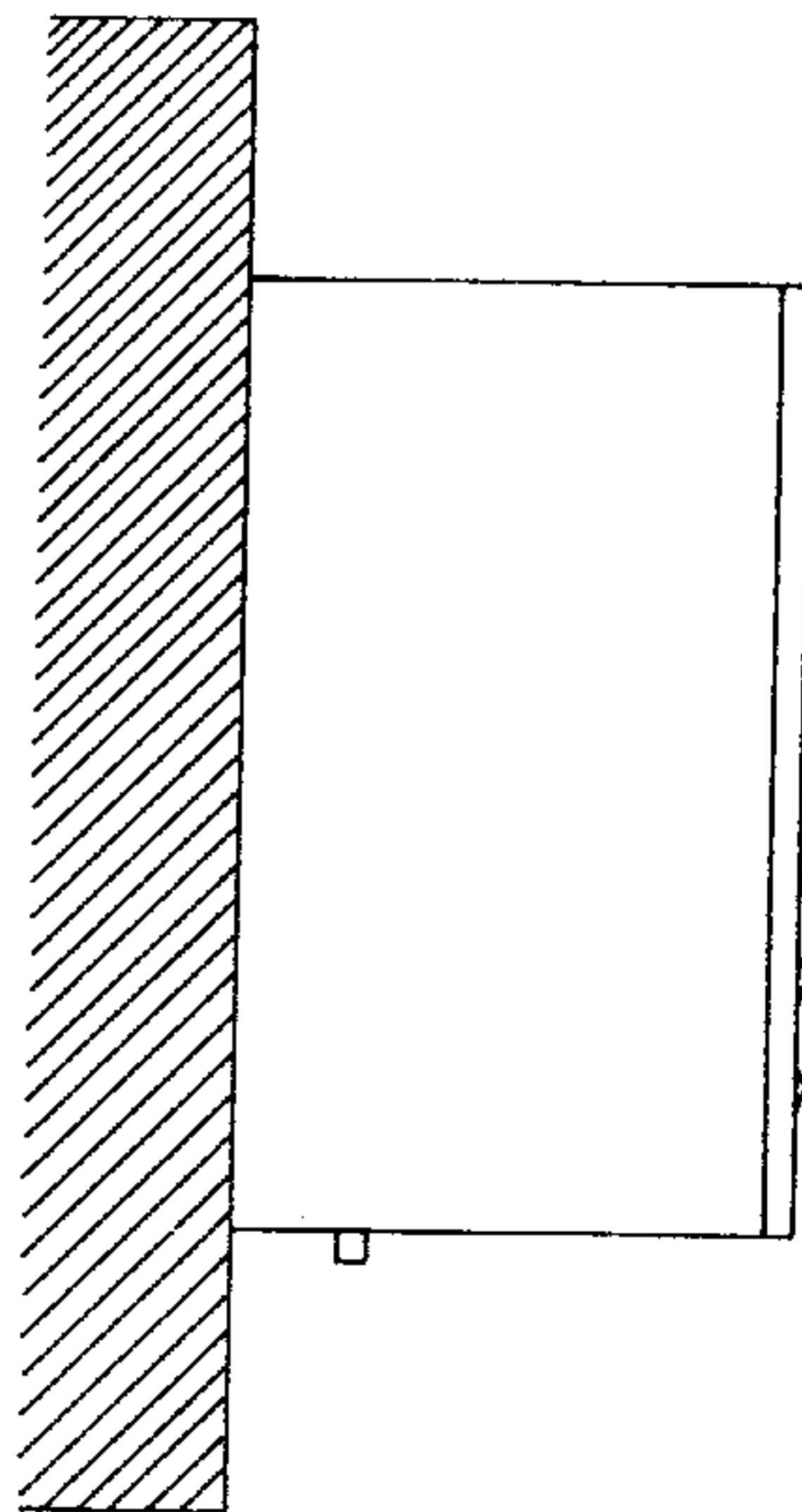
- A - AMPERÍMETRO
- V - VOLTÍMETRO
- SV - SELETORA DE VOLTÍMETRO
- F - FREQUÊNCÍMETRO
- W - WATTÍMETRO
- C - CAPACITOR
- PR - PARA - RAIOS
- FU - FUSIVEL
- TP - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
- TE - TRANSFORMADOR ELEVADOR
- 41 - DISJUNTOR DE CAMPO
- 46 - SEQUÊNCIA NEGATIVA
- 49 - SOBRECARGA
- 51 - SOBRECORRENTE
- 52 - DISJUNTOR
- 59 - SOBRETENSÃO
- 87 - DIFERENCIAL
- OP - OPCIONAL

VISTA FRONTAL

QUADRO DE COMANDO



VISTA LATERAL

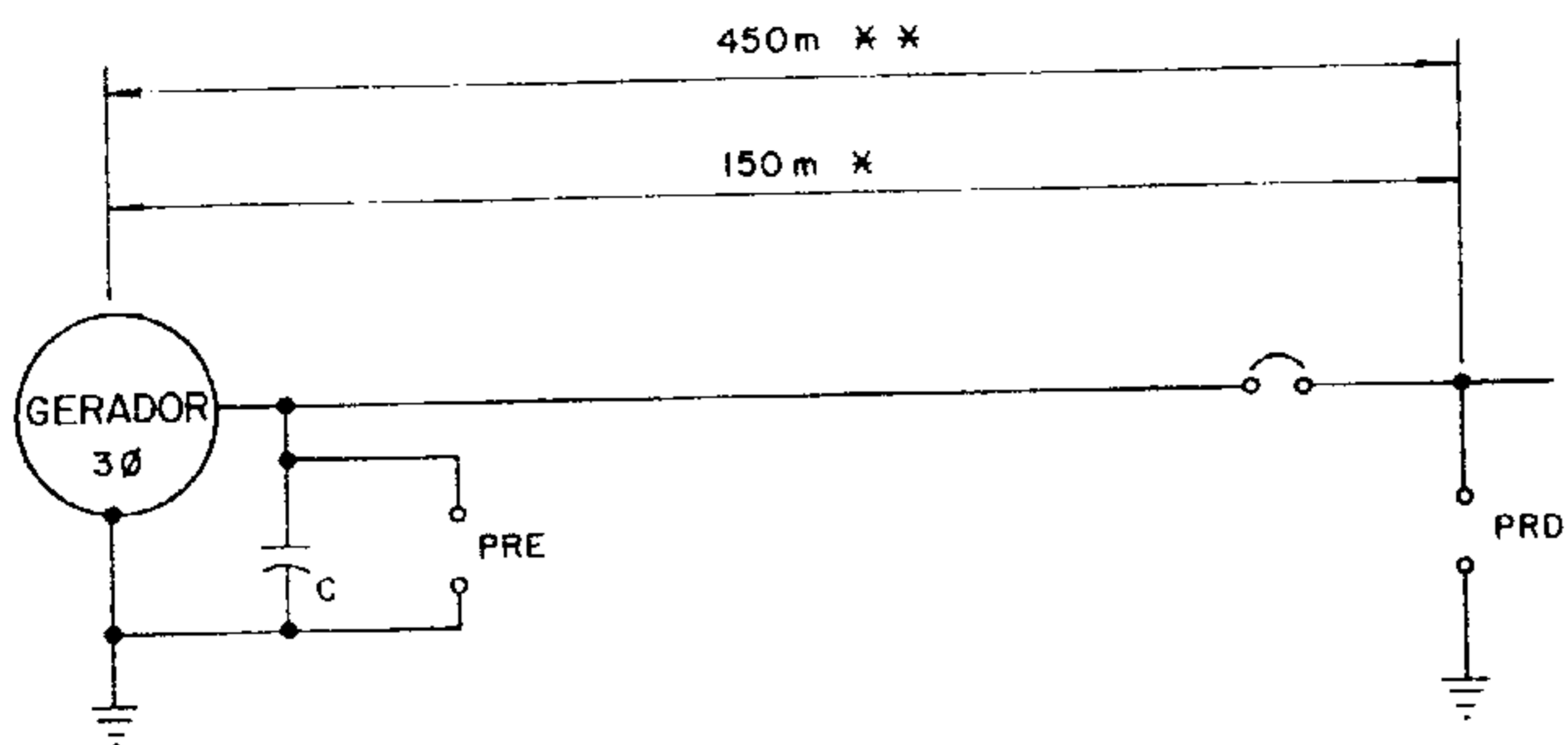


LEGENDA :

- A - AMPERÍMETRO
- Hz - FREQUÊNCÍMETRO
- V - VOLTÍMETRO
- W - WATTÍMETRO
- SV - SELETORA DE VOLTÍMETRO

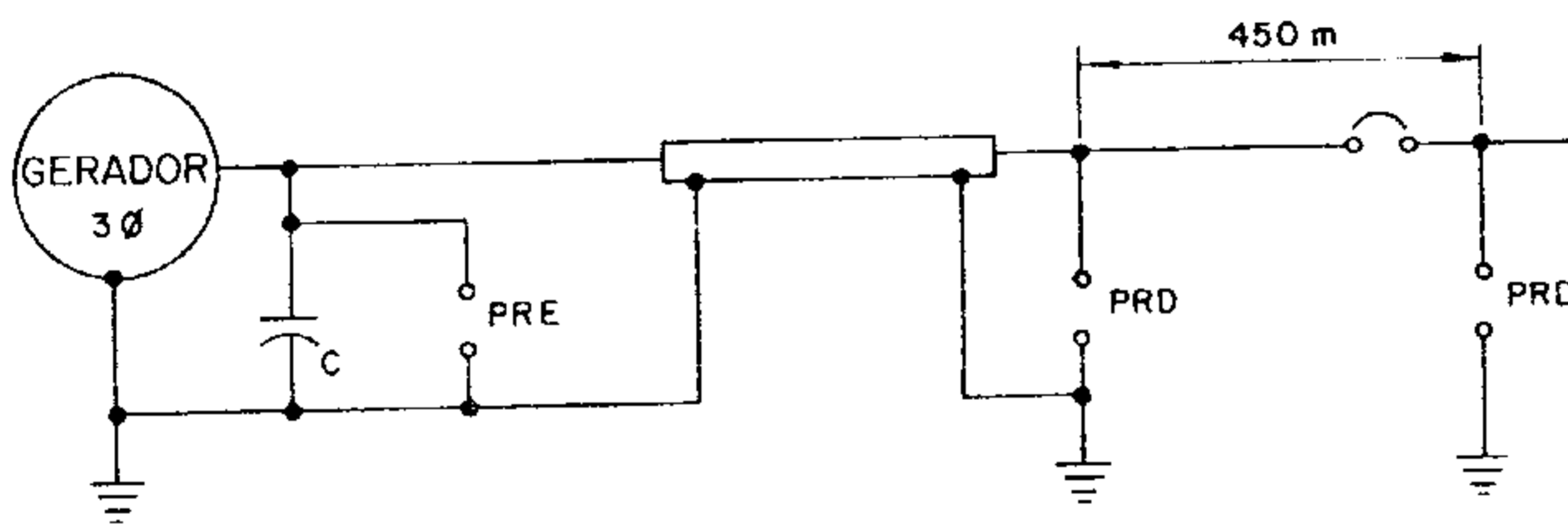


GERADOR DE 100 - 1000kW

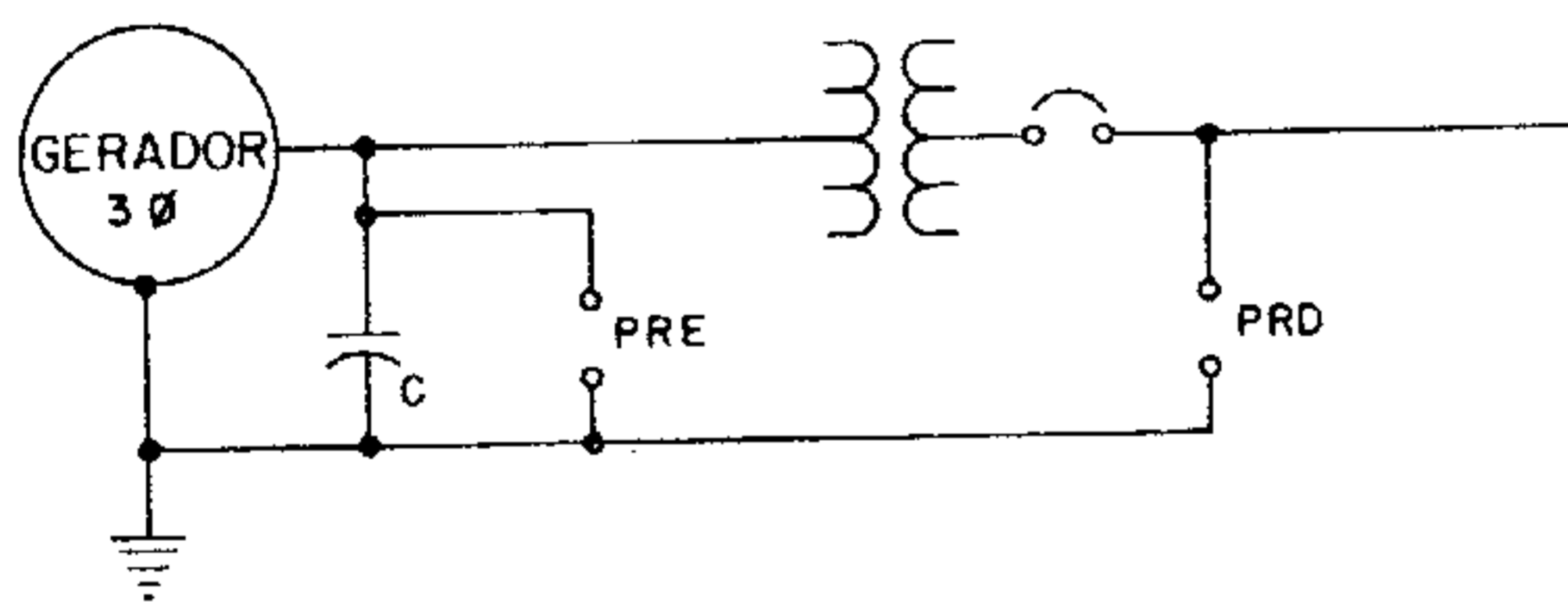


a - Gerador ligado diretamente à linha

\* - Para gerador com tensão menor que 2300 Volts  
 \*\* - Para gerador com tensão igual ou maior que 2300 Volts



b - Gerador ligado à linha através de cabo



c - Gerador ligado à linha através de transformador

Para tensão do gerador igual ou inferior a 600 V, pode-se dispensar os pára-raios e capacitores nos terminais do gerador.

LEGENDA

- C - CAPACITOR
- PRE - PÁRA-RAIO TIPO ESPECIAL
- PRD - PÁRA-RAIO TIPO DISTRIBUIÇÃO

Os elementos a serem utilizados no projeto da linha para conduzir a energia elétrica gerada até o local de consumo, são apresentados a seguir:

#### 1 - Tensão de Transmissão

A tensão de transmissão é função principalmente da potência a transmitir e do comprimento da linha. Outros elementos, como a queda de tensão, o fator de potência, frequência da corrente elétrica, temperatura ambiente, tipo do sistema de alimentação (monofásico ou trifásico) e as características e disposição dos condutores nas estruturas dos postes, também são parâmetros que entram no cálculo da tensão de transmissão.

As tensões de transmissão calculadas com os parâmetros acima mencionados servem apenas para a escolha das tensões padronizadas pelos fabricantes de equipamentos elétricos para transmissão de energia elétrica. Para a transmissão das potências abrangidas pelas minicentraís hidrelétricas (100 kW a 1000 kW), através dos condutores considerados neste Manual (AWG nºs 6, 4, 2, 1/0 e 2/0) a tensão padronizada pelos fabricantes de transformadores está na classe 15 kV, dentro da qual pode ser empregada a tensão de 13800 V.

Dentre as tensões de geração (110, 220 e 380 V) padronizadas pelos fabricantes de geradores, apenas a de 380 V poderia ser empregada diretamente para transmissão, porém em faixas restritas de potência (100/120 kW - cabo 1/0 e 100 / 400 kW - cabo 2/0) e por isso não foi considerada.

No passado, as tensões de 2300 V e 6600 V foram largamente empregadas em transmissão de energia elétrica e, como há ainda muito equipamento elétrico para essas tensões no interior do país, apesar de atualmente estarem fora de padronização, foram consideradas neste Manual.

#### 2 - Escolha do Cabo Condutor

A escolha do cabo condutor a ser utilizado na linha de alimentação depende dos seguintes parâmetros:

- P = potência a transmitir em kW
- U = tensão de transmissão na linha, em kV
- L = comprimento da linha, em km
- e% = queda de tensão na linha, em %
- D<sub>m</sub> = distância média geométrica dos condutores nos postes, em cm
- f = frequência da corrente elétrica, em Hz

$\cos \phi$  = fator de potência, em decimais

- características próprias do condutor a uma temperatura ambiente  $t = 0^\circ\text{C}$  e uma frequência  $f$ , como sejam:

$r_a$  = resistência ôhmica unitária à corrente alternada, em Ohms/km

$x_a$  = reatância indutiva unitária, em Ohms/km

$I_m$  = corrente máxima admissível no condutor, em A

$D_s$  = raio médio geométrico, em cm

encontrados nos catálogos dos fabricantes de condutores elétricos.

Em função dos parâmetros acima, a queda percentual de tensão  $e\%$  na linha de alimentação pode ser determinada pela seguinte equação:

$$e\% = \frac{KPL(r_a \cdot \cos \phi + x_a \cdot \sin \phi)}{10 U^2 \cos \phi}$$

sendo:

$K = 2$  nos sistemas monofásicos

$K = 1$  nos sistemas trifásicos

Desta expressão, pode-se determinar qual a distância máxima  $L$  da linha para uma determinada queda percentual de tensão  $e\%$ , na transmissão de uma potência  $P$  na tensão  $U$  de transmissão, através de um determinado cabo elétrico, empregando-se a seguinte equação:

$$L = \frac{10 \cdot e\% \cdot U^2 \cos \phi}{KP(r_a \cos \phi + x_a \sin \phi)}$$

O fator de potência  $\cos \phi$  geralmente empregado é 0,8, o que resulta  $\sin \phi = 0,6$ . Para outros valores:

$$\sin \phi = \sqrt{1 - \cos^2 \phi}$$

Empregando-se os mesmos parâmetros já apresentados acima, pode-se calcular a perda de potência "percentual"  $p(\%)$ , através da seguinte fórmula:

$$p(\%) = \frac{PL r_a}{10 U^2 \cos^2 \phi}$$

As tabelas 4.2.4.6/VI a 4.2.4.6/XI apresentam os valores de L para diversas potências e tensões de transmissão para os condutores elétricos mais usados nos sistemas trifásicos de minicentrals hidrelétricas, para as condições normais de  $\cos \phi = 0,8$ ,  $e\% = 5$ ,  $f = 60$  Hz e  $t = 25^\circ\text{C}$  (temperatura ambiente) e para as disposições geométricas dos condutores conforme as estruturas adotadas para os postes ilustrados nos ANEXOS 4.2.4.6/A e 4.2.4.6/B.

Para outras condições de alimentação, não apresentadas nas referidas tabelas, um projetista poderá determinar os valores de  $e\%$  ou L calculando os valores de  $r_a$  e  $x_a$ , conforme apresentado a seguir:

- Determinação de  $r_a$ :

O valor da resistência ôhmica unitária  $r_a$  é obtido através de tabelas fornecidas pelos fabricantes de condutores elétricos, para diversas frequências e diferentes temperaturas ambiente.

As tabelas 4.2.4.6/II e 4.2.4.6/III apresentam esses valores para os tipos de condutores mais usados nos sistemas elétricos que estão sendo considerados.

- Determinação de  $x_a$ :

A determinação do valor de  $x_a$  pode ser feita através de dois modos, a saber:

a) Calculado pela equação:

$$x_a = 2,894 \times f \times 10^{-3} \times \log \frac{D_m}{D_s}$$

onde os valores de  $D_m$  e  $D_s$  dependem, respectivamente, da disposição geométrica dos condutores nos postes de sustentação e do tipo de condutor empregado, e são obtidos através das tabelas 4.2.4.6/V e 4.2.4.6/II, III, respectivamente.

b) Calculado pela equação:

$$x_a = x_{10} + x_d$$

onde:

$x_{10}$  = reatância indutiva unitária para  $D_m = 10$  cm, em Ohms/km

$x_d$  = fator de espaçamento da reatância indutiva para  $D_m \neq 10$  cm, em Ohms/km

Os valores de  $x_d$  estão apresentados nas tabelas 4.2.4.6/II e 4.2.4.6/III e  $x_{d10}$  na tabela 4.2.4.6/IV ou obtidos através da seguinte equação:

$$x_d = 0,1736 \log \frac{D}{m}$$

Nos estudos para transmissão de energia elétrica, para cada tipo de condutor é admitido o fluxo de uma corrente elétrica de valor máximo ( $I_m$ ) para cada temperatura ambiente.

Valores acima do valor  $I_m$  admitido provocam danos nos condutores.

Dessa forma, a potência máxima a ser transmitida através de um dado tipo de condutor fica limitada aos seguintes valores:

Sistemas monofásicos:  $P_{\max} = U I_m \cos \phi$

Sistemas trifásicos:  $P_{\max} = 1,732 U I_m \cos \phi$

Os valores das correntes máximas  $I_m$  admitidas para os diversos tipos de condutores das linhas consideradas neste capítulo estão apresentados nas tabelas 4.2.4.6/II e 4.2.4.6/III.

Para facilitar a escolha do cabo condutor a ser utilizado na linha de alimentação foram preparadas tabelas e uma fórmula, apresentadas a seguir:

a) Tabelas

As TABELAS 4.2.4.6/VI a 4.2.4.6/XI foram preparadas especificamente para as condições já mencionadas anteriormente e permitem determinar a tensão de transmissão e a bitola do cabo adequadas à transmissão de uma potência a uma determinada distância.

Conhecendo-se a potência a transmitir, procura-se nas linhas correspondentes ao valor P dessa potência, nas diversas tabelas, qual a distância máxima L de alimentação em projeto. A tensão de transmissão encontra-se assinalada no título da tabela e a bitola do cabo condutor, na parte superior da mesma.

b) Fórmula

Baseada nas equações clássicas para o projeto de linhas foi deduzida uma fórmula para a determinação da área da seção transversal do cabo condutor que deve ser escolhido. Nesta dedução adotou-se um único valor para a reatância indutiva unitária  $x_{10}$  para os cabos compreendidos entre os nºs 6 a 2/0, tanto para os cabos do tipo ASC como para os cabos ACSR. Essas simplificações

produzem erros máximos de + 2,5% nos valores das áreas encontradas, o que, no problema da escolha da bitola do cabo, não constitui transtornos, pois as áreas das seções transversais reais desses cabos, padronizadas e contíguas, têm entre si uma diferença de cerca de 60%.

A área A (em mm<sup>2</sup>) da seção transversal do cabo a ser escolhido pode ser determinada pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{28,81}{\frac{10 e\% U^2}{KPL} - \frac{\text{sen } \phi}{\text{cos } \phi} (x_{10} + x_d)}$$

sendo:

$$x_{10} = 0,2510 \Omega/\text{km} \text{ Para os cabos ASC ou CA}$$

$$x_{10} = 0,3200 \Omega/\text{km} \text{ Para os cabos ACSR ou CAA}$$

Como o cabo escolhido é padronizado e sempre o mais próximo do cabo "teórico" desejado, deve-se recalcular a queda de tensão percentual e% e o comprimento L da linha com os dados reais desse cabo.

### 3 - Exemplos

- a) Dentro das condições em que foram elaboradas as TABELAS 4.2.4.6/VI a 4.2.4.6/XI, determinar a tensão de transmissão trifásica e a bitola do cabo adequada à transmissão de uma potência de geração de 850 kW numa distância de 5800 m entre a central geradora e o centro de carga, através de uma linha com cabos de alumínio do tipo ACSR ou CAA.

$$\text{Dados: } P = 850 \text{ kW e } L = 5800\text{m} = 5,8\text{km}$$

Nas TABELAS 4.2.4.6/VI e 4.2.4.6/VII verifica-se que para as tensões de transmissão de 2300 V e 6600 V (não padronizadas) as distâncias máximas de transmissão são respectivamente apenas 407 m e 3355m, ambas para o cabo nº 2/0, não sendo assim suficientes.  
Procurando-se uma tensão maior de transmissão - 13800 V - TABELA 4.2.4.6/VIII - verifica-se que o cabo nº 4 tem capacidade suficiente para a transmissão de 850 kW a uma distância de 6400m.

Conclusão: A transmissão deverá ser feita numa tensão de 13800 V, numa linha construída com cabo ACSR nº 4.

Como o cabo escolhido (nº 4) permite a alimentação a uma distância de 6400m, maior que a desejada (5800m), a queda percentual de tensão e% será menor que a básica com que

foram elaboradas as tabelas (5%)

A queda percentual de tensão real será:

$$e\% = \frac{KPL (r_a \cos \phi + x_a \operatorname{sen} \phi)}{10 U^2 \cos \phi}$$

Onde:

$K = 1$  (sistema trifásico)

$P = 850$  kW

$L = 5800$  m = 5,8 km

$U = 13800$  V = 13,8 kV

$\cos \phi = 0,8$  (dado básico das tabelas)

e:

$\operatorname{sen} \phi = 0,6$

$r_a = 1,362$   $\Omega/\text{km}$  - TABELA 4.2.4.6/III

$x_a$  = calculado conforme abaixo:

$$x_a = x_{10} + x_d$$

$x_{10} = 0,3257$   $\Omega/\text{km}$  - TABELA 4.2.4.6/III

$x_d = 0,1736 \log \frac{D_m}{10} = 0,1736 \log \frac{133,7}{10} = 0,1955$   $\Omega/\text{km}$

$D_m$  ver título da TABELA 4.2.4.6/VIII

$x_a = 0,3257 + 0,1955 = 0,5212$   $\Omega/\text{km}$

$$e\% = \frac{1 \times 850 \times 5,8 (1,362 \times 0,8 + 0,5212 \times 0,6)}{10 \times 13,8^2 \times 0,8} = 4,54\%$$

- b) Verificar a escolha do cabo adequado no problema anterior, determinando a área da seção transversal do mesmo para a transmissão em 13800 V.

$$A = \frac{28,81}{\frac{10 e\% U^2}{KPL} - \frac{\operatorname{sen} \phi}{\cos \phi} (x_{10} + x_d)}$$

onde:

$$e\% = 5$$

$$U = 13,8 \text{ kV}$$

$$K = 1$$

$$P = 850 \text{ kW}$$

$$L = 5,8 \text{ km}$$

$$\cos \phi = 0,8 \text{ (sen } \phi = 0,6)$$

$$x_{10} = 0,3200 \text{ (cabos ACSR) Ohms/km}$$

$$x_d = 0,1955 \text{ (calculado como já visto) Ohms/km}$$

$$A = \frac{28,81}{\frac{10 \times 5 \times 13,8^2}{1 \times 850 \times 5,8} - \frac{0,6}{0,8} (0,3200 + 0,1955)} = 18,65$$

O cabo de área de seção transversal mais próximo é o cabo nº 4 ( $A = 21,15 \text{ mm}^2$ ), o que confirma a escolha feita no problema anterior.

- c) Sabendo-se que o cabo nº 4 é de bitola superior à necessária e que, em consequência, permite a transmissão com queda de tensão percentual  $e\% = 5$  numa distância maior ( $L = 6,4 \text{ km}$ ), verificar a sua área real da seção transversal constante na TABELA 4.2.4.6/I.

$$A = \frac{28,81}{\frac{10 \times 5 \times 13,8^2}{1 \times 850 \times 6,4} - \frac{0,6}{0,8} (0,3200 + 0,1955)} = 21,13$$

o que verifica a exatidão dos resultados dos problemas anteriores.

- d) Calcular a perda de potência percentual de uma linha com as seguintes características:

Potência a transmitir	$P = 300 \text{ kW}$
Comprimento da linha	$L = 2 \text{ milhas} = 3,218 \text{ km}$
Cabo 2/0 - 6 fios - ACSR	$r_a = 0,427 \text{ Ohm/km}$
Tensão entre fases	$U = 2,3 \text{ kV}$
Fator de potência	$\cos \phi = 0,8$

$$p (\%) = \frac{PL r_a}{10 U^2 \cos^2 \phi} = \frac{300 \times 3,218 \times 0,427}{10 \times 2,3^2 \times 0,8^2} = 12,18\%$$



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS CABOS CONDUTORES

TABELA 4.2.4.6/I

BITOLA		CABOS DE ALUMÍNIO (CA)					CABOS DE ALUMÍNIO C/ALMA DE AÇO (CAA)						
AWG	mm <sup>2</sup>	FORMAÇÃO		Diâmetro externo mm	Carga de ruptura kgf	Peso total kgf/km	FORMAÇÃO				Diâmetro externo mm	Carga de ruptura kgf	Peso total kgf/km
		Nº de fios	Diâm.do fio(mm)				Nº de fios		Diâm.fio(mm)				
							Al.	Aço	Al.	Aço			
6	13,30	7	1,55	4,65	254	36,3	6	1	1,68	1,68	5,04	542	53,7
4	21,15	7	1,96	5,88	394	57,7	6	1	2,12	2,12	6,36	846	85,4
2	33,62	7	2,47	7,41	607	91,8	6	1	2,67	2,67	8,01	1269	135,9
1/0	53,51	7	3,12	9,36	893	146,1	6	1	3,37	3,37	10,11	1992	216,1
2/0	67,44	7	3,50	10,50	1127	184,2	6	1	3,78	3,78	11,34	2392	272,5

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS CABOS CONDUTORES CA OU ASC

TABELA 4.2.4.6/II

BITOLA DO CABO	D <sub>s</sub>	TEMPERATURA AMBIENTE 25°C			TEMPERATURA AMBIENTE 40°C			x 10
		r <sub>cc</sub>	I <sub>m</sub>	r <sub>a</sub>	r <sub>cc</sub>	I <sub>m</sub>	r <sub>a</sub>	
AWG	cm	Ω/km	A	Ω/km	Ω/km	A	Ω/km	Ω/km
6	0,1695	2,178	110	2,178	2,309	91	2,309	0,3075
4	0,2134	1,369	145	1,369	1,451	119	1,451	0,2901
2	0,2688	0,861	195	0,861	0,912	160	0,912	0,2727
1/0	0,3386	0,541	265	0,541	0,574	218	0,574	0,2553
2/0	0,3801	0,429	305	0,429	0,455	246	0,455	0,2466

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS CABOS CONDUTORES CAA OU ACSR

TABELA 4.2.4.6/III

BITOLA DO CABO	D <sub>s</sub>	TEMPERATURA AMBIENTE 25°C			TEMPERATURA AMBIENTE 40°C			x 10
		r <sub>cc</sub>	I <sub>m</sub>	r <sub>a</sub>	r <sub>cc</sub>	I <sub>m</sub>	r <sub>a</sub>	
AWG	cm	Ω/km	A	Ω/km	Ω/km	A	Ω/km	Ω/km
6	0,1201	2,167	100	2,167	2,297	89	2,297	0,3335
4	0,1332	1,362	140	1,362	1,444	124	1,444	0,3257
2	0,1274	0,857	180	0,857	0,909	164	0,909	0,3290
1/0	0,1359	0,538	230	0,538	0,570	214	0,570	0,3241
2/0	0,1554	0,427	270	0,427	0,453	249	0,453	0,3140

r<sub>cc</sub> = Resistência elétrica à corrente contínua.

FATOR DE ESPAÇAMENTO DA REATÂNCIA INDUTIVA -  $x_d$

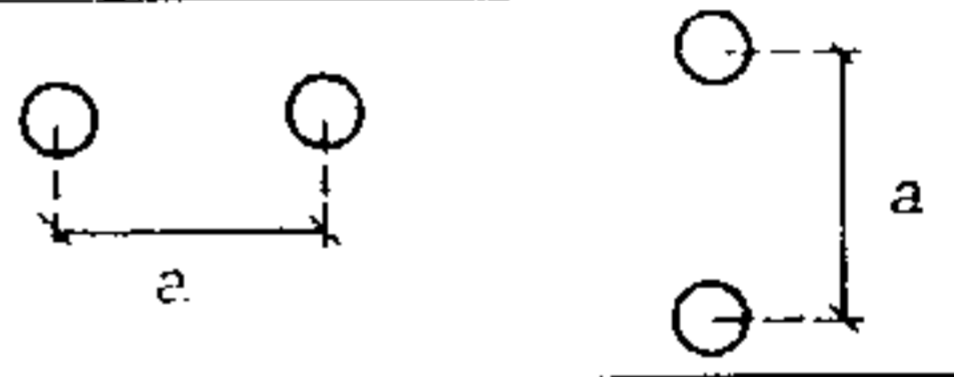
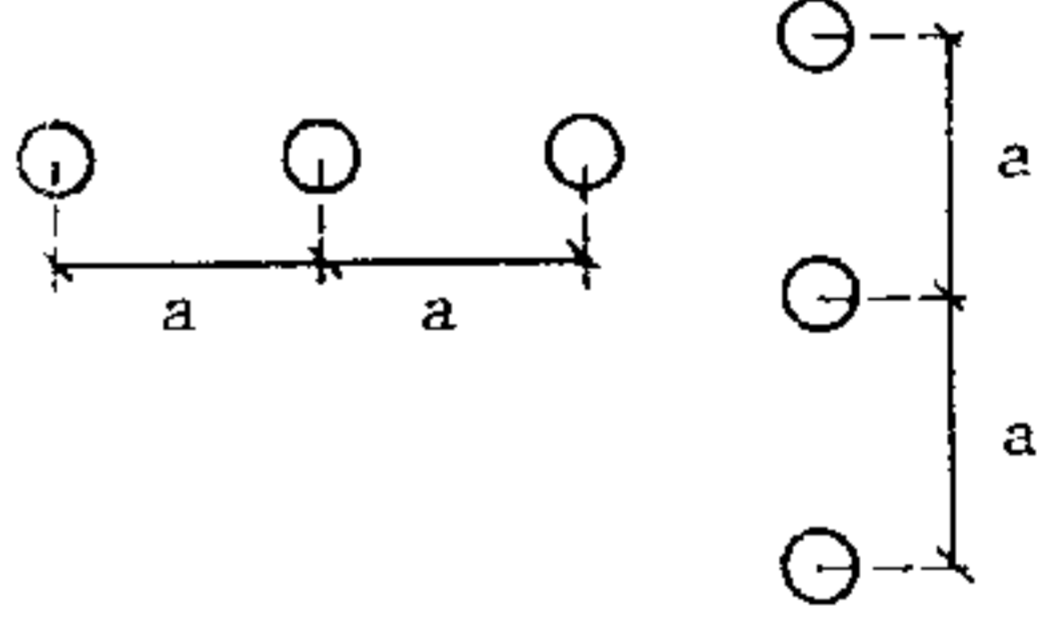
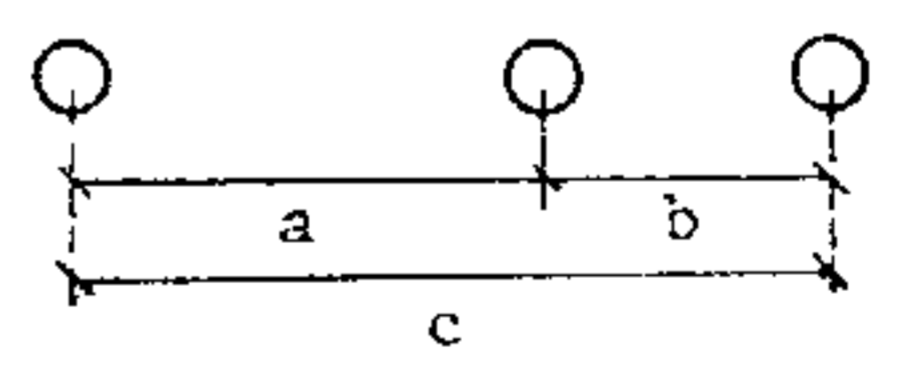
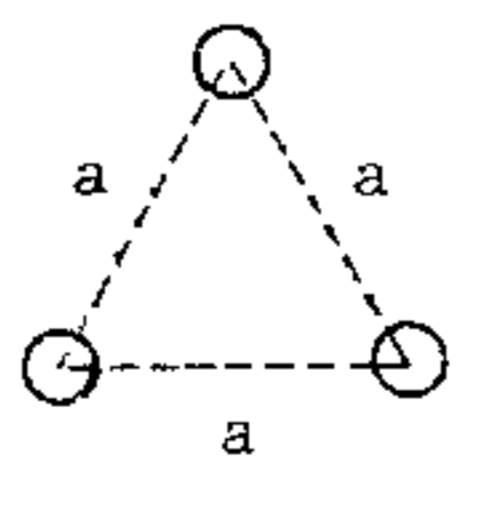
$$x_d = 0,1736 \log \frac{D_m}{10}$$

TABELA 4.2.4.6/IV

$D_m$ cm	$x_d - \Omega / \text{km}$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	-0,1736	-0,1213	-0,0908	-0,0691	-0,0523	-0,0385	-0,0269	-0,0168	-0,0079
10	0	0,0072	0,0137	0,0198	0,0254	0,0306	0,0354	0,0400	0,0443	0,0484
20	0,0523	0,0559	0,0594	0,0628	0,0660	0,0691	0,0720	0,0749	0,0776	0,0803
30	0,0828	0,0853	0,0877	0,0900	0,0923	0,0945	0,0966	0,0986	0,1007	0,1026
40	0,1045	0,1064	0,1082	0,1100	0,1117	0,1134	0,1151	0,1167	0,1183	0,1198
50	0,1213	0,1228	0,1243	0,1257	0,1271	0,1285	0,1299	0,1312	0,1325	0,1338
60	0,1351	0,1363	0,1376	0,1388	0,1400	0,1411	0,1423	0,1434	0,1445	0,1456
70	0,1467	0,1478	0,1488	0,1499	0,1509	0,1519	0,1529	0,1539	0,1549	0,1558
80	0,1568	0,1577	0,1586	0,1596	0,1605	0,1613	0,1622	0,1631	0,1640	0,1648
90	0,1657	0,1665	0,1673	0,1681	0,1689	0,1697	0,1705	0,1713	0,1721	0,1728
100	0,1736	0,1744	0,1751	0,1758	0,1766	0,1773	0,1780	0,1787	0,1794	0,1801
110	0,1808	0,1815	0,1821	0,1828	0,1835	0,1841	0,1848	0,1854	0,1861	0,1867

DISTÂNCIAS MÉDIAS GEOMÉTRICAS -  $D_m$

TABELA 4.2.4.6/V

SISTEMA	DISPOSIÇÃO DOS CONDUTORES	ESQUEMA	$D_m$
MONOFÁSICO	2 condutores em plano horizontal ou vertical, distantes de <u>a</u> .		a
TRIFÁSICO	3 condutores em plano horizontal ou vertical, igualmente espaçados de <u>a</u> .		1,26a
	3 condutores em plano horizontal, espaçados entre si de <u>a</u> , <u>b</u> e <u>c</u> .		$\sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}$
	3 condutores situados nos vértices de um triângulo equilátero, igualmente espaçados entre si de <u>a</u> .		a



ESCOLHA DA BITOLA DO CABO DA LINHA QUANTO À QUEDA DE TENSÃO  
 QUEDA DE TENSÃO = 5% SISTEMA TRIFÁSICO  
 FATOR DE POTÊNCIA = 0,8 TENSÃO = U = 6600 V  
 POSTE TIPO "D"  $D_m = 60$  cm.  
 CABO DE ALUMÍNIO REFORÇADO COM ALMA DE AÇO (ACSR) ou (CAA)

TABELA 4.2.4.6/VII

P (kW)	DISTÂNCIA MÁXIMA DE TRANSMISSÃO - L (m)				
	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
100	8648	12755	18074	24683	28514
110	7862	11595	16431	22439	25922
120	7207	10629	15061	20569	23762
130	6652	9811	13903	18987	21934
140	6177	9111	12910	17630	20367
150	5765	8503	12049	16455	19010
160	5405	7972	11296	15427	17821
170	5087	7503	10632	14519	16773
180	4805	7086	10041	13713	15841
190	4552	6713	9512	12991	15008
200	4324	6377	9037	12341	14257
220	3931	5798	8215	11219	12961
240	3603	5314	7531	10284	11881
260	3326	4906	6951	9493	10967
280	3089	4555	6455	8815	10184
300	2883	4252	6025	8228	9505
350	2471	3644	5164	7052	8147
400	2162	3189	4518	6171	7129
450	1922	2834	4016	5485	6337
500	1730	2551	3615	4937	5703
550	1572	2319	3286	4488	5184
600	1441	2126	3012	4114	4752
650	1330	1962	2781	3797	4387
700	1235	1822	2582	3526	4073
750	1153	1701	2410	3291	3802
800	1081	1594	2259	3085	3564
850	1017	1501	2126	2904	3355
900	961	1417	2008	2743	3168
950	-	1343	1902	2598	3002
1000	-	1275	1807	2468	2851





ESCOLHA DA BITOLA DO CABO DA LINHA QUANTO À QUEDA DE TENSÃO :  
 QUEDA DE TENSÃO = 5% SISTEMA TRIFÁSICO  
 FATOR DE POTÊNCIA = 0,8 TENSÃO = U= 6600 V  
 POSTE TIPO "D "  $D_m = 60$  cm.  
 CABO DE ALUMÍNIO REFORÇADO COM ALMA DE AÇO ( ASC ) ou ( CA )

TABELA 4.2.4.6./X

P (kW)	DISTÂNCIA MÁXIMA DE TRANSMISSÃO - L (m)				
	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
100	8677	12903	18666	26121	30450
110	7889	11731	16969	23747	27682
120	7231	10753	15555	21768	25375
130	6675	9926	14358	20093	23423
140	6198	9217	13333	18658	21750
150	5785	8602	12444	17414	20300
160	5423	8065	11666	16326	19031
170	5104	7590	10980	15366	17912
180	4821	7169	10370	14512	16917
190	4567	6791	9824	13748	16026
200	4339	6452	9333	13061	15225
220	3944	5865	8484	11873	13841
240	3616	5377	7777	10884	12687
260	3337	4963	7179	10047	11711
280	3099	4608	6666	9329	10875
300	2892	4301	6222	8707	10150
350	2479	3687	5333	7463	8700
400	2169	3226	4666	6530	7612
450	1928	2867	4148	5805	6767
500	1735	2581	3733	5224	6090
550	1578	2346	3374	4749	5536
600	1446	2151	3111	4354	5075
650	1335	1985	2872	4019	4685
700	1240	1843	2667	3732	4350
750	1157	1720	2489	3483	4060
800	1085	1613	2333	3265	3806
850	1021	1518	2196	3073	3582
900	964	1434	2074	2902	3383
950	-	1358	1965	2750	3205
1000	-	1290	1867	2612	3045

ESCOLHA DA BITOLA DO CABO DA LINHA QUANTO À QUEDA DE TENSÃO  
 QUEDA DE TENSÃO = 5%  
 FATOR DE POTÊNCIA = 0,8  
 POSTE TIPO "C"  $D_m = 133,7$  cm.  
 CABO DE ALUMÍNIO REFORÇADO COM ALMA DE AÇO (ASC) ou (CA)  
 SISTEMA TRIFÁSICO  
 TENSÃO = U = 13800 V

TABELA 4.2.4.6/XI

P (kW)	DISTÂNCIA MÁXIMA DE TRANSMISSÃO - L(km)				
	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
100	37,3	54,9	78,5	108,3	125,2
110	33,9	49,9	71,4	98,5	113,8
120	31,1	45,8	65,5	90,3	104,3
130	28,7	42,3	60,4	83,3	96,3
140	26,6	39,2	56,1	77,4	89,4
150	24,8	36,6	52,4	72,2	83,5
160	23,3	34,3	49,1	67,7	78,2
170	21,9	32,3	46,2	63,7	73,6
180	20,7	30,5	43,6	60,2	69,6
190	19,6	28,9	41,3	57,0	65,9
200	18,6	27,5	39,3	54,2	62,6
220	16,9	25,0	35,7	49,2	56,9
240	15,5	22,9	32,7	45,1	52,2
260	14,3	21,1	30,2	41,7	48,2
280	13,3	19,6	28,1	38,7	44,7
300	12,4	18,3	26,2	36,1	41,7
350	10,6	15,7	22,4	30,9	35,8
400	9,3	13,7	19,6	27,1	31,2
450	8,3	12,2	17,5	14,1	27,8
500	7,5	11,0	15,7	21,7	25,0
550	6,8	10,0	14,3	19,7	22,8
600	6,2	9,2	13,1	18,1	20,9
650	5,7	8,5	12,1	16,7	19,3
700	5,3	7,8	11,2	15,5	17,9
750	5,0	7,3	10,5	14,4	16,7
800	4,7	6,9	9,8	13,5	15,6
850	4,4	6,5	9,2	12,7	14,7
900	4,1	6,1	8,7	12,0	13,9
950	3,9	5,8	8,3	11,4	13,2
1000	3,7	5,5	7,9	10,8	12,5

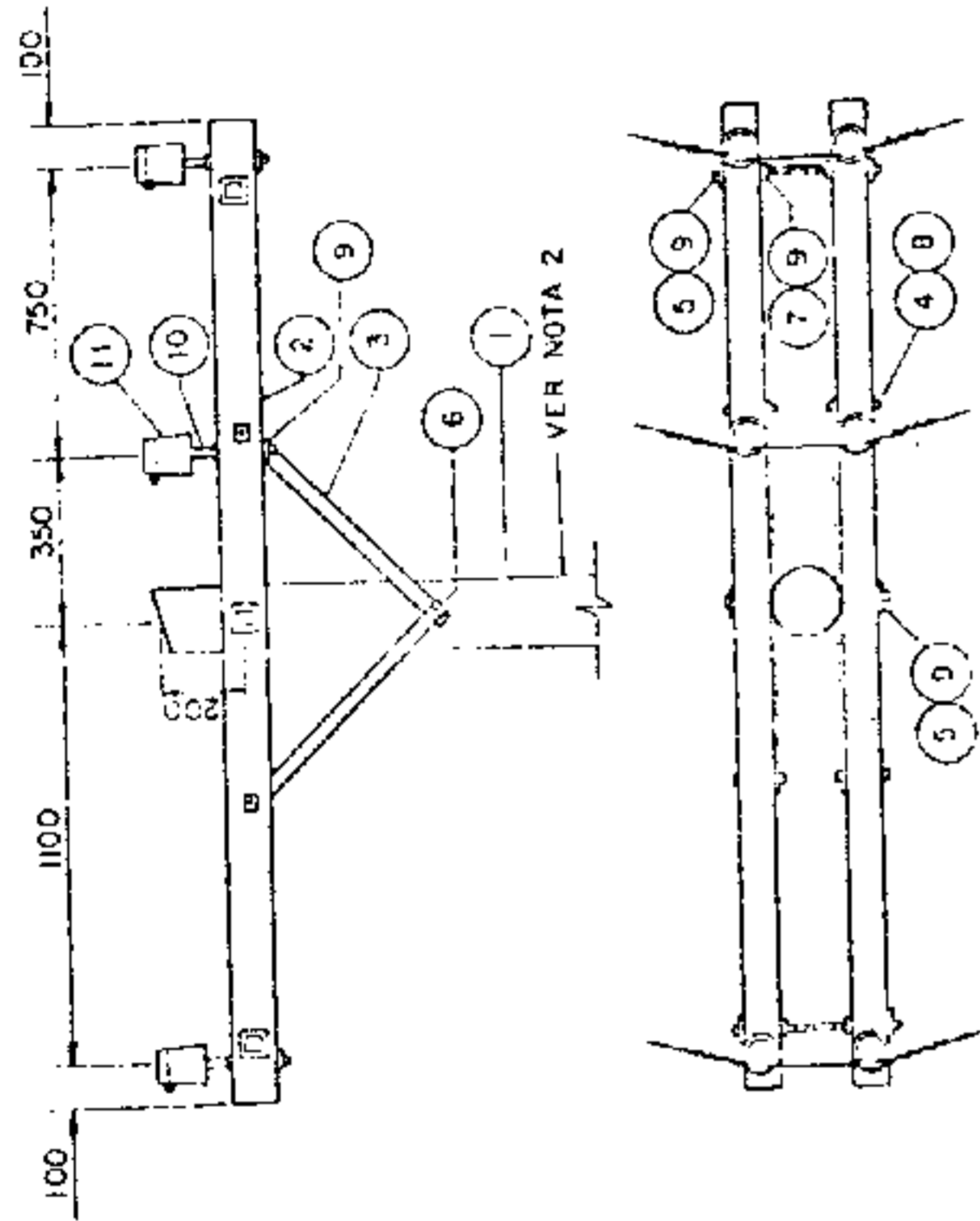


LISTA DE MATERIAL

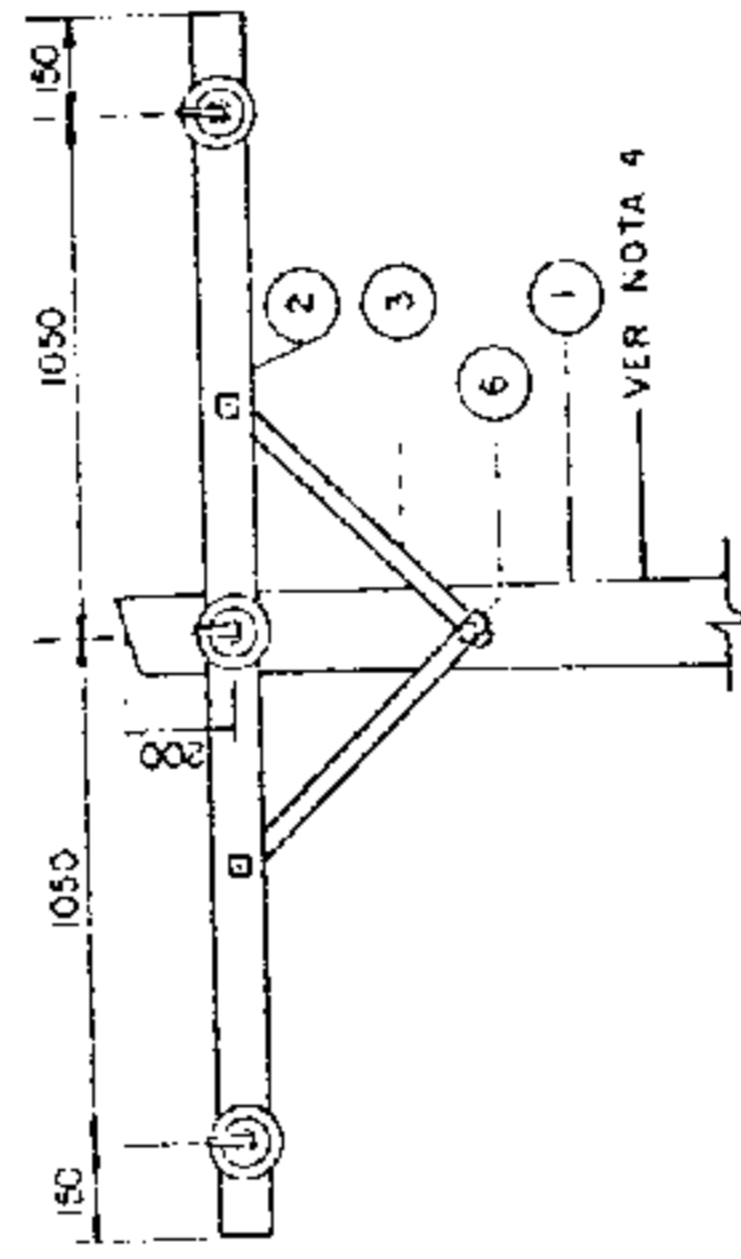
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADES			
		C1	C2	C3	C4
1	POSTE DE MADEIRA	1	1	1	1
2	CRUZETA DE MADEIRA	1	2	2	2
3	MÃO FRANCESA NORMAL	2	4	4	4
4	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 13 x 125mm	2	4	4	4
5	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 16x COMP ADEQUADO	1	3	3	3
6	PARAFUSO DE ROSCA SOBERBA	1	2	2	2
7	PRCA PARA PARAFUSO DE Ø 16mm	-	6	6	6
8	ARRUELA COM FURO DE Ø 16mm	2	4	4	4
9	ARRUELA COM FURO DE Ø 18mm	5	16	10	7
10	PINO DE CRUZETA	3	6	3	-
11	ISOLADOR DE PINO	3	6	3	-
12	OLHAL PARA PARAFUSO	-	-	-	6
13	GANCHO-OLHAL	-	-	-	6
14	GRAMPO TERMINAL	-	-	-	6
15	ISOLADOR DE SUSPENSÃO	-	-	-	12

NOTAS

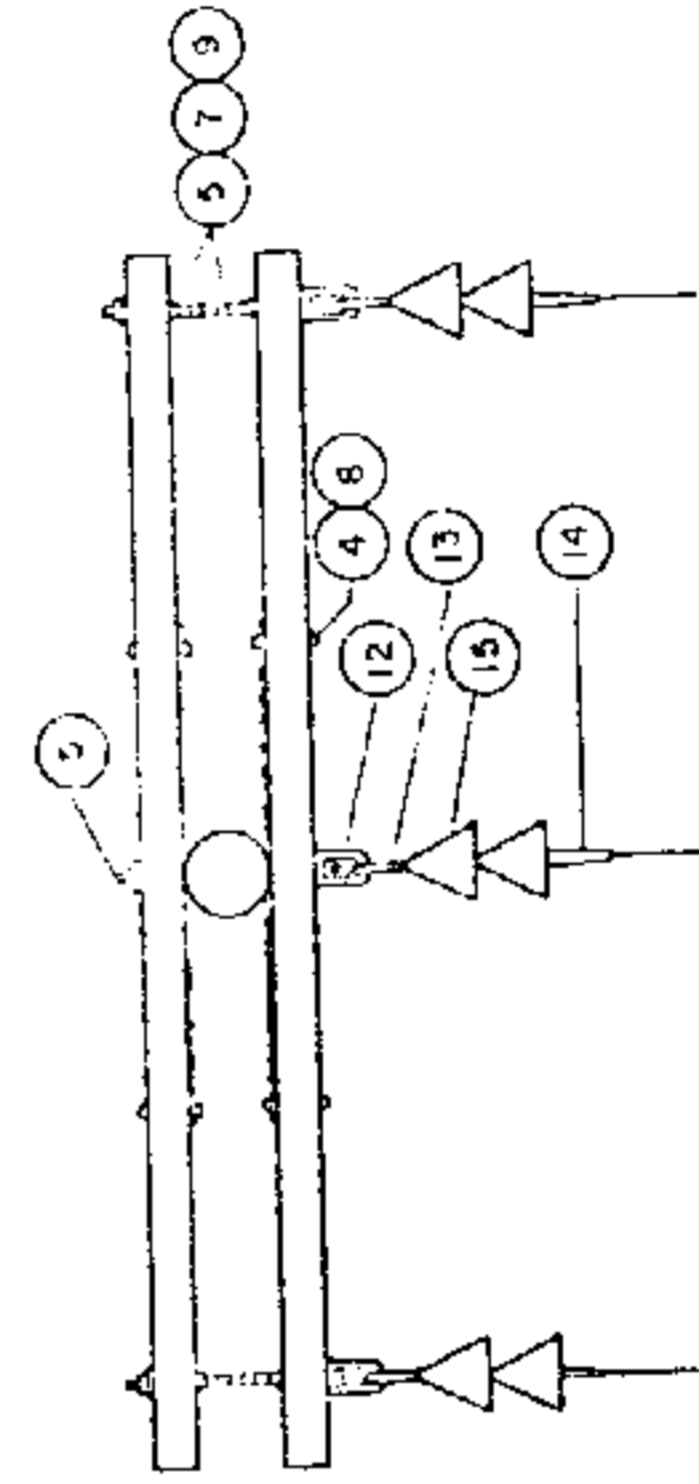
- 1- A ESTRUTURA TIPO C1 É USADA EM TANGENTE, PODENDO, TAMBÉM, SER EMPREGADA EM ÂNGULOS ATÉ 10°. NESTE CASO, A INSTALAÇÃO DOS CONDUTORES NOS ISOLADORES DEVERÁ SER FEITA LATERALMENTE.
- 2- A ESTRUTURA TIPO C2 É USADA EM ÂNGULOS 10° < α < 30°.
- 3- A ESTRUTURA TIPO C3 É USADA EM ÂNGULOS ATÉ 60°.
- 4- A ESTRUTURA TIPO C4 É DE FIM DE LINHA.
- 5- TODAS AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILÍMETROS.



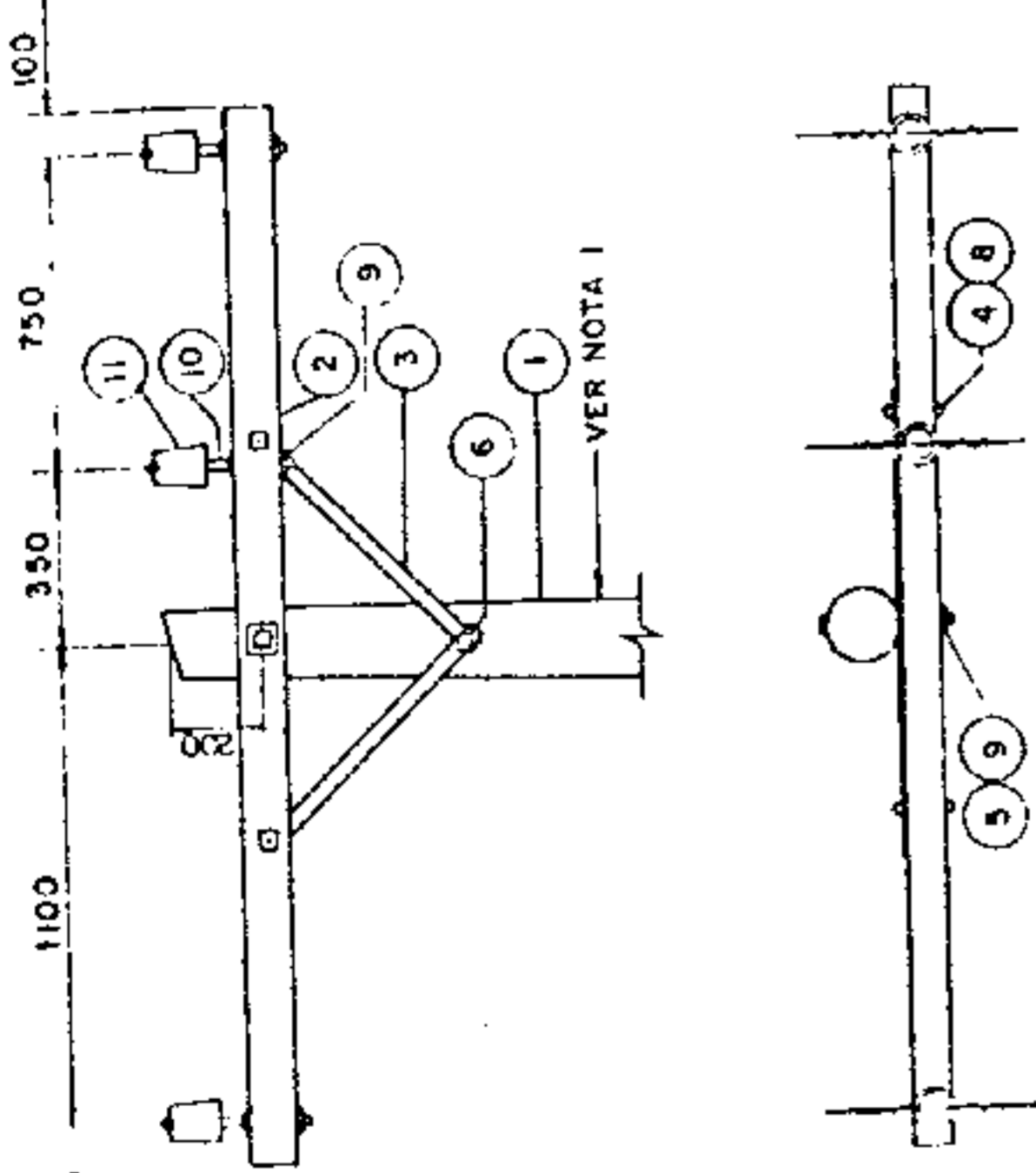
ESTRUTURA C2



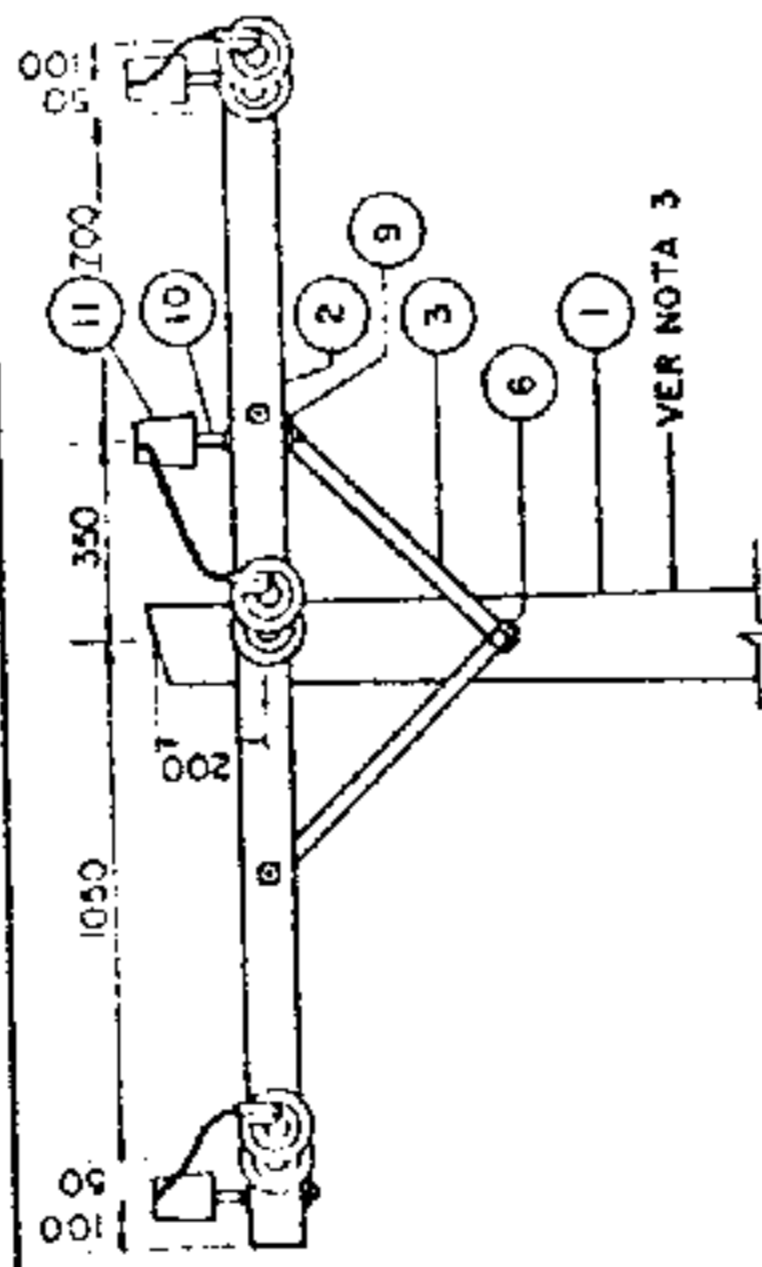
VER NOTA 4



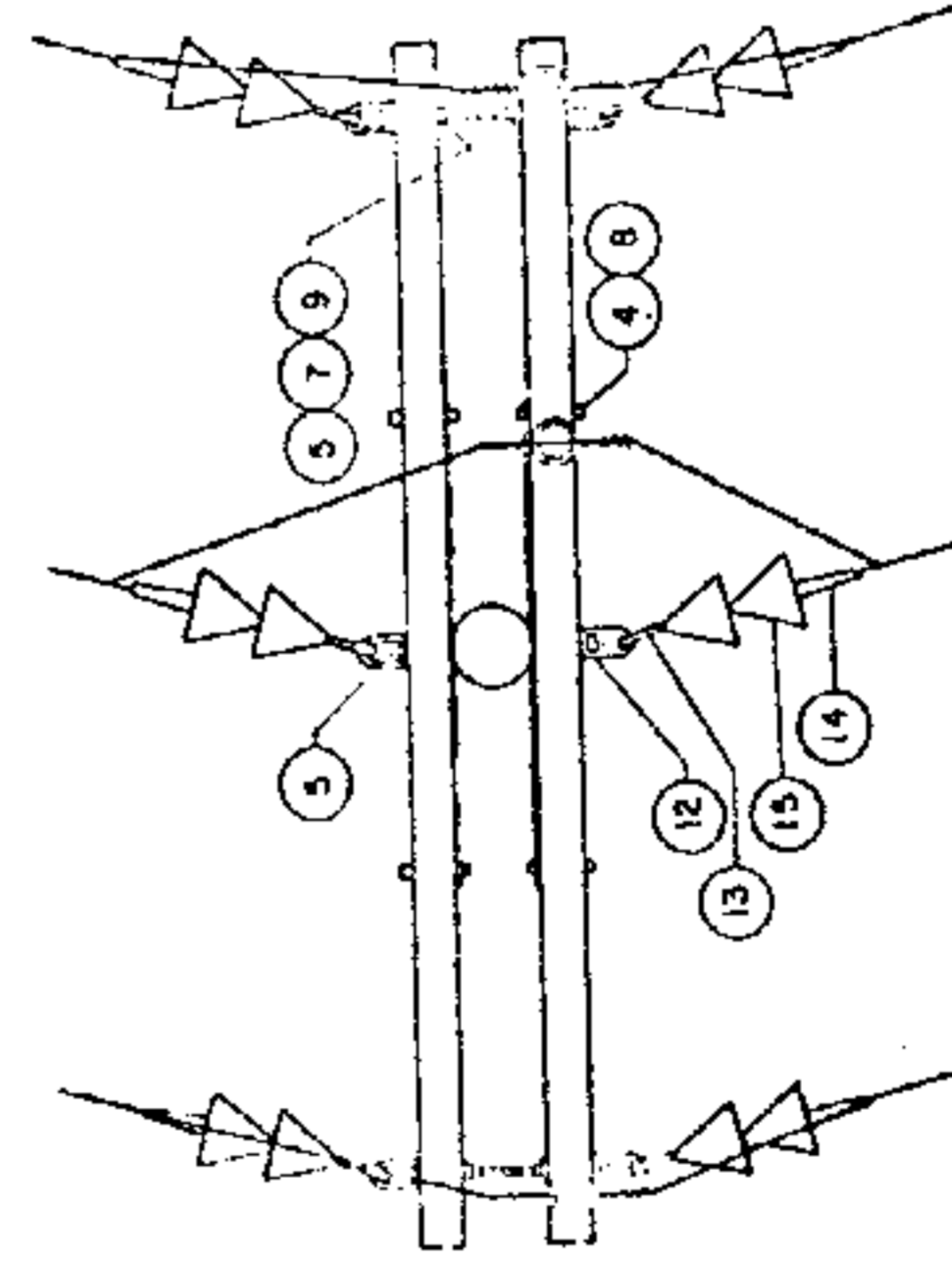
ESTRUTURA C4



ESTRUTURA C1



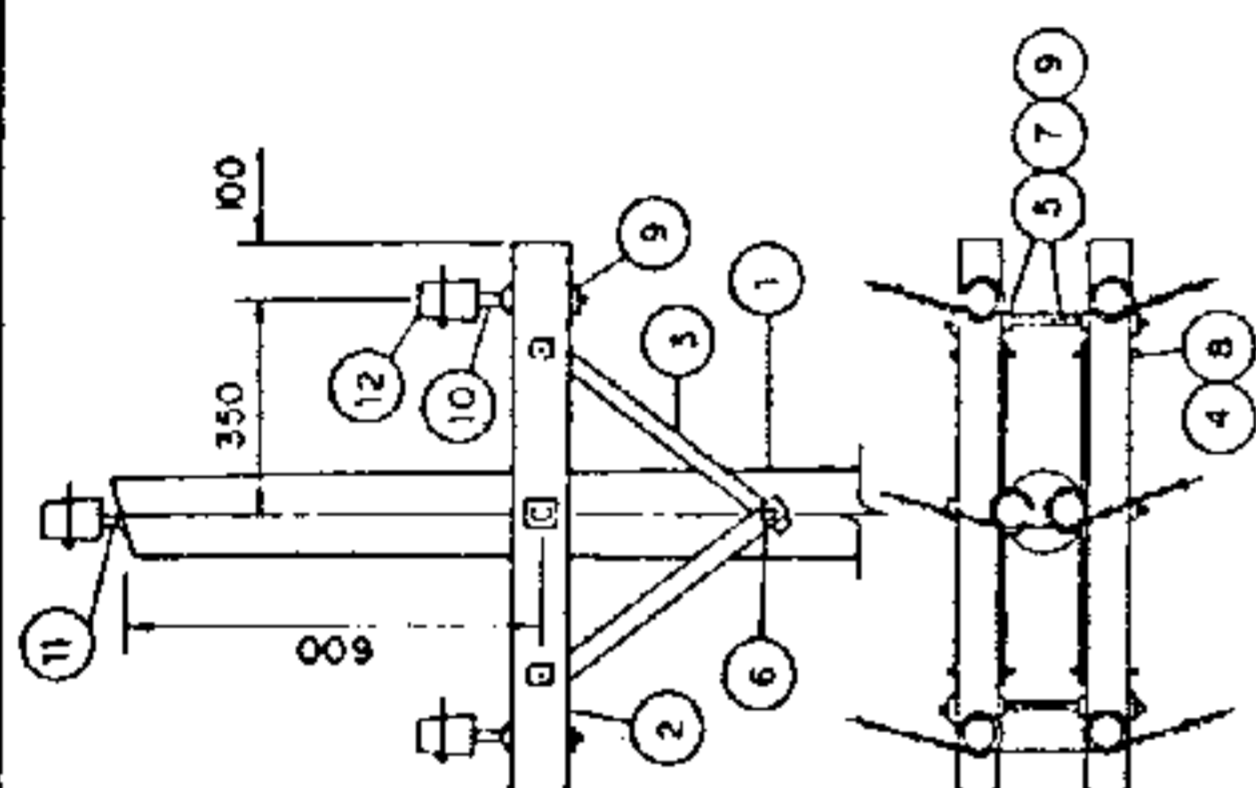
VER NOTA 3



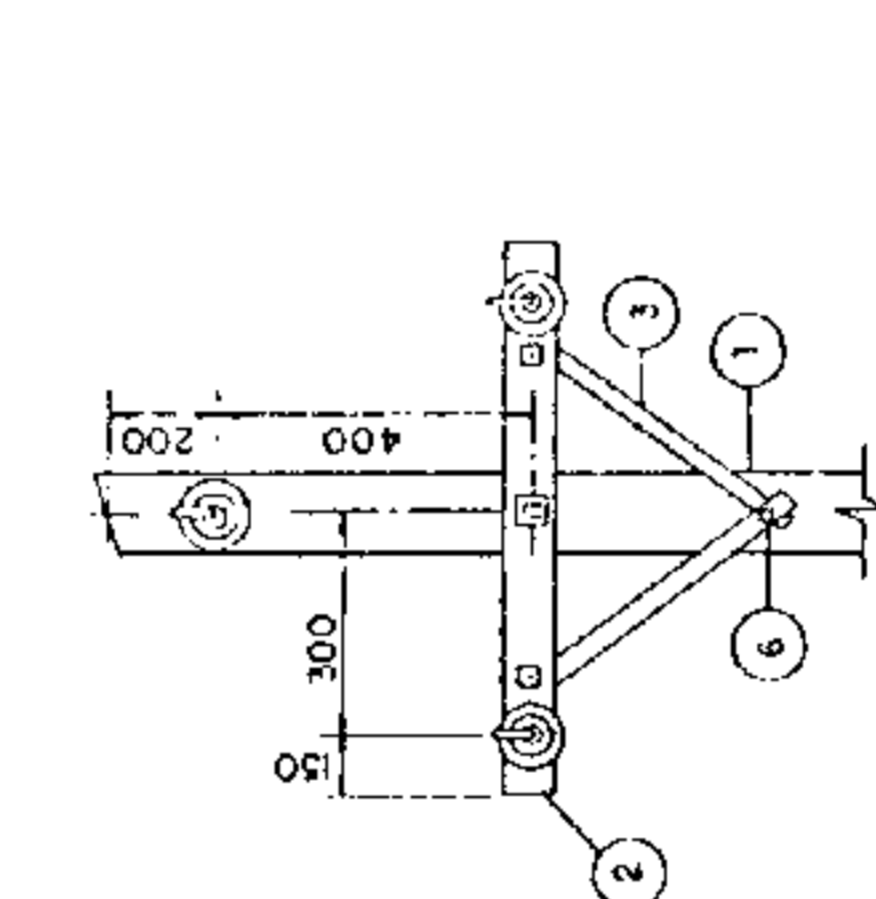
ESTRUTURA C3

LISTA DE MATERIAL

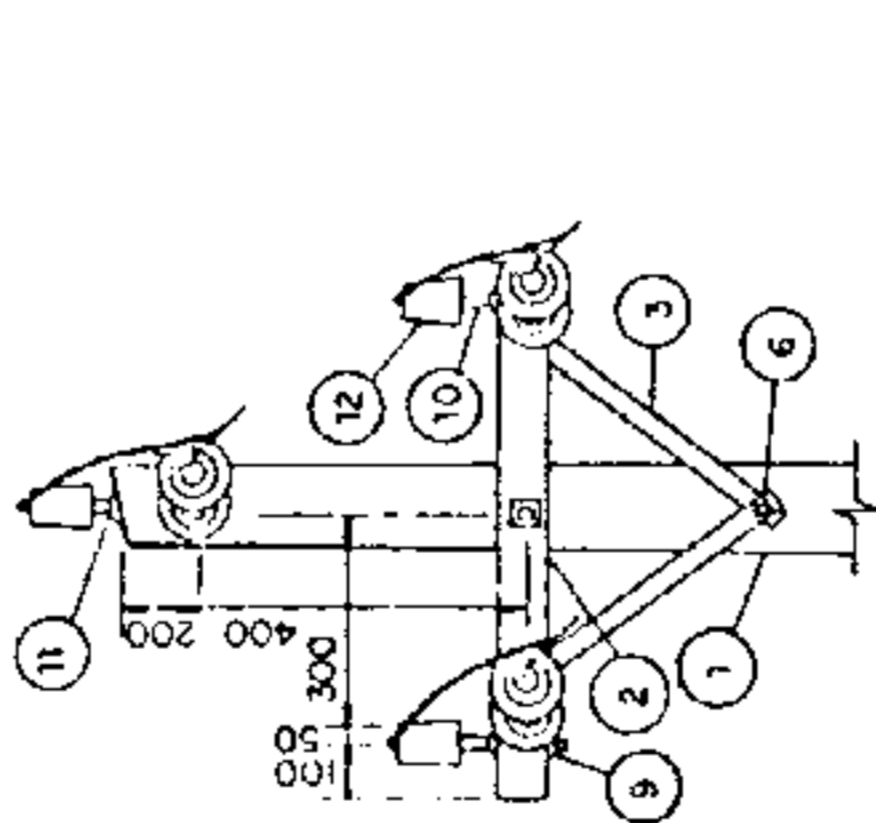
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADES			
		D1	D2	D3	D4
1	POSTE DE MADEIRA	1	1	1	1
2	CRUZETA DE MADEIRA	1	2	2	2
3	MÃO FRANCESA	2	4	4	4
4	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 13 x 125 mm	2	4	4	4
5	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 16 COMP. ADEQUADO	1	3	3	3
6	PARAFUSO DE ROSCA SOBERBA	1	2	2	2
7	PORCA PARA PARAFUSO DE Ø 16 mm	2	4	4	4
8	ARRUELA COM FURO DE Ø 16 mm	4	14	6	6
9	ARRUELA COM FURO DE Ø 18 mm	2	4	2	-
10	PINO DE CRUZETA	1	2	1	-
11	PINO DE TOPO	3	6	3	-
12	ISOLADOR DE PINO	-	-	6	3
13	OLHAL PARA PARAFUSO	-	-	6	3
14	GANCHO - OLHAL	-	-	6	3
15	GRAMPO TERMINAL	-	-	6	3
16	ISOLADOR DE SUSPENSÃO	-	-	12	6



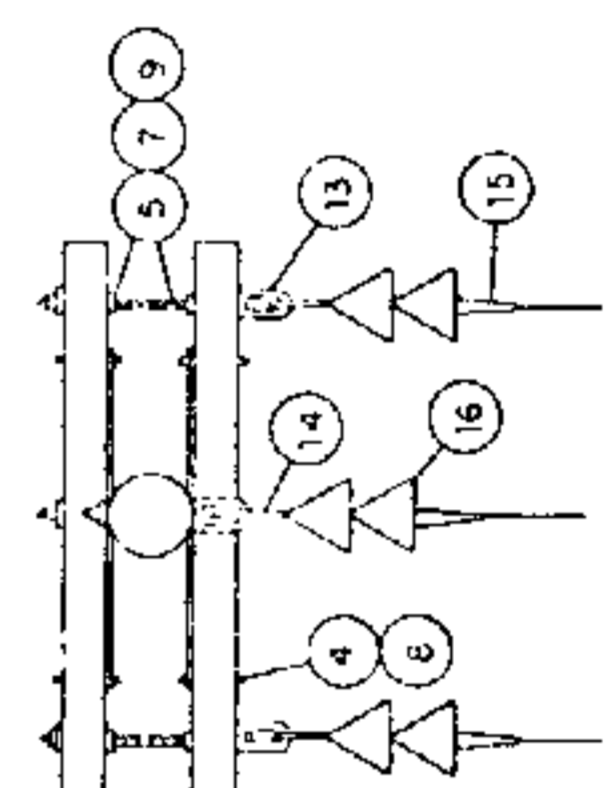
ESTRUTURA D1



ESTRUTURA D2



ESTRUTURA D3



ESTRUTURA D4

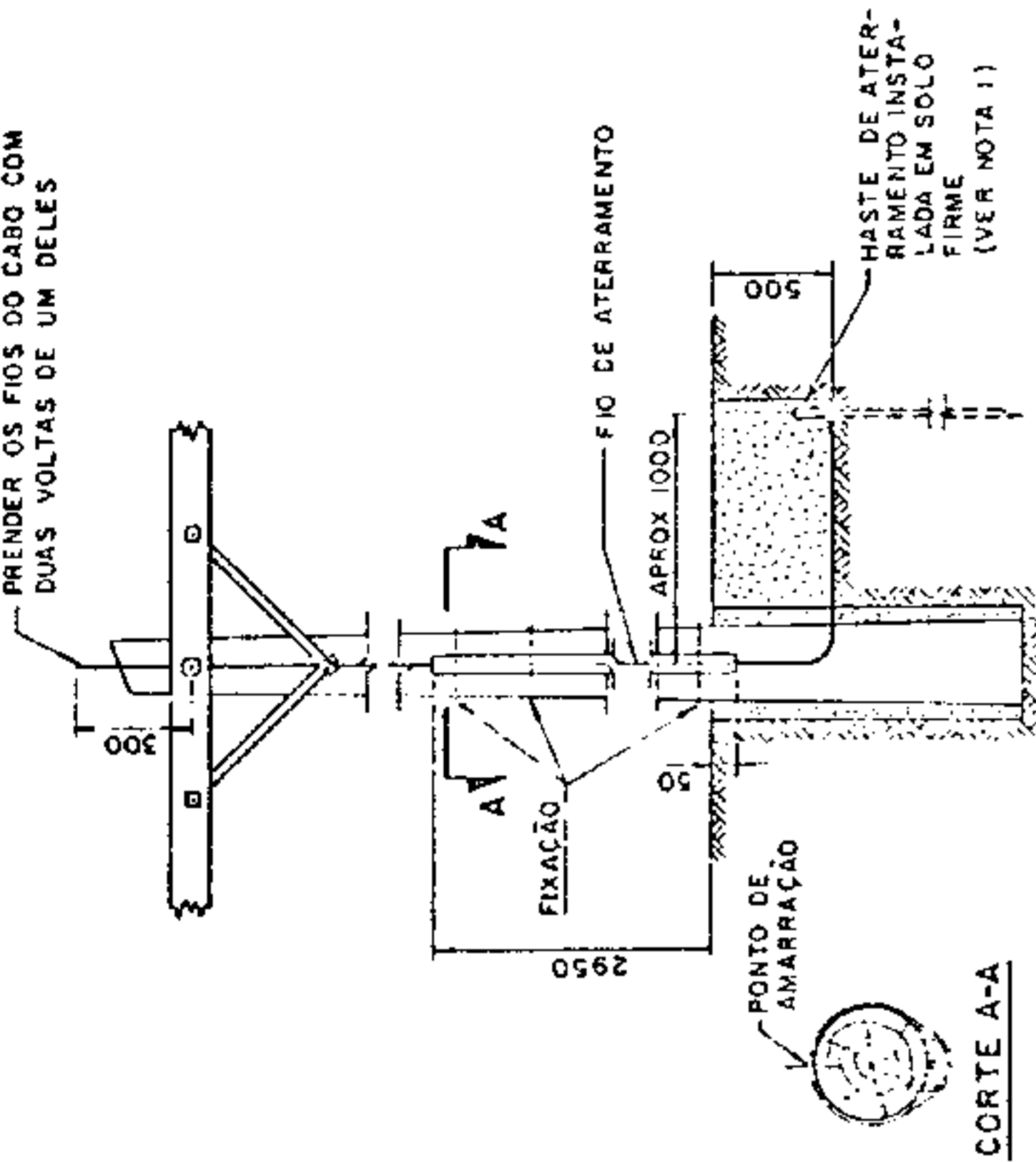
NOTAS

- 1 - A ESTRUTURA TIPO D1 É USADA EM TANGENTE. PODEDO, TAMBÉM, SER EMPREGADA EM ÂNGULOS ATÉ 10° NESTE CASO, A INSTALAÇÃO DOS CONDUTORES AOS ISOLADORES DEVERÁ SER FEITA LATERALMENTE
- 2 - A ESTRUTURA TIPO D2 É USADA EM ÂNGULOS 10° < α < 20°
- 3 - A ESTRUTURA TIPO D3 É USADA EM ÂNGULOS ATÉ 60°
- 4 - A ESTRUTURA TIPO D4 É DE F.M. DE LINHA.
- 5 - TODAS AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILÍMETROS

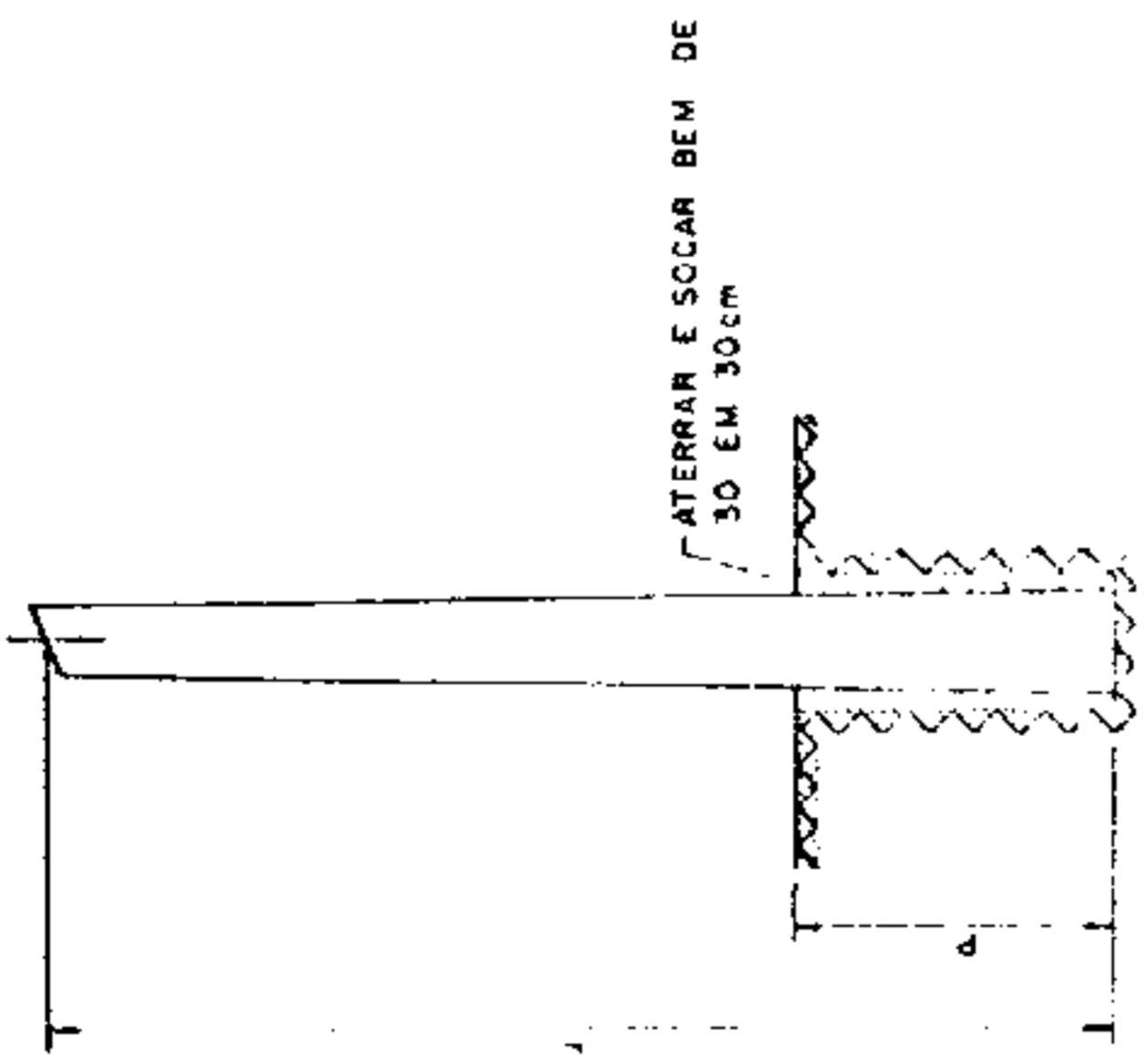
**NOTAS**

- 1- A POSIÇÃO DA MASTE DE ATERRAMENTO (DETALHE 2) EM TORNO DO POSTE NÃO É DETERMINADA. PARA SUA INSTALAÇÃO, ESCOLHER NO LOCAL O PONTO MAIS CONVENIENTE
- 2- NO DETALHE 3, A FIGURA SUPÕE TERRENO PLANO. EM TERRENOS ACIDENTADOS, CONSERVAR CONSTANTE O ÂNGULO DE 45°
- 3- EM LINHAS QUE POSSUAM NEUTRO CONTÍNUO, É ACONSELHÁVEL, COMO MEDIDA DE SEGURANÇA, O ATERRAMENTO DOS ESTAIAS. ESTE ATERRAMENTO, ATRAVÉS DO NEUTRO, DEVERÁ SER FEITO DA MANEIRA MAIS CONVENIENTE, DEPENDENDO DO TIPO E DAS CONDIÇÕES DO ESTAIAMENTO.
- 4- DIMENSÕES SEM INDICAÇÃO DE UNIDADE ESTÃO EM MILÍMETROS

PRENDER OS FIOS DO CABO COM DUAS VOLTAS DE UM DELES

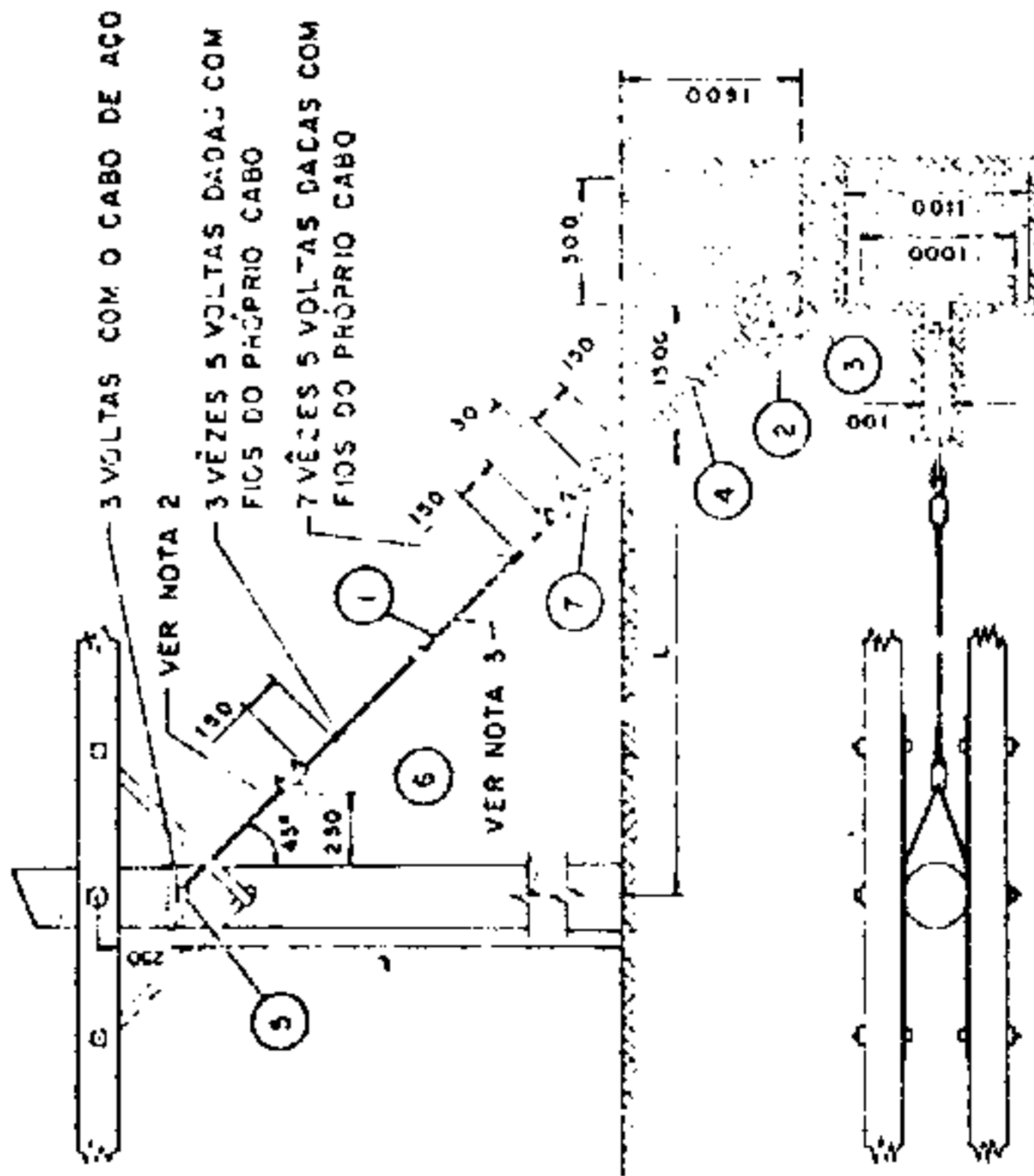


**DETALHE 2**  
ATERRAMENTO



**DETALHE 1**  
POSTES - ENGASTAMENTO

A PROFUNDIDADE DE ENGASTAMENTO "P" SERÁ:  $P = \frac{L}{10} + 0,60m$   
SENDO P min. = 1,50m



**DETALHE 3**  
ESTAIAMENTO

LISTA DE MATERIAL		
ITEM	QUANT.	DESCRIÇÃO
1	VARIÁVEL	CABO DE AÇO Ø 9mm
2	1	TORA DE MADEIRA
3	1	ARRUELA COM FURO DE Ø 18mm
4	1	HASTE DE ÂNCORA
5	1	PARAFUSO DE ROSCA SOBERBA
6	2	PRENSA-FIO COM 3 PARAFUSOS
7	1	SAPATILHA PARA CABO DE AÇO

#### - Instalação dos Cabos

Entre as várias atividades de montagem de uma linha, apresenta-se aqui a etapa de lançamento dos cabos sobre a pos teação.

O lançamento do cabo faz-se desenrolando o mesmo das bobinas ou rolos, depositando-o no solo ao longo da linha, após observadas precauções de revestimento do leito, nos locais onde haja possibilidades de danos superficiais no cabo devido à abrasão com ramos de árvores ou tocos de madeira.

O cabo será, então, erguido e colocado nos postes, sobre as cruzetas ou nas armações secundárias, protegido nos pontos sujeitos à fricção. Depois de estendido, o cabo deverá ser grampeado de modo permanente numa das extremidades do trecho da linha a ser montada, com vários vãos, dando-se então início ao pré-tensionamento do mesmo para posterior ajuste pela flecha desejada.

O cabo será esticado até atingir o valor da flecha apresentado na TABELA 4.2.4.6/XII, observando a temperatura ambiente registrada no ato da montagem, as características regionais de carregamento (Linha Leve) e o vão regulador do trecho de montagem calculado pela expressão:

$$V_R = V_m + \frac{2}{3} (V_M - V_m)$$

onde:

$V_R$  = vão regulador. Vão calculado para determinado trecho entre estruturas de ancoragem, com o qual é determinada a flecha de montagem, em função da temperatura;

$V_m$  = vão médio. Média aritmética dos vãos existentes no trecho considerado;

$V_M$  = vão máximo. Maior dos vãos existentes no trecho considerado.

A flecha deverá ser medida em qualquer um dos vãos do trecho da linha; entretanto, é aconselhável a escolha de um vão de comprimento aproximadamente igual ao vão regulador do trecho a ser "flechado".

Em trechos curtos, de 5 ou 6 vãos, usualmente é suficiente a verificação da flecha em um só vão, próximo ao ponto médio da seção.

Em trechos longos da linha, com mais de 6 vãos, é desejável que se verifique a flecha em no mínimo dois vãos, preferencialmente os de ancoragem do cabo.

A flecha será verificada por meio de instrumentos topográficos ou, na falta destes, expeditamente por visada direta através da instalação de alvos de referência (ex.: ripas de madeira) nos postes de extremidades do vão, com uma distância entre o alvo e o suporte do cabo igual à flecha requerida.

Durante o esticamento com o método expedito, quando o ponto mais baixo do cabo tangenciar a linha de visada entre os dois alvos, conforme ilustrado na FIGURA 4.2.4.6/1, a flecha desejada é obtida e o cabo deve ser grampeado, isto é, fixado no isolador.

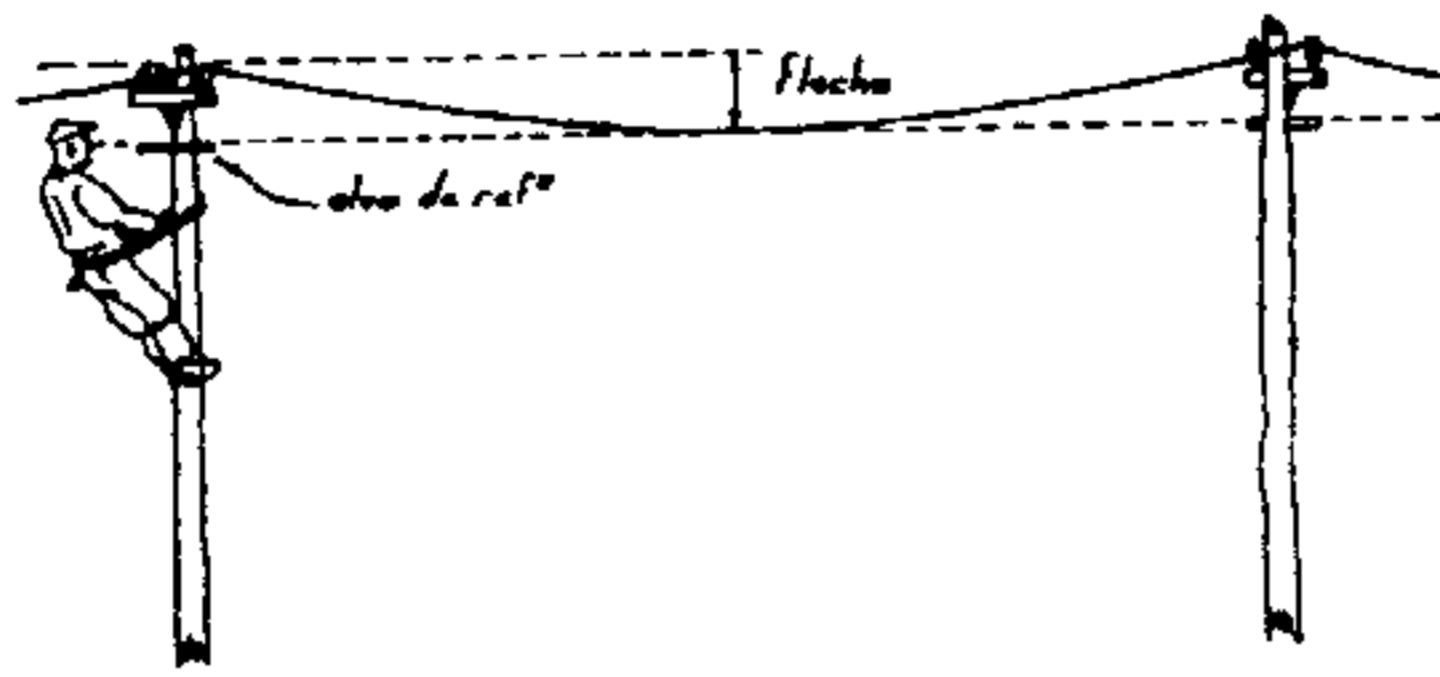


FIGURA 4.2.4.6/1

TABELA 4.2.4.6/XII

		FLECHAS EM METROS																							
		Linhas leves																							
VAOS m	°C	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600
0		0,03	0,11	0,26	0,47	0,75	1,11	1,56	2,10	2,73	3,45	4,29	5,20	6,22	7,34	8,53	9,84	11,2	12,7	14,2	15,9	17,7	19,5	21,4	23,4
5		0,03	0,12	0,28	0,50	0,80	1,18	1,65	2,21	2,87	3,61	4,46	5,39	6,43	7,55	8,74	10,03	11,4	12,9	14,5	16,1	17,9	19,7	21,6	23,6
10		0,03	0,13	0,30	0,54	0,86	1,26	1,75	2,33	3,01	3,77	4,64	5,58	6,62	7,75	8,95	10,26	11,6	13,1	14,7	16,4	18,2	19,9	21,8	23,9
15		0,04	0,14	0,32	0,58	0,92	1,34	1,86	2,46	3,16	3,93	4,80	5,77	6,81	7,95	9,17	10,48	11,9	13,4	14,9	16,6	18,4	20,2	22,1	24,1
20		0,04	0,16	0,35	0,63	0,99	1,44	1,97	2,59	3,30	4,10	4,99	5,96	7,01	8,15	9,37	10,68	12,1	13,6	15,2	16,8	18,6	20,4	22,3	24,3
25		0,04	0,17	0,38	0,68	1,07	1,53	2,09	2,73	3,46	4,26	5,16	6,14	7,20	8,35	9,58	10,90	12,3	13,8	15,4	17,1	18,8	20,6	22,6	24,6
30		0,05	0,19	0,42	0,74	1,14	1,63	2,21	2,87	3,62	4,43	5,34	6,33	7,40	8,55	9,78	11,12	12,6	14,0	15,6	17,3	19,1	20,9	22,8	24,8
35		0,05	0,21	0,47	0,81	1,24	1,75	2,34	3,05	3,77	4,59	5,52	6,51	7,60	8,75	10,00	11,32	12,8	14,3	15,8	17,5	19,3	21,1	23,1	25,1
40		0,06	0,24	0,52	0,88	1,33	1,86	2,47	3,15	3,92	4,76	5,69	6,70	7,78	8,95	10,18	11,52	13,0	14,5	16,0	17,8	19,5	21,4	23,4	25,3
45		0,07	0,27	0,57	0,96	1,43	1,97	2,60	3,29	4,08	4,92	5,87	6,87	7,98	9,15	10,38	11,72	13,2	14,7	16,3	18,0	19,8	21,6	23,6	25,5
50		0,09	0,31	0,64	1,04	1,53	2,09	2,73	3,44	4,23	5,09	6,04	7,06	8,15	9,35	10,60	11,92	13,4	14,9	16,5	18,2	20,0	21,8	23,8	25,7

#### 4.2.5 Desenhos do Arranjo Geral e de Detalhes

Após os dimensionamentos das estruturas civis e dos equipamentos eletromecânicos, o projetista deve preparar ou obter os seguintes desenhos:

##### - Estruturas Cívicas

- . Arranjo Geral das Obras
- . Barragem, Vertedouro e Tomada d'Água - Escavação
- . Barragem, Vertedouro e Tomada d'Água - Plantas, Cortes e Detalhes
- . Canal Adutor e Câmara de Carga ou Tubulação de Adução e Chaminé de Equilíbrio - Escavação
- . Canal Adutor e Câmara de Carga ou Tubulação de Adução e Chaminé de Equilíbrio - Plantas, Cortes e Detalhes
- . Tomada d'Água, Câmara de Carga ou Chaminé de Equilíbrio - Armação
- . Tubulação Forçada - Planta, Perfil, Cortes e Detalhes
- . Selas de Apoio e Blocos de Ancoragem - Fôrmas e Armação
- . Casa de Máquinas e Canal de Fuga - Escavação
- . Casa de Máquinas - Plantas, Cortes e Detalhes
- . Casa de Máquinas - Lajes e Poço do Tubo de Sucção - Fôrmas
- . Casa de Máquinas - Lajes e Poços do Tubo de Sucção - Armação

##### - Equipamentos Mecânicos

Os desenhos dos equipamentos mecânicos são obtidos com os fabricantes.

##### - Equipamentos e Instalações Elétricas

Para circuitos isolados com um único gerador, os principais desenhos a serem elaborados são:

- . Diagrama de Cablagem
- . Planta e Cortes da Subestação
- . Planta e Perfil da Linha de Alimentação

A manutenção de uma minicentral hidrelétrica, conforme as observações colhidas em diversas instalações no interior do país, tem sido feita de um modo muito precário pelos seus proprietários, ou por falta de instruções técnicas, ou por não estarem convencidos da acentuada importância que a mesma tem no perfeito funcionamento e no aumento de vida dos equipamentos eletromecânicos e das estruturas civis.

As principais atividades necessárias à manutenção geral de uma central hidrelétrica estão apresentadas nas tabelas a seguir, devendo ser adaptadas às condições vigentes e aos tipos do equipamento.

TABELA 4.3/I - Programação dos Trabalhos de Manutenção Mensal.

TABELA 4.3/II - Programação dos Trabalhos de Manutenção Trimestral e Semestral.

TABELA 4.3/III - Programação dos Trabalhos de Manutenção Anual.

TABELA 4.3/IV - Programação dos Trabalhos de Manutenção Quinquenal.

As referidas tabelas não apresentam detalhes para a manutenção dos equipamentos eletromecânicos (turbinas, geradores, comportas, etc), como as especificações de óleo lubrificante, pintura, temperatura máxima de mancais, etc., porque estas informações devem ser exigidas pelos compradores aos fornecedores, durante os entendimentos para a compra desses equipamentos. Normalmente cada fabricante tem as suas especificações próprias para a manutenção de seus produtos, a fim de poder garantir o perfeito funcionamento e duração do seu equipamento, desde que essas especificações sejam seguidas pelo comprador.

PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - MENSAL

TABELA 4.3/I

I T E M	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A EXECUTAR
1	<u>Válvula de Descarga</u>	Limpeza e lubrificação dos componentes de acionamento.
2	<u>Gerador e Excitatriz</u>	Limpeza no estator e rotor.
3	<u>Painel de Controle</u>	Limpeza e verificação dos contatos elétricos.
4	<u>Transformadores de Força</u>	Inspeção visual.
5	<u>Serviços Auxiliares</u>	Inspeção visual de todos os elementos, limpeza externa dos vasos e conexões das baterias.
6	<u>Barragem</u>	Verificação do aparecimento de água, da situação física do extravasor, trincas, solapamentos, etc.
7	<u>Reservatório</u>	Verificação do processo e do progresso de assoreamento e de desenvolvimento de plantas aquáticas.
8	<u>Grades</u>	Limpeza de resíduos (se necessário, diminuir o período entre uma e outra limpeza)

PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - TRIMESTRAL E SEMESTRAL

TABELA 4.3/II

I T E M	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A EXECUTAR
	- <u>Inspeção Trimestral</u>	
1	<u>Válvula Borboleta</u>	Limpeza externa e lubrificação da derivação ("by pass").
2	<u>Serviços Auxiliares</u>	Inspeção Geral e medição da densidade da solução contida em todos os elementos das baterias e revisão nos parafusos e porcas das conexões das baterias.
3	<u>Prédio da Central</u>	Exame Geral no edifício, cercas, muros, valas e muros de arrimo. Verificar vidros, telhas (goteiras), pisos, instalações hidráulicas, etc.
	- <u>Inspeção Semestral</u>	
1	<u>Barragem</u>	Limpeza do sistema de drenagem superficial, verificação do aparecimento de trincas, de erosões superficiais e da ocorrência de recalques.



PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - ANUAL

TABELA 4.3/III

I T E M	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A EXECUTAR
1	<u>Barragem</u>	Inspeção do Estado Geral do reservatório e respectiva limpeza; reparos e lubrificação da tomada d'água, das comportas e dos componentes de acionamento; inspeção geral de estabilidade do extravasor e serviços gerais de capina.
2	<u>Canal Adutor</u>	Limpeza e reparos nos bueiros para drenagem e nas paredes laterais.
3	<u>Tubulação Forçada</u>	Capina, retificação das canaletas de drenagem e rampas do leito, limpeza, reparos e ajustes dos flanges das juntas de dilatação e limpeza e lubrificação dos berços.
4	<u>Válvula Borboleta</u>	Limpeza interna, externa e reparos nas conexões da tubulação de equilíbrio de pressão (caso exista).
5	<u>Distribuidor (Palhetas Diretrizes)</u>	Limpeza e lubrificação geral das pás diretrizes, verificação de folgas nas buchas e anéis de arrastro.
6	<u>Rotor da Turbina</u>	Verificação de desgaste.
7	<u>Tubo de Sucção</u>	Inspeção Geral no canal de fuga.
8	<u>Grupo Gerador</u>	Limpeza Geral, medição de folgas e ajuste dos mancais e inspeção geral dos anéis de vedação/grafite.
9	<u>Regulador de Velocidade</u>	Inspeção Geral da bomba de pressurização principal do óleo e bomba auxiliar, desmontagem e limpeza dos filtros de óleo lubrificante.
10	<u>Gerador e Excitatriz</u>	Inspeção, limpeza e alinhamento das escovas; resistência de isolamento de excitatriz, estator, rotor, mufas e cabos. Medições da resistência de neutro do aterramento; verificação de regulagem, conexões e contato das seccionadoras e disjuntores.
11	<u>Proteção</u>	Resistência de isolamento e conexões dos transformadores de corrente e potencial; limpeza de buchas, retoque de pintura, resistência de isolamento e contato; limpeza, calibração e aferição dos relés.

PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - ANUAL

TABELA 4.3/III

(continuação)

I T E M	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A EXECUTAR
12	<u>Painel</u>	Verificação do alinhamento, ponto de corrosão e acúmulo de pó das estruturas; limpeza dos contatos de comandos.
13	<u>Transformadores de Força</u>	Inspeção geral externa com verificação da pintura, limpeza da carcaça, radiadores, buchas e indicadores de nível do óleo, resistência de isolamento dos enrolamentos, buchas e óleo, reaperto de conexões; inspeção e, se necessário, pintura e retoque na base.
14	<u>Serviços Auxiliares</u>	Inspeção geral externa, reaperto de conexões, limpeza e calibração dos medidores.
15	<u>Aterramento</u>	Limpeza e inspeção geral, verificando sinais de trinca e conexões de linha e terra dos para-raios, inspeção em todas as conexões de terra tanto nos eletrodos como nos equipamentos e nas estruturas, verificando limpeza e oxidação.
16	<u>Talha (Equipamento de movimentação de cargas)</u>	Inspeccionar e verificar a necessidade de lubrificação das correntes; verificar engrenagens, dentes, chaves, pinos e contra pinos; colocar graxa nova.
17	<u>Prédio da Central</u>	Exame detalhado das chaminês e dos ventiladores; retocar pintura das paredes e das esquadrias.

PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - QÜINQUENAL

TABELA 4.3/IV

I T E M	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A EXECUTAR
1	<u>Tomada d'Água</u>	Pintura das comportas.
2	<u>Canal Adutor</u>	Inspeção Geral do Vertedouro e grade. Grade: pintura.
3	<u>Tubulação Forçada</u>	Inspeção Geral e retoques na pintura da superfície externa.
4	<u>Filtro de Água de Refrigeração</u>	Pintura Geral das superfícies interna e externa.
5	<u>Válvula Borboleta</u>	Verificação das condições de funcionamento, possibilidade de substituição do anel de vedação.
6	<u>Caixa Espiral da Turbina</u>	Limpeza Geral e pintura das superfícies interna e externa.
7	<u>Distribuidor</u>	Verificação de desgaste inferior da tampa.
8	<u>Tubo de Sucção</u>	Limpeza Geral, reparos com jateamento e pintura do revestimento.
9	<u>Grupo Gerador</u>	Desmontagem, reparos gerais internos e externos, e pintura de turbina.
10	<u>Regulador da Velocidade</u>	Substituição das telas filtrantes.

#### 4.4 CUSTOS - METODOLOGIA, COMPOSIÇÃO E CÁLCULO

##### A) Metodologia

Os estudos e os projetos desenvolvidos de acordo com os itens anteriores especificam procedimentos que levam a um nível tecnológico julgado o mais adequado para implantação de minicentralis hidrelétricas em nosso País. Foram introduzidas várias simplificações e foram recomendados muitos métodos expeditos para desenvolvimento desses estudos e projetos.

Assim sendo, não se pode aplicar às MCH, a metodologia de custos consagrada no Setor Elétrico para as centrais de grande porte, muito menos adotar-se critérios e curvas de custos decorrentes de dados estatísticos obtidos na implantação dessas usinas.

Em vista disso, para elaboração de estimativas de custo adotou-se metodologia simplificada, baseada nos seguintes conceitos básicos:

1 - Os serviços serão executados aproveitando o máximo possível:

- . mão-de-obra e materiais existentes no local;
- . equipamentos de construção obtidos da maneira mais econômica dentre as diversas alternativas possíveis - alugados na região, cedidos por Órgãos Públicos, do proprietário (existentes ou adquiridos especialmente para implantação da minicentral hidrelétrica), etc.

2 - Quantidade de Serviços e Obras

Todas as quantidades de serviços deverão ser obtidas através do levantamento direto dos desenhos de projeto. Para orientar, facilitar e evitar o esquecimento de serviços, apresenta-se no ANEXO 4.4.8/A uma relação de todas as estruturas e itens de serviços possíveis de existirem no projeto, a serem quantificados, com as respectivas unidades para medição.

3 - Preços Unitários de Serviços

Os preços unitários a serem adotados para a estimativa de custo da obra deverão obrigatoriamente retratar as condições específicas do local, da época da implantação do empreendimento e das características próprias do projeto.

Para tanto, os preços unitários deverão preferencialmente ser obtidos a partir de:

- Obras civis

- . consulta a empreiteiro(s) da região;
- . pesquisa de preços em órgãos do tipo Prefeitura, Bancos, Órgãos de Saneamento, DER, etc.;
- . composições com coeficientes adequados para o caso e custos de insumos levantados através de pesquisas de preços;
- . avaliação de preço com adoção de processo adequado, quando se tratar de equipamento de construção próprio.

- Equipamentos Permanentes (turbina, gerador, comportas, etc.)

- . aquisição - consulta a fabricantes ou fornecedores;
- . montagem-consulta ao próprio fabricante, ao empreiteiro, ou composição de custo com levantamento dos preços de insumos através de pesquisas;
- . transporte - consulta a empresas transportadoras, ao fabricante, ou composição de custo com levantamento dos preços de insumos através de pesquisas.

B) Composição de Preços Unitários e Cálculos

Enfatiza-se, como já foi dito anteriormente, que a estimativa de custo da central deverá sempre retratar as condições específicas locais, condições mercadológicas da época da implantação do empreendimento e as características específicas do projeto. Para tanto, os preços unitários deverão ser obtidos através das pesquisas de composições de custo, do conhecimento de produtividade da mão-de-obra e equipamentos disponíveis, pesquisa de mercado, consulta a fabricantes de equipamentos e assim por diante.

Entretanto, no caso de dificuldade em se obter informações ou publicações que possibilitem a elaboração de composições adequadas, este Manual fornece, a título de subsídio, as composições simplificadas como uma ALTERNATIVA para obtenção de valores aproximados de preços unitários e que poderão ser utilizadas para obtenção de um orçamento que represente uma ESTIMATIVA PRELIMINAR.

Os critérios básicos adotados nessas composições e as recomendações para o cálculo do preço unitário são apresentados

a seguir:

- Todos os coeficientes são aproximados e, portanto, deverão ser exaustivamente analisados antes da sua aplicação.
- Preços de mão-de-obra e de materiais deverão ser pesquisados prioritariamente no mercado local, sendo os últimos comparados com as alternativas de aquisição de materiais em outras praças, através de consulta a revistas e tabelas do tipo Boletins ou Tabelas publicados pelos Órgãos Públicos, Boletim de Custos, A Construção, Informador das Construções, Transporte Moderno, etc. Feita essa pesquisa, deverá ser adotado o preço unitário dos materiais que seja considerado mais econômico e conveniente para a obra, bem como o preço da mão-de-obra da região.
- Preços de Equipamentos de Construção - as composições incluídas no Manual apresentam coeficientes para equipamentos (caminhão, trator, etc.), para lubrificantes e para consumo de óleo diesel.

O preço a ser aplicado sobre o coeficiente de equipamento inclui valores horários de depreciação, juros e manutenção e exclui lubrificantes, óleo diesel e mão-de-obra do operador, estando este último incluído no coeficiente do item relativo a mão-de-obra. Portanto, na aplicação de preço pesquisado no mercado deverá ter-se o devido cuidado de verificar se a informação coincide ou não com o critério adotado neste Manual. Em caso negativo, o preço pesquisado no mercado deverá ser convenientemente adaptado de acordo com os seguintes procedimentos:

- a) Preço horário pesquisado inclui todos os custos, ou seja, com lubrificantes, óleo diesel e operador.

Aplicar este preço sobre o coeficiente do equipamento, não se orçando nada nos itens lubrificantes e óleo diesel, e descontando-se do coeficiente da mão-de-obra a parte relativa ao operador.

Para tanto, exemplifica-se a seguir (composição do item 5.4.1.1.1- Preparo de Fundação).

Caminhão	0,4 h x preço do aluguel completo
Lubrificante	0,022 x zero
Óleo diesel	0,702 x zero
Mão-de-obra	0,014 x Salário Mínimo - 0,4 h x 0,016 x x Salário Mínimo = 0,008 x Salário Mínimo

O valor 0,016 é constante para qualquer tipo de equipamento e foi obtido supondo o salário médio de operador de máquinas como sendo 2 salários mínimos, 240 horas por mês e taxa de encargos sociais de 95%. Portanto,  $0,016 = (2/240) \times 1,95$ .

- b) Preço horário pesquisado inclui todos os custos, exceto a mão-de-obra do operador.

Neste caso, o procedimento a ser adotado será o mesmo do item anterior, com exceção do item da mão-de-obra, que não sofrerá desconto.

- c) Preço horário de equipamento cedido por Órgão Público - neste caso, analisar cuidadosamente o valor que o proprietário da obra irá pagar ao Órgão Público pela utilização do equipamento (quais os componentes deste custo) e os valores que ele deverá pagar à parte para operação do equipamento.

No caso de o equipamento ser cedido à obra gratuitamente mas com operação a cargo do proprietário, o cálculo passará a ser (mesmo exemplo citado no caso a):

Caminhão	0,4 h x zero
Lubrificante	0,02% x preço de mercado
Óleo diesel	0,70% x preço de mercado
Mão-de-obra	0,014 x Salário Mínimo

- d) Custo horário de equipamento do proprietário - depende da necessidade ou não do proprietário em considerar no custeio da obra o valor de amortizações e juros. No caso de utilização de equipamentos usados que já estejam amortizados, o procedimento recomendado é o citado no item c. Em caso de equipamento adquirido especificamente para implantação da obra, o preço de aluguel horário deverá ser calculado pela expressão:

$$\text{Preço horário} = \frac{\text{Custo de aquisição do equipamento}}{5000 \text{ horas}}$$

O preço horário assim calculado leva em conta a vida útil média de 10.000 h (depreciação), custo médio de manutenção durante a vida útil e juros. Para o cálculo do custo unitário de serviço, basta substituir o aluguel (custo de mercado) pelo preço horário calculado.

- Coeficiente de mão-de-obra e Encargos Sociais

O coeficiente de mão-de-obra está apresentado em forma de

parcela do valor do Salário Mínimo mensal. Foram levadas em conta as diferenças de salários horários de diferentes categorias profissionais e admitiu-se incluída uma taxa de 95% a título de encargos sociais.

Na taxa de encargos sociais admitiu-se incluídos todos os custos relativos a obrigações trabalhistas, tais como repouso remunerado, férias, 13º salário, FGTS, seguro contra acidente de trabalho, recolhimentos para IAPAS, licenças remuneradas, etc.

- Taxa de BDI (benefícios e despesas indiretas do empreiteiro)

Foi admitida a taxa de 25%, englobando os seguintes custos e encargos:

- . despesas administrativas do empreiteiro (rateio de custo do escritório, engenheiro, encarregados, apontados, despesas de viagens, etc.) estimadas em 10%;
- . risco, imprevisto do empreiteiro (possibilidade de não atingir a produtividade admitida, dificuldades na contratação da mão-de-obra, custos financeiros, etc.) estimado em 5%; e
- . benefícios ou lucros do empreiteiro, estimados em 10%.

No caso de a obra ser executada integralmente com pessoal e equipamento próprios do proprietário, a taxa de BDI poderá ser reduzida para 15%. (Excluído o benefício ou lucro do empreiteiro).

- Identificação de Equipamentos de Construção na Composição de Preços

Nas composições, os equipamentos estão discriminados simplificada e por apenas uma palavra (caminhão, trator, escavadeira, etc.). Para perfeita identificação e possibilitar a realização de pesquisa de mercado, são apresentadas as principais características dos equipamentos de construção adotados nas diversas composições.

Caminhão: caminhão com caçamba basculante, capacidade de 5 m<sup>3</sup> ou 7 t, motor de 147 cv, 2800 rpm, chassis com distância entre eixos, de 3,6 m.

Trator: trator de esteira equipado com lâmina, dimensões externas de 3,18 m x 1,98 m x 1,70 m, motor de 76 cv, 1900 a 2000 rpm.

Escavadeira: escavadeira equipada com colher (shovel) de 0,38 m<sup>3</sup> (1/2 jarda cúbica), de esteira -



ra, motor de 50 cv.

Betoneira: betoneira com carregamento manual, tambor reversível, capacidade de 250 litros, motor a gasolina de 7,5 cv.

Bate-estaca: bate-estaca de queda livre com martelo de 1500 kg.

Compressor: compressor de 365 pcm, motor diesel, de 141 cv, rebocável.

Martelete: perfuratriz manual de 23,5 kg com consumo de ar de 119 pcm.

A seguir são apresentadas as composições dos principais itens de serviços previstos para implantação de mini-centrais hidrelétricas.

4.4.1 Composição de Preços de Obras Civis

4.4.1.1 Barragem de Terra

4.4.1.1.1 Preparo de Fundação

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P. unitário	Total
Caminhão	h	0,4		
Lubrificante	ℓ	0,02		
Óleo Diesel	ℓ	0,70		
Mão-de-Obra	SM	0,014		
Subtotal				
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.1.2 Lançamento, Espalhamento e Compactação do Material de Aterro (incluindo escavação e transporte)

- a) com material proveniente de empréstimo (escavação manual, espalhamento manual e compactação com caminhão) com transporte até 1 km.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P. unitário	Total
Caminhão	h	0,121		
Lubrificante	ℓ	0,06		
Óleo Diesel	ℓ	2,00		
Mão-de-Obra	SM	0,055		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

- b) com material proveniente de empréstimo (escavado mecanicamente, espalhado e compactado por trator) com transporte até 1,0 km;

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Escavadeira	h	0,048		
Caminhão	h	0,096		
Trator	h	0,012		
Lubrificante	ℓ	0,06		
Óleo Diesel	ℓ	3,0		
Mão-de-Obra	SM	0,009		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

- c) com material proveniente de escavação exigida (exclusive transporte, que foi admitido como custo de escavação).

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Caminhão	h	0,025		
Lubrificante	ℓ	0,012		
Óleo Diesel	ℓ	0,408		
Mão-de-Obra	SM	0,006		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

#### 4.4.1.1.3 Proteção de Barragens

- a) com areia, brita e pedra (barragem homogênea)

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Areia	m <sup>3</sup>	0,2		
Brita	m <sup>3</sup>	0,2		
Pedra de mão	m <sup>3</sup>	0,4		
Mão-de-Obra	SM	0,009		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

b) com grama em placa

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Gramma	m <sup>2</sup>	1,0		
Terra Vegetal	m <sup>3</sup>	0,02		
Mão-de-Obra	SM	0,003		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

c) com solo cimento

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cimento	kg	50		
Areia	m <sup>3</sup>	0,32		
Brita	m <sup>3</sup>	0,35		
Argila (item 4.4.1.1.2b)	m <sup>3</sup>	0,21		
Mão-de-Obra	SM	0,044		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

d) com areia, brita e pedra (barragem mista)

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Areia	m <sup>3</sup>	0,1		
Brita	m <sup>3</sup>	0,1		
Pedra	m <sup>3</sup>	0,8		
Mão-de-Obra	SM	0,055		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

4.4.1.2 Barragem de Enrocamento

4.4.1.2.1 Preparo de Fundação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.1.1.

4.4.1.2.2 Lançamento, Espalhamento e Compactação de Enrocamento

a) com material proveniente de pedreira, incluindo escavação e transporte até 1,0 km:

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Compressor	h	0,085		
Martelete	h	0,050		
Escavadeira	h	0,040		
Caminhão	h	0,080		
Trator	h	0,010		
Dinamite 40%	kg	0,400		
Estopim	m	1,04		
Espoleta simples	un	1,54		
Cordel	m	0,154		
Retardo	un	0,040		
Broca	un	0,0008		
Lubrificante	ℓ	0,14		
Óleo Diesel	ℓ	2,55		
Mão-de-Obra	SM	0,020		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

b) com material proveniente de escavação exigida (exclusive custo de transporte)

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Trator	h	0,01		
Lubrificante	ℓ	0,006		
Óleo Diesel	ℓ	0,30		
Mão-de-Obra	SM	0,004		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>				

4.4.1.2.3 Reforço de Crista e dos Taludes

Adotar o mesmo preço do item anterior 4.4.1.2.2.b.

4.4.1.3 Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada

4.4.1.3.1 Escavação Comum

4.4.1.3.1 Escavação Comum

a) Escavação comum (terra) manual, sem transporte

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Mão-de-Obra	SM	0,029		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

b) Escavação comum (terra) mecânica, sem transporte

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Escavadeira	h	0,04		
Lubrificante	ℓ	0,05		
Óleo Diesel	ℓ	0,5		
Mão-de-Obra	SM	0,0011		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

c) m<sup>3</sup>.km inicial de transporte de terra, com carga manual e des-  
carga mecânica

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Caminhão	h	0,10		
Lubrificante	ℓ	0,04		
Óleo Diesel	ℓ	1,36		
Mão-de-Obra	SM	0,008		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup> .km	Cr\$			

- d)  $m^3.km$  inicial de transporte de terra, com carga e descarga mecânica.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Caminhão	h	0,08		
Lubrificante	ℓ	0,04		
Óleo Diesel	ℓ	1,36		
Mão-de-Obra	SM	0,0024		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por $m^3.km$	Cr\$			

- e)  $m^3.km$  de transporte de terra (além do 1º km inicial dos itens c ou d, portanto, sem carga nem descarga).

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Caminhão	h	0,055		
Lubrificante	ℓ	0,03		
Óleo Diesel	ℓ	0,90		
Mão-de-Obra	SM	0,0006		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por $m^3.km$				

- f) o preço do  $m^3$  de escavação comum com transporte é obtido pela soma dos itens anteriores:

I) - manual, com transporte até 1 km:

$$\cdot \text{total}/m^3 = \text{alínea a} + \text{alínea c}$$

II) - manual, com transporte até 2 km :

$$\cdot \text{total}/m^3 = \text{alínea a} + \text{alínea c} + \text{alínea e}$$

III) - mecânica, com transporte até 1 km :

$$\cdot \text{total}/m^3 = 2 \text{ alínea b} + \text{alínea d}$$

IV) - mecânica, com transporte até 2 km :

$$\cdot \text{total}/m^3 = \text{alínea b} + \text{alínea d} + \text{alínea e}$$

4.4.1.3.2 Escavação em Rocha

a) Escavação de rocha a frio, sem transporte.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Mão-de-Obra	SM	0,6		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

b) Escavação de rocha a fogo, sem transporte.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Compressor	h	0,11		
Martelete	h	0,06		
Escavadeira	h	0,05		
Dinamite 40%	kg	0,500		
Estopim	m	1,35		
Espoleta simples	un	2		
Cordel	m	0,20		
Retardo	un	0,05		
Broca	un	0,001		
Lubrificante	ℓ	0,08		
Óleo Diesel	ℓ	1,26		
Mão-de-Obra	SM	0,005		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

c) o preço do m<sup>3</sup>. km inicial de transporte de pedra, com carregamento manual e descarga mecânica.

Custo do m<sup>3</sup> = 1,5 do preço calculado no item 4.4.1.3.1 e



- d)  $m^3$ .km inicial de transporte de pedra, com carga e descarga mecânica.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Caminhão	h	0,13		
Lubrificante	ℓ	0,06		
Óleo Diesel	ℓ	1,92		
Mão-de-Obra	SM	0,0032		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por $m^3$ .km	Cr\$			

- e)  $m^3$ .km de transporte de pedra (além do 1º km inicial dos itens c ou d, portanto sem carga nem descarga).

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Caminhão	h	0,082		
Lubrificante	ℓ	0,045		
Óleo Diesel	ℓ	1,35		
Mão-de-Obra	SM	0,0010		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por $m^3$ .km	Cr\$			

- f) O preço do  $m^3$  de escavação em rocha com transporte, é obtido pela soma de itens anteriores:

I) - a frio com carga manual, com transporte até 1 km:  
 . total/ $m^3$  = alínea a + alínea c

II) - a frio com carga manual, com transporte até 2 km:  
 . total/ $m^3$  = alínea a + alínea c + alínea e

III) - a fogo com carga e descarga mecânica, com transporte até 1 km:  
 . total/ $m^3$  = alínea b + alínea d

IV) - a fogo com carga e descarga mecânica, com transporte até 2 km:  
 . total/ $m^3$  = alínea b + alínea d + alínea e

4.4.1.3.3 Preparo de Fundação

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Mão-de-Obra	SM	0,014		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.3.4 Alvenaria de Pedra Argamassada

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Pedra de mão	m <sup>3</sup>	1,0		
Cimento	kg	32,0		
Areia	m <sup>3</sup>	0,18		
Mão-de-Obra	SM	0,14		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

4.4.1.3.5 Alvenaria de Tijolo Maciço (e=20 cm)

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tijolo	un	115		
Cimento	kg	17		
Saibro	m <sup>3</sup>	0,11		
Mão-de-Obra	SM	0,032		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.3.6 Revestimento com Argamassa de Cimento e Areia (1:4) e Espessura de 5 cm

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cimento	kg	17		
Areia	m <sup>3</sup>	0,05		
Mão-de-Obra	SM	0,032		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.3.7 Juntas Verticais

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Emulsão de asfalto	kg	0,25		
Mastique elástico	kg	0,3		
Mão-de-Obra	SM	0,006		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m	Cr\$			

4.4.1.3.8 Reforço de Fundação (enrocamento)

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.2.2.

4.4.1.4 Barragem de Concreto

4.4.1.4.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.4.2 Escavação de Rocha

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.2.

4.4.1.4.3 Preparo de Fundação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.3.

4.4.1.4.4 Concreto Armado

a) Usando betoneira - Concreto

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cimento	kg	200		
Areia	m <sup>3</sup>	0,35		
Brita	m <sup>3</sup>	0,95		
Betoneira	h	1		
Gasolina	ℓ	1		
Mão-de-Obra	SM	0,10		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

Fôrma com reaproveitamento de 50%.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tábua	m <sup>2</sup>	0,65		
Prego	kg	0,15		
Mão-de-Obra	SM	0,018		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

Armadura

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Ferro	kg	1,1		
Mão-de-Obra	SM	0,0016		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por kg	Cr\$			

b) Sem uso de betoneira

Concreto

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cimento	kg	200		
Areia	m <sup>3</sup>	0,35		
Brita	m <sup>3</sup>	0,95		
Mão-de-Obra	SM	0,16		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

Fôrma, com reaproveitamento de 50%.

- Adotar o mesmo preço calculado para o item anterior(a).

Armadura

- Adotar o mesmo preço calculado para o item anterior(a).

4.4.1.4.5 Junta de Dilatação

a) Pintura asfáltica

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Asfalto	kg	0,52		
Mão-de-Obra	SM	0,0032		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

b) Massa de Vedação (asfalto)

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P. unitário	Total
Asfalto	kg	27		
Mão-de-Obra	SM	0,008		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m	Cr\$			

4.4.1.4.6 Bacia de Dissipação

a) Laje de alvenaria de pedra argamassada

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.4.

b) Enrocamento

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.2.2.

4.4.1.4.7 Mureta de Alvenaria de Tijolo Maciço

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.5.

4.4.1.5 Barragem de Madeira

4.4.1.5.1 Paredes de Vedação

Parede de estaca ou pranchão cravado, conforme especificado na parte técnica.

a) Cravação manual

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P. unitário	Total
Estaca ou pranchão Cravação	m SM	L= p x 0,4 =		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por unidade	Cr\$			
L=comprimento total da estaca	e	p= profundidade cravada, em metros		

b) Cravação mecânica

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Estaca ou pranchão	m	L=		
Bate-estaca	h	px7,0=		
Óleo Diesel	ℓ	7xL=		
Mão-de-Obra	SM	px0,11=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por unidade de comprimento L	Cr\$			
L= comprimento total da estaca	e	p= profundidade cravada, em metros.		

4.4.1.5.2 Estacas de Apoio do Soalho

Estaca de apoio cravada, conforme especificação constante na parte técnica.

a) Cravação manual

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Estaca	m	L=		
Mão-de-Obra	SM	px0,36=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por unidade	Cr\$			

b) Cravação mecânica

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Estaca	m	L=		
Bate-estaca	h	px0,7		
Óleo Diesel	ℓ	px7,0=		
Mão-de-Obra	SM	px0,09=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por unidade	Cr\$			
L=comprimento total da estaca	e	p= profundidade cravada, em metros		

4.4.1.5.3 Enchimento

a) Com argila

Enchimento de argila, compactado a maço em camada de 15cm

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Argila	m <sup>3</sup>	1,0		
Transporte (item 5.4.1.3.1 c)	m <sup>3</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,056		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

Se a argila for aproveitamento do material proveniente de escavação exigida, eliminar os custos de argila e transporte.

b) Com areia grossa

Enchimento de areia grossa compactada a maço

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Areia	m <sup>3</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,015		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

c) Com brita ou cascalho

Enchimento com brita ou cascalho

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Brita ou cascalho	m <sup>3</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,016		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			



d) Com pedrão de mão

Enchimento com pedra de mão colocada manualmente.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Pedra	m <sup>3</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,019		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

e) Com solo arenoso-argiloso

Adotar o mesmo preço calculado para o item a.

4.4.1.5.4 Vigas Transversais e Longitudinais

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Viga	m	1,0		
Ferragem	kg	1,0		
(item 4.4.1.4.4 - Armadura)				
Mão-de-Obra	SM	0,048		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m	Cr\$			

4.4.1.5.5 Soalho

Soalho em pranchões duplos de 6,5 x 20 cm<sup>2</sup>

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Pranchões	m	10		
Prego	kg	3		
Mão-de-Obra	SM	0,16		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.5.6 Caixote das Ombreiras

a) Estacas de apoio

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.5.2.

b) Paredes externas (maciça)

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P. unitário	Total
Pranchão	m <sup>3</sup>	0,22		
Ferragem (item 4.4.1.4.4 - Arma dura)	kg	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,14		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

c) Paredes internas (vazadas)

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P. unitário	Total
Pranchões	m <sup>3</sup>	0,12		
Mão-de-Obra	SM	0,04		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

d) Enchimento

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.5.3.

4.4.1.5.7 Acabamento dos Encontros e Cristas das Barragens Laterais sobre as Ombreiras

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.1.2.

4.4.1.5.8 Colchão de Argila de Montante

Adotar os mesmos preços calculados para os itens 4.4.1.5.3 a, c e d.

4.4.1.5.9 Enrrocamento de Proteção de Jusante

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.5.3 d.

4.4.1.6 Barragem Ambursen

4.4.1.6.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.6.2 Escavação em Rocha

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.2.

4.4.1.6.3 Preparo de Fundação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.3.

4.4.1.6.4 Concreto Armado

a) Usando betoneira

Concreto

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P. unitário	Total
Cimento	kg	250		
Areia	m <sup>3</sup>	0,4		
Brita	m <sup>3</sup>	0,9		
Betoneira	h	1		
Gasolina	ℓ	1		
Mão-de-Obra	SM	0,10		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

Fôrma com reaproveitamento de 50%.

- Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4

Armadura

- Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4.

b) Sem uso de betoneira - Concreto

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cimento	kg	250		
Areia	m <sup>3</sup>	0,4		
Brita	m <sup>3</sup>	0,9		
Mão-de-Obra	SM	0,16		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

Fôrma com reaproveitamento de 50%.

- Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4

Armadura

- Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4

4.4.1.6.5 Paramento de Pranchão de Madeira

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Pranchão	pç	1		
Mão-de-Obra	SM	0,072		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por peça	Cr\$			

4.4.1.7 Vertedouro

4.4.1.7.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.7.2 Escavação de Rocha

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.2.

4.4.1.7.3 Preparo de Fundação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.3.

4.4.1.7.4 Enrocamento

Enrocamento em pequena quantidade

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Pedra	m <sup>3</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,019		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

Para grandes quantidades, adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.2.2.

4.4.1.7.5 Alvenaria de Pedra Argamassada

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.4.

4.4.1.7.6 Estacas de Madeira

Estaca de madeira D = 10 cm (ou perna 3" x 3"), comprimento 2,00 m, cravada 1,50 m na terra.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Estaca	un	1		
Mão-de-Obra	SM	0,012		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por unidade	Cr\$			

4.4.1.8 Tomada d'Água

4.4.1.8.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.8.2 Escavação de Rocha a Frio

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.2.

4.4.1.8.3 Preparo de Fundação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.3.

4.4.1.8.4 Concreto

a) Concreto armado

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.6.4.

b) Concreto sem armação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4, excluindo o custo de armadura.

4.4.1.8.5 Alvenaria de Pedra Argamassada

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.4.

4.4.1.9 Canal de Adução

4.4.1.9.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.9.2 Escavação de Rocha

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.2.

4.4.1.9.3 Alvenaria de Pedra Solta (seca)

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Pedra	m <sup>3</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,090		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

4.4.1.9.4 Alvenaria de Pedra Argamassada sobre Camada de Argamassa

a) Para camada de argamassa, adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.6.

- b) Para alvenaria de pedra, adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.4

4.4.1.9.5 Alvenaria de Tijolo Maciço sobre Camada de Argamassa

- a) Adotar para camada de argamassa o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.6.
- b) Adotar para alvenaria de tijolo maciço o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.5.

4.4.1.9.6 Concreto sem Armação

- a) Base de Brita

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Brita	m <sup>3</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,032		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

- b) Concreto e Fôrma

I) Usando betoneira - Concreto

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cimento	kg	190		
Areia	m <sup>3</sup>	0,38		
Brita	m <sup>3</sup>	0,84		
Betoneira	h	1,0		
Gasolina	ℓ	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,10		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

Fôrma com reaproveitamento de 50%.

- Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4.

II) Sem uso de betoneira

Concreto

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cimento	kg	190		
Areia	m <sup>3</sup>	0,38		
Brita	m <sup>3</sup>	0,84		
Mão-de-Obra	SM	0,16		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

Fôrma com reaproveitamento de 50%.

- Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4.

4.4.1.10 Tubulação de Adução de Baixa Pressão

4.4.1.10.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1

4.4.1.10.2 Colchão de Areia

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Areia	m <sup>3</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,020		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>3</sup>	Cr\$			

4.4.1.10.3 Concreto sem Armação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4, excluindo o preço da armadura.



4.4.1.10.4 Tubo de Aço

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tubo	kg	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,008		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por kg	Cr\$			

4.4.1.10.5 Tubo de Concreto Armado

a) Junta Rígida

Tubo de concreto armado, assente de acordo com a especificação constante na parte técnica e rejuntado com argamassa de cimento e areia traço 1:4.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tubo	m	1,05		
Cimento	kg	a=		
Areia	m <sup>3</sup>	b=		
Mão-de-Obra	SM	K=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m	Cr\$			

onde: os valores de a, b e k estão apresentados em função do diâmetro do tubo.

D m	a	b	K	D m	a	b	K
0,4	1,00	0,003	0,0322	1,0	5,02	0,016	0,1127
0,5	1,34	0,004	0,0446	1,1	5,86	0,019	0,1316
0,6	1,68	0,005	0,0575	1,2	6,70	0,022	0,1489
0,7	2,51	0,008	0,0683	1,3	7,37	0,024	0,1662
0,8	3,35	0,011	0,0817	1,4	8,04	0,026	0,1835
0,9	4,19	0,014	0,0962	1,5	8,71	0,028	0,2007

b) Junta Elástica

Tubo de concreto armado assente de acordo com a especificação constante na parte técnica e com junta de anel de borracha.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tubo Mão-de-Obra	m SM	1,05 K=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m	Cr\$			

onde: os valores de k estão apresentados em função do diâmetro do tubo.

D m	K	D m	K
0,4	0,0256	1,0	0,0950
0,5	0,0368	1,1	0,1084
0,6	0,0480	1,2	0,1293
0,7	0,0579	1,3	0,1382
0,8	0,0700	1,4	0,1531
0,9	0,0820	1,5	0,1680

4.4.1.10.6 Tubo de Cimento-Amianto

Tubo de cimento-amianto, classe CL-10, assente de acordo com a especificação constante na parte técnica e com junta de luva e anéis de borracha.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tubo	m	1,05		
Luva	un	0,25		
Anel de Borracha	un	0,5		
Espaçador	un	0,25		
Mão-de-Obra	SM	K=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m	Cr\$			

onde: os valores de K estão apresentados em função do diâmetro do tubo.

D cm	K
30	0,059
35	0,065
40	0,071
45	0,078
50	0,080

4.4.1.11 Câmara de Carga

4.4.1.11.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.11.2 Preparo de Fundação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.3.

4.4.1.11.3 Concreto Armado

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4.

4.4.1.11.4 Tubo de Aço

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.10.4

4.4.1.12 Chaminé de Equilíbrio

4.4.1.12.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.12.2 Preparo de Fundação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.3.

4.4.1.12.3 Concreto Armado

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4.

4.4.1.12.4 Tubo de Aço

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.10.4

4.4.1.13 Tubulação Forçada

4.4.1.13.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.13.2 Escavação de Rocha a Frio

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.2.

4.4.1.13.3 Preparo de Fundação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.3.

4.4.1.13.4 Concreto Armado

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4.

4.4.1.13.5 Tubo de Aço

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.10.4.

4.4.1.14 Casa de Máquina

4.4.1.14.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.14.2 Baldrame de Pedra

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.4 (Alvenaria de pedra argamassada).

4.4.1.14.3 Concreto Armado

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.4.4.

4.4.1.14.4 Alvenaria de Tijolo

a) Alvenaria de tijolo, em parede de 20 cm, com tijolo furado de 10 x 20 x 20 cm<sup>3</sup>.

4.4.1.14.4 Alvenaria de Tijolo

a) Alvenaria de tijolo, com parede de 20 cm, com tijolo furado de 10 x 20 x 20 cm<sup>3</sup>

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tijolo	un	50		
Cimento	kg	6		
Saibro	m <sup>3</sup>	0,04		
Mão-de-Obra	SM	0,027		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

b) Alvenaria de tijolo, em parede de 10 cm, com tijolo de 10 x 20 x 20 cm<sup>3</sup>

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tijolo	un	25		
Cimento	kg	3		
Saibro	m <sup>3</sup>	0,017		
Mão-de-Obra	SM	0,020		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.14.5 Parede de Madeira

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tábua de 1 <sup>a</sup>	m <sup>2</sup>	1,2		
Perna 3"x3"	m	0,5		
Prego	kg	0,1		
Mão-de-obra	SM	0,026		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%			
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.14.6 Revestimento

- a) Camada impermeabilizadora de piso em concreto simples, com 160 kg de cimento por m<sup>3</sup> e espessura de 10 cm.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cimento	kg	17,60		
Areia	m <sup>3</sup>	0,06		
Brita	m <sup>3</sup>	0,10		
Mão-de-Obra	SM	0,033		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

- b) Revestimento de massa única (reboco paulista) com argamassa bastarda de cimento, cal, saibro e areia, no traço de 1:4:4:6, acabamento a camurça ou sacco

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cimento	kg	2,50		
Cal hidratada	kg	5,00		
Saibro	m <sup>3</sup>	0,009		
Areia	m <sup>3</sup>	0,015		
Mão-de-Obra	SM	0,0112		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.14.7 Cobertura

4.4.1.14.7.1 Madeiramento

a) Para Cobertura de Telha Canaleta

Madeiramento de cobertura para telha canaleta.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Perna 3"x3"	m	L=		
Prego 18 x 30	kg	0,05 L=		
Mão-de-Obra	SM	0,001 L=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço Global	Cr\$			
L= comprimento total de madeira (perna) previsto p/cobertura, em m				

b) Para cobertura de telha de cimento amianto

Madeiramento de cobertura para telha de chapa ondulada de cimento amianto.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Perna 3"x3"	m	L=		
1/2 couçoeira	m	0,1 L=		
Prego 18 x 30	kg	0,05A=		
Mão-de-Obra	SM	0,02A=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço Global	Cr\$			
L= comprimento total de perna, em m; A=área coberta, em m <sup>2</sup>				

c) Para Cobertura de Telha Francesa

Madeiramento para cobertura de telha francesa.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Perna 3"x3"	m	L=		
1/2 couçoeira	m	0,1 L=		
Ripa=1,5cm x 5cm	m	2,5 L=		
Prego	kg	0,25A=		
Mão-de-Obra	SM	0,019A=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço Global	Cr\$			

L= comprimento total de perna, em m; A= área coberta em m<sup>2</sup>

4.4.1.14.7.2 Telhado

a) De Telha Canaleta

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Telha tipo canaleta	m <sup>2</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,002		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

b) De Telha de Cimento Amianto

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Chapa ondulada 6 ou 8 mm	m <sup>2</sup>	1,1		
Mão-de-Obra	SM	0,006		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			



c) De Telha Francesa

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Telha francesa	un	16		
Mão-de-Obra	SN	0,022		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.14.8 Esquadrias

a) Porta de 1,20 x 2,10 m<sup>2</sup>, externa, maciça, em 2 folhas

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Marco	jg	1		
Folha 0,60x2,10, maciça	un	2		
Dobradiça 3"x2 1/2"	un	6		
Fecho redondo, comprimento 20 cm	un	2		
Fechadura completa	cj	1		
Mão-de-Obra	SM	0,16		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço total por unidade de (1,20 x 2,10)	Cr\$			

b) Porta de 0,80 x 2,10 m<sup>2</sup>, externa, maciça

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Marco	jg	1		
Folha 0,80x2,10, maciça	un	1		
Dobradiça	un	3		
Fechadura completa	cj	1		
Mão-de-Obra	SM	0,10		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço total por unidade	Cr\$			

c) Caixilho Fixo de Madeira

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Caixilho (madeira) completo	un	1		
Vidro 3mm	m <sup>2</sup>	A=		
Mão-de-Obra	SM	0,072		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço total por unid.	Cr\$			
A= área envidraçada, em m <sup>2</sup> .				

4.4.1.14.9 Pintura

a) Caliação sobre parede, em 3 demãos:

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Cal virgem	kg	0,6		
Óleo de linhaça	kg	0,02		
Mão-de-Obra	SM	0,005		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

b) Pintura a óleo s/madeira, com tinta econômica, auto-seladora, em 2 demãos.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tinta a Óleo preparada	gal.	0,06		
Mão-de-Obra	SM	0,011		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.14.10 Instalação Elétrica

a) Ponto de Luz no Teto

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Eletroduto	vara	1		
Fio nº 12	m	6,0		
Receptáculo	un	1		
Interruptor	un	1		
Mão-de-Obra	SM	0,08		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço total por ponto de luz no teto	Cr\$			

b) Tomada de Corrente na Parede

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Eletroduto	vara	1		
Fio nº 14	m	6,0		
Tomada	un	1		
Caixa estampada 4"x2"	un	1		
Mão-de-Obra	SM	0,052		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço total por tomada de corrente	Cr\$			

4.4.1.15 Canal de Fuga

4.4.1.15.1 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1

4.4.1.15.2 Escavação de Rocha

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.2.

4.4.1.15.3 Alvenaria de Pedra Solta

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.9.3.

4.4.1.15.4 Alvenaria de Pedra Argamassada sobre Camada de Argamassa

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.9.4.

4.4.1.15.5 Alvenaria de Tijolo Maciço sobre Camada de Argamassa

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.9.5.

4.4.1.15.6 Concreto sem Armação

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.9.6.

4.4.1.16 Desvio do Rio

4.4.1.16.1 Ensecadeira

a) Enrocamento

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.2.2.

b) Aterro

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.1.2.

4.4.1.16.2 Escavação Comum

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.1.

4.4.1.16.3 Escavação de Rocha

Adotar o mesmo preço calculado para o item 4.4.1.3.2.

4.4.1.16.4 Tubulação

Tubulação em concreto armado, inclusive embocaduras de concreto, conforme especificado na parte técnica.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tubo	m	1,0		
Concreto (item 4.4.1.4.4.b)	m <sup>3</sup>	0,15		
Mão-de-Obra	SM	K1=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço total por m	Cr\$			

onde: os valores de K<sub>1</sub> são apresentados em função do diâmetro da tubulação.

D (m)	K <sub>1</sub>
0,30	0,016
0,40	0,021
0,50	0,030
0,60	0,040
0,70	0,049
0,80	0,060
0,90	0,072
1,00	0,085
1,10	0,100
1,20	0,112

4.4.1.17 Canteiro e Acampamento

4.4.1.17.1 Almojarifado, Escritório e Dormitórios

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Tábua de 3a.	m <sup>2</sup>	3,0		
Perna 3"x3"	m	6,0		
Piso (item 4.4.1.14.6.b)	m <sup>2</sup>	1,0		
Chapa ondulada cimento-amianto, 6mm item 4.4.1.14.7.2.b	m <sup>2</sup>	1,0		
Mão-de-Obra	SM	0,048		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

4.4.1.18 Estrada de Acesso

4.4.1.18.1 Estrada

a) Em terreno bom

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Raspagem do terreno	SM	0,018		
Ensaibramento	m <sup>3</sup>	0,60		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m	Cr\$			

b) Em terreno médio

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Raspagem do terreno	SM	0,018		
Aterro compactado	m <sup>3</sup>	2,4		
(item 4.4.1.1.2.a)				
Ensaibramento	m <sup>3</sup>	0,60		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m	Cr\$			

c) Em terreno ruim

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Raspagem do terreno	SM	0,018		
Aterro compactado	m <sup>3</sup>	3,4		
(item 4.4.1.1.2.a)				
Ensaibramento	m <sup>3</sup>	0,6		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m	Cr\$			

d) Em terreno p $\bar{e}$ ssimo

Discrimina $\bar{c}$ o	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unit $\bar{a}$ rio	Total
Remo $\bar{c}$ o de arbustos	SM	0,008		
Aterro compactado (item 4.4.1.1.2)	m <sup>3</sup>	15,0		
Ensaibramento	m <sup>3</sup>	0,6		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Pre $\bar{c}$ o por m	Cr\$			

4.4.1.18.2 Bueiro

Adotar o mesmo pre $\bar{c}$ o calculado para o item 4.4.1.16.4 (Tubula $\bar{c}$ o).

4.4.2 Procedimentos para Cálculo de Custos de Equipamentos  
Mecânicos

4.4.2.1 Comporta

a) De Madeira

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Madeira	m <sup>3</sup>	a=		
Ferro CA25	kg	b=		
Mão-de-Obra	SM	c=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por unidade	Cr\$			

onde: os valores de a, b e c estão apresentados na tabela a seguir:

Dimensões da Comporta (m <sup>2</sup> )	a	b	c
0,60 x 0,60	0,023	11,5	0,115
0,60 x 0,70	0,027	13,5	0,135
0,75 x 0,85	0,038	19,0	0,190
0,75 x 1,00	0,042	21,0	0,210
0,90 x 1,00	0,050	25,0	0,250
1,05 x 1,00	0,074	37,0	0,370
1,05 x 1,20	0,084	42,0	0,420
1,05 x 1,35	0,092	46,0	0,460
1,20 x 1,35	0,105	50,0	0,500
1,20 x 1,50	0,114	57,0	0,570
1,40 x 1,50	0,113	65,0	0,650
1,40 x 1,80	0,154	77,0	0,770
1,40 x 1,95	0,165	82,0	0,820
1,55 x 2,00	0,223	110,0	1,100
1,55 x 2,05	0,228	114,0	1,140
1,70 x 2,05	0,250	125,0	1,250
1,75 x 2,35	0,289	145,0	1,450
1,90 x 2,35	0,314	157,0	1,550
2,05 x 2,35	0,338	169,0	1,650
2,20 x 2,35	0,363	180,0	1,800

b) De Aço Fundido Padronizado

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Comporta	un	1		
Pedestal	un	1		
Montagem	SM	K=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por unidade	Cr\$			



Encontram-se abaixo os valores de  $K_1$ , em função das dimensões da comporta:

Tamanho (m <sup>2</sup> )	Valor de $K_1$
0,2 x 0,2	0,35
0,3 x 0,3	0,50
0,4 x 0,4	0,60
0,5 x 0,5	0,85
0,6 x 0,6	1,20
0,7 x 0,7	1,40
0,8 x 0,8	1,70
0,9 x 0,9	2,00
1,0 x 1,0	2,20

c) Em chapa e perfis de aço

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Aço Montagem	kg SM	G= 0,002G=		
Subtotal BDI	Cr\$ %	25		
Preço total por unidade	Cr\$			

onde os valores de G (em kg) são dados em função das dimensões da comporta.

Dimensões (m <sup>2</sup> )	Peso G	Dimensões (m <sup>2</sup> )	Peso G
0,40 x 0,60	12	1,50 x 1,40	146
0,70 x 0,60	21	1,80 x 1,40	176
0,85 x 0,75	41	1,95 x 1,40	190
1,00 x 0,75	48	2,00 x 1,55	218
1,00 x 0,90	57	2,05 x 1,55	222
1,00 x 0,95	68	2,05 x 1,70	251
1,20 x 1,05	81	2,35 x 1,75	295
1,35 x 1,05	91	2,35 x 1,90	325
1,35 x 1,20	112	2,35 x 2,05	346
1,50 x 1,20	125	2,35 x 2,20	367

4.4.2.2 Grade

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Ferro	kg	AxG=		
Mão-de-Obra	SM	0,002G=		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço total por grade	Cr\$			

onde:

A = área da grade em  $m^2$

G = peso por  $m^2$  da grade, dado na parte técnica como  $90 \text{ kg}/m^2$ .

4.4.2.3 Válvula Borboleta

a) Custo FOB

O custo FOB de válvula borboleta poderá ser obtido (juntamente com outros equipamentos) por consulta e fabricante, conforme modelo A de carta, anexo.

b) Custo de Transporte

O custo de transporte de válvula borboleta poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta anexo, onde se obtém o custo global de transporte;

II - por consulta a transportador, em função:

- . do peso G da válvula, obtido com o fabricante ou na TABELA 4.4.2.5/I, em anexo;
- . da distância L do local da central à fábrica;
- . do custo unitário de transporte ( $c_t$ ) em Cr\$/t.km dado pelo transportador;
- . da expressão:  $C_t = G \times L \times c_t$

c) Custo de Montagem

O custo de montagem de válvula borboleta poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta anexo, onde se obtém o custo global de montagem;

II - por consulta a montador, em função:

. do peso G da válvula, obtido conforme alínea b II deste item ;

. do custo unitário de montagem ( $c_m$ ) em Cr\$/kg obtido por consulta a montador;

. da expressão  $C_m = G \times c_m$

III - como uma percentagem (5%) do custo FOB (só utilizar na falta de outras informações).

4.4.2.4 Ponte Rolante e Talha (Equipamento p/mov. de carga)

a) Custo FOB

O custo FOB de uma talha equipada com carrinho tipo trole, deslocando-se numa ponte rolante cuja viga principal é a monovia, poderá ser obtido por consulta a fabricante ou fornecedor, conforme modelo B de carta, anexo.

b) Custo de Transporte

O custo de transporte da ponte rolante poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme o modelo B de carta, anexo, onde se obtém o custo global de transporte;

II - por consulta a transportador, em função:

. do peso da ponte, obtido do fabricante (preferencialmente) ou da tabela a seguir

TABELA 4.4.2.4

Vão = 5 m Capacidade t	Peso t
5	2,75
6	3,00
7	3,25
8	3,50
9	3,75
10	4,00
11	4,25
12	4,50
13	4,75
14	5,00
15	5,25
16	5,50
17	5,75
18	6,00
19	6,25
20	6,50

- . da distância (L) do local da PCH à fábrica
- . do custo unitário de transporte ( $c_t$ ) em Cr\$/t.km, dado pelo transportador;
- . da expressão :  $C_t = G \times L \times c_t$

## c) Custo de montagem

O custo de montagem ( $C_m$ ) da ponte rolante poderá ser obtido :

- I - por consulta a fabricante, conforme modelo B de carta, anexo, onde se obtém o custo global de montagem;
- II - por consulta a montador, em função:
  - . do peso G da ponte, obtido alínea bII deste item ;
  - . do custo unitário de montagem ( $c_m$ ) em Cr\$/kg, obtido por consulta a montador;
  - . da expressão :  $C = G \times c$
- III - como percentagem (5%) do custo FOB (só utilizar na falta de outras informações).

#### 4.4.2.5 Turbina

##### a) Custo FOB

O custo FOB de turbina poderá ser obtido (juntamente com outros equipamentos) por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo.

##### b) Custo de Transporte

O custo de transporte de turbina poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo, onde se obtém o custo global de transporte;

II - por consulta a transportador, em função:

- . do peso G da turbina, obtido com o fabricante ou, no caso particular de turbina Francis e caixa fechada, na TABELA 4.4.2.5;
- . da distância L do local da PCH à fábrica;
- . do custo unitário de transporte ( $c_t$ ) em Cr\$/t.km dado pelo transportador;
- . da expressão:  $C_t = G \times L \times c_t$

##### c) Custo de Montagem

O custo de montagem de turbina poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo, onde se obtém o custo global de montagem;

II - por consulta a montador, em função:

- . do peso G da turbina, obtido conforme alínea bII deste item;
- . do custo unitário de montagem ( $c_m$ ) em Cr\$/kg, obtido por consulta a montador;
- . da expressão:  $C_m = G \times c_m$

III - como uma percentagem (5%) do custo FOB (só utilizar na falta de outras informações)

#### 4.4.2.6 Regulador de Velocidade

##### a) Custo FOB

O custo FOB de regulador de velocidade poderá ser obtido

(juntamente com outros equipamentos) por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo.

b) Custo de Transporte

O custo de transporte do regulador de velocidade poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo, onde se obtém o custo global de transporte;

II - por consulta a transportador, em função:

- . do peso G de regulador obtido com o fabricante ou na TABELA 4.4.2.5;
- . da distância L da MCH à fábrica;
- . do custo unitário de transporte ( $c_t$ ) em Cr\$/t.km, dado pelo transportador;
- . da expressão :  $C_t = G \times L \times c_t$

c) Custo de Montagem

O custo de montagem do regulador de velocidade poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo, onde se obtém o curso global de montagem;

II - por consulta a montador, em função:

- . do peso G do regulador de velocidade obtido conforme alínea bII deste item ;
- . do custo unitário de montagem ( $c_m$ ) obtido por consulta a montador;
- . da expressão :  $C_m = G \times c_m$

III - como uma percentagem (5%) do custo FOB (só utilizar na falta de outras informações)

MODELO "A" - CARTA PARA SOLICITAÇÃO DE CUSTOS DE EQUIPAMENTOS ELE  
TROMECÂNICOS

Local e Data \_\_\_\_\_

Nome do Fabricante \_\_\_\_\_

Rua \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_

Cidade \_\_\_\_\_ Estado \_\_\_\_\_

Ref.: Custo de Equipamentos  
Eletromecânicos

Prezados Senhores:

Estamos estudando a implantação de uma minicentral hí-  
drelétrica, cujos dados são fornecidos a seguir:

- Queda líquida - H = \_\_\_\_\_ m
- Descarga - Q = \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s
- Potência Instalada = \_\_\_\_\_ kW
- Tubulação: Ø \_\_\_\_\_ m; L = \_\_\_\_\_ m
- Localização do aproveitamento:
- Croquis esquemático, anexo.

Solicitamos a V.Sas. o fornecimento de informações técni-  
cas e de custos de equipamentos, conforme relacionado a seguir:

A) Informações Técnicas

Turbina: Tipo \_\_\_\_\_; Rotação = \_\_\_\_\_ rpm  
Gerador - Potência na saída : kVA; Rotação = \_\_\_\_\_ rpm  
Tipo de Acoplamento Turbina/Gerador:  
Diferença necessária entre a cota do piso da casa de máquinas  
e nível d'água de jusante \_\_\_\_\_ m;  
Catálogos e publicações existentes.

B) Informações Relativas a Custos

Equipamento	Peso e Custo	PESO kg	CUSTO (MIL CR\$)			
			FOB	Imposto	Transporte	Montagem
Válvula Borboleta						
Turbina *						
Regulador de Velocidade						
Gerador Síncrono e Sistema de Excitação						
Quadro de Comando						
Tubulação						

A resposta deverá ser enviada para: \_\_\_\_\_

Sr. \_\_\_\_\_  
Rua \_\_\_\_\_ nº \_\_\_\_\_  
CEP - Cidade - Estado

Atenciosamente,

(Assinatura do Responsável)

\* O custo de turbina deve englobar custos  
de transmissão completa e cone de sucção.

MODELO "B" - CARTA PARA SOLICITAÇÃO DE CUSTOS DE PONTE ROLANTE

Local e Data

Nome do Fabricante ou Fornecedor

Rua

CEP - Cidade - Estado

Ref.: Custo de Ponte Rolante

Prezados Senhores:

Estamos estudando a implantação de uma central hidrelétrica, onde está prevista a instalação de uma talha equipada com carrinho trole que se desloca numa ponte rolante, cuja viga principal é a monovia, e que tem as seguintes características:

- vão =                    m (distância entre trilhos)
- capacidade =                    t
- comprimento dos trilhos = 2 x                    m
- local da central :

Com base nas características fornecidas, solicitamos a V.Sas. o especial obséquio de fornecerem os seguintes dados, referentes a ponte rolante:

- peso total =                    t
  - custo FOB                            = Cr\$
  - custo de transporte = Cr\$
  - custo de montagem                = Cr\$
- custo total                = Cr\$

A resposta deverá ser enviada para:

Sr.

Rua

CEP - Cidade - Estado

Atenciosamente

\_\_\_\_\_  
(Assinatura do Responsável)



TABELA 4.4.2.5  
PESO DE TURBINA FRANCIS

QUEDA LIQUIDA m	DES CARGA m <sup>3</sup> /s	POTÊN CIA kW	ROTA ÇÃO rpm	P E S O - kg			
				Turbina propr. dita	Regula dor de Veloc.	Válvula Borbo- leta	Total

RODÍZIO SIMPLES

25	0,56	100	1.200	3.200	600	200	4.000
25	0,84	150	900	3.600	600	300	4.500
25	1,12	200	720	3.800	800	400	5.000
25	1,40	250	720	4.700	800	500	6.000
25	1,68	300	720	5.450	800	550	6.800
25	1,95	350	720	5.480	1.100	620	7.200
25	2,23	400	600	6.150	1.100	750	8.000
25	2,51	450	600	6.490	1.100	810	8.400
25	2,79	500	600	6.820	1.100	880	8.800
25	3,35	600	600	7.560	1.100	940	9.600
25	3,91	700	600	7.250	1.700	1.050	10.000
25	4,47	800	514	7.900	2.000	1.100	11.000
25	5,03	900	514	7.850	2.000	1.150	11.000
25	5,59	1.000	450	7.700	2.000	1.300	11.000

RODÍZIO DUPLO

25	3,35	600	900	7.960	1.100	940	10.000
25	3,91	700	900	8.250	1.700	1.050	11.000
25	4,47	800	720	8.900	2.000	1.100	12.000
25	5,03	900	720	8.850	2.000	1.150	12.000
25	5,59	1.000	600	9.700	2.000	1.300	13.000

4.4.3 Procedimentos para Cálculo de Custos de Equipamentos e Instalações Elétricas

4.4.3.1 Geradores Síncronos e Sistema de Excitação

a) Custo FOB

O custo FOB do gerador poderá ser obtido (juntamente com outros equipamentos) por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo.

b) Custo de Transporte

O custo de transporte de gerador poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexa, onde se obtém o custo global de transporte;

II - por consulta a transportador, em função:

- . do peso G do gerador obtido com o fabricante ou nas TABELAS 4.4.3.1/I e 4.4.3.1/II, em anexo;
- . da distância (L) do local da PCH à fábrica;
- . do custo unitário de transporte ( $c_t$ ) em CrS/t.km, dado pelo transportador;
- . da expressão :  $C_t = G \times L \times c_t$

c) Custo de Montagem

O custo de montagem do gerador poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo, onde se obtém o custo global de montagem;

II - por consulta a montador, em função:

- . do peso G do gerador, obtido conforme alínea bII deste item;
- . do custo unitário de montagem ( $c_m$ ) em CrS/kg, obtido por consulta a montador;
- . da expressão :  $C_m = G \times c_m$

III - como uma percentagem (2%) do custo FOB (só utilizar na falta de outras informações).

#### 4.4.3.2 Quadro de Comando

##### a) Custo FOB

O custo FOB de quadro de comando poderá ser obtido (juntamente com outros equipamentos) por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta anexo.

##### b) Custo de Transporte

O custo de transporte de quadro de comando poderá ser obtido :

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo, onde se obtém o custo global de transporte;

II - por consulta a transportador, em função:

. do peso G do quadro de comando, obtido com o fabricante ou na TABELA 4.4.3.2, em anexo;

. da distância (L) da MCH à fábrica;

. do custo unitário de transporte ( $c_t$ ) em Cr\$/t.km, dado pelo transportador;

. da expressão :  $C_t = G \times L \times c_t$

##### c) Custo de Montagem

O custo de montagem do quadro de comando poderá ser obtido:

I - por consulta a fabricante, conforme modelo A de carta, anexo, onde se obtém o custo global de montagem;

II - por consulta a montador, em função :

. do peso G do quadro de comando, obtido conforme alínea bII deste item;

. do custo unitário de montagem ( $c_m$ ) em Cr\$/kg, obtido por consulta a montador;

. da expressão:  $C_m = G \times c_m$

III - como uma percentagem (2%) do custo FOB (só utilizar na falta de outras informações).

#### 4.4.3.3 Dispositivo de Proteção

O preço referente a dispositivo de proteção deverá ser obtido por consulta ao fabricante do gerador. Para tanto, na ocasião

da consulta dos custos de turbina e gerador, deverá ser incluído este item na carta consulta modelo A.

#### 4.4.3.4 Subestação

O custo total da subestação deverá ser calculado considerando os seguintes itens:

##### A) Obras Cíveis

- Serviços em terra, rocha, alvenaria - ver item 4.4.1.3 - Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada.
- Concreto, fôrma, armadura - ver item 4.4.1.14 - Casa de Máquina.

##### B) Cabos e Disjuntores

- Cabos de interligação - após dimensionamento pelo processo apresentado em 4.2.4.4, consultar o fornecedor ou fabricante, citando o tipo de cabo ou a amperagem máxima prevista.
- Disjuntores - consultar empresa concessionária de energia elétrica da região, fabricante ou fornecedor.
- Acrescentar ao preço obtido dos fornecedores ou fabricantes, os custos de transporte e de montagem e teste dos disjuntores (10%).

#### 4.4.3.5 Ligação do Gerador à Subestação

Adotar os mesmos critérios e procedimentos indicados para o caso de dimensionamento de cabos de interligação no item anterior e 4.2.4.5 da parte técnica.

#### 4.4.3.6 Linha de Alimentação

Para estimativa preliminar do custo da linha de transmissão é recomendável (quando possível) consultar a empresa concessionária de energia elétrica que serve a região ou empreiteiro habituado em serviços de implantação de linhas.

É apresentada, a seguir, a composição de preços para os principais serviços necessários para implantação da linha de Alimentação.

A) Limpeza de Faixa

- Roçado a foice e machado, em mato de pequeno porte, sem destocamento, remoção e queima dos resíduos.

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Mão-de-Obra	SM	0,002		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

- Limpeza do terreno com equipamento mecânico

Discriminação	Un.	Quantidade	Custo em Cr\$	
			P.unitário	Total
Trator	h	0,0025		
Lubrificante	ℓ	0,0005		
Óleo Diesel	ℓ	0,017		
Mão-de-Obra	SM	0,00003		
Subtotal	Cr\$			
BDI	%	25		
Preço por m <sup>2</sup>	Cr\$			

B) Posteação

- Escavação comum

Adotar o mesmo preço calculado para item 4.4.1.3.1.

- Concreto

Adotar o mesmo preço calculado para item 4.4.1.4.4.

- Postes, incluindo todas as ferragens e acessórios

Material - ver quantidade apresentado no item 4.2.4.6 e aplicar o custo do mercado

Mão-de-Obra :

Tipo N1 = 0,25 x SM  
 Tipo N2 = 0,25 x SM  
 Tipo N3 = 0,40 x SM  
 Tipo N4 = 0,40 x SM

C) Condutores

Ver dimensionamento citado no item 4.2.4.6.

Obter o custo dos cabos condutores em função da bitola, tipo de material e quantidade necessária, pesquisando na região ou consultando fornecedores ou fabricantes de cabos. Acrescentar 25% sobre o custo do material para previsão de gastos com transporte, instalação, perdas, etc.

#### 4.4.3.7 Sistema de Comunicação

Obter o preço do sistema de comunicação, consultando fornecedor ou fabricante deste tipo de equipamento. Acrescentar 15% sobre o custo obtido para previsão de despesas com transporte, instalações e teste, quando estes custos não tiverem sido já incluídos pelo fornecedor ou fabricante.

TABELA 4.4.3.1/I

## PESO DE GERADOR

SÍNCRONO, TRIFÁSICO, COM REGULADOR DE TENSÃO

POTÊNCIA kVA (P)	ROTAÇÃO rpm	PESO t (G)
30	1.200	0,36
60	1.200	0,43
120	1.200	0,97
180	900	1,80
240	720	2,60
300	720	3,70
360	720	4,40
420	720	4,60
480	600	6,00
540	600	6,50
600	600	7,00
720	600	7,50
840	600	8,00
960	514	8,50
1.080	514	10,00
1.200	450	13,00

TABELA 4.4.3.1/II  
PESO DE GERADOR  
SINCRONO, TRIFÁSICO, 1.800 rpm, C/REGULADOR DE TENSÃO

POTÊNCIA kVA (P)	P E S O t (G)
90	0,523
135	0,725
180	0,900
200	0,933
210	0,950
230	1,050
275	1,380
285	1,407
330	1,586
355	1,800
400	1,864
500	2,100
600	2,580
750	3,100
1.000	3,700
1.250	4,200



TABELA 4.4.3.2

## PESO DE QUADRO DE COMANDO

POTÊNCIA kW (P)	P E S O t (G)
25	0,030
50	0,035
100	0,080
150	0,100
200	0,115
250	0,170
300	0,195
350	0,205
400	0,215
450	0,235
500	0,245
600	0,300
700	0,350
800	0,400
900	0,500
1.000	0,600

#### 4.4.4 Administração do Proprietário

O valor a ser previsto para este item refere-se a custos relativos a:

- fiscalização das obras durante a construção;
- operação de escritórios para suprimento de materiais e equipamentos, liberação de medições, faturas, pagamentos, coordenação de projeto, consultoria jurídica e contábil, e laboração de contratos, etc.

O custo global da administração poderá preliminarmente ser estimado pela expressão:

$$\text{Custo de Administração} = 0,4 \times P \times \text{SM}$$

onde, P = Potência Instalada, em kW;

SM = Valor do Salário Mínimo mensal.

#### 4.4.5 Engenharia de Projeto

O valor a ser previsto neste item refere-se a custos para pagamento de estudos, projetos de engenharia, preparo de documentos técnicos para aprovação, etc.

O custo global de engenharia de projeto poderá preliminarmente ser estimado pela expressão:

$$\text{Custo de Engenharia} = 0,7 \times P \times \text{SM}$$

#### 4.4.6 Eventuais

Como provisão para eventuais acréscimos de custos, devido a variações de quantidades e/ou preços de itens de serviços, provocadas pela ocorrência de surpresas geológicas, mercadológicas, etc., recomenda-se acrescentar 15% sobre a soma de todos os valores anteriormente calculados.

Para implantação da minicentral hidrelétrica, eventualmente, poderá ser necessária a aquisição de terras e/ou indenizações de benfeitorias de terceiros. Neste caso, o custo previsto para tal deverá ser incluído na Estimativa de Custos, no item AQUISIÇÃO DE TERRAS, do ANEXO 4.4.8.A.

Conceitualmente, são os juros calculados sobre o capital investido na implantação do empreendimento e que, durante a construção, não produz retorno (rendimento). O valor dos juros durante a construção, na prática, é a soma dos encargos financeiros de empréstimos a serem tomados para a sua realização e do valor da remuneração que seria obtida pela aplicação de recursos próprios na implantação do empreendimento. São estimados em função do cronograma de desembolso durante a construção, adotando-se taxa de juros adequada e considerando a capitalização anual (juros simples durante o ano e juros compostos de um ano para outro).

Para uma avaliação preliminar de juros durante a construção - JDC, com taxa anual de  $i = 10\%$ , sendo A o valor do orçamento total do empreendimento:

- prazo de construção de 1 ano : o valor de JDC = 5,0% de A
- prazo de construção de 2 anos: o valor de JDC = 9,2% de A
- prazo de construção de 3 anos: o valor de JDC = 12,6% de A

No caso de adoção de taxa de juros diferente de 10% a.a., as percentagens indicadas para JDC deverão ser corrigidas, podendo-se considerar novas taxas calculadas por regra de três simples.

4.4.8 Estimativa de Custo

A) Orçamento Final de Minicentral Hidrelétrica

O orçamento deverá ser preparado com base na itemização prevista na PLANILHA PADRÃO, apresentanda como ANEXO 4.4.8/A, devendo ser observadas as seguintes recomendações:

- a) em cada estrutura, não deve ser omitido nenhum item de serviço previsto na Planilha;
- b) para evitar omissão de estruturas ou serviços é aconselhável utilizar cópia da própria Planilha e verificar cuidadosamente todas as estruturas previstas;
- c) na coluna do preço unitário devem ser adotados os valores obtidos através dos procedimentos recomendados nos itens 4.4/A e B;
- d) deve-se verificar se todos os critérios e instruções constantes nos itens 4.4.1 a 4.4.7 foram analisados.

B) Estimativa de Custos em Estudos Preliminares

Para auxiliar a execução de estudos iniciais, vale dizer, pesquisa de locais para implantação, alternativas de arranjos e estudos econômicos preliminares, foi incluído neste capítulo o ANEXO 4.4.8/B - TABELA DE PREÇOS UNITÁRIOS, cujas características são:

- a) os preços unitários constantes na TABELA NÃO SERVEM PARA UTILIZAÇÃO DIRETA, (sem os devidos ajustamentos e correções), mesmo em estudos preliminares;
- b) os preços estão referidos a NOVEMBRO de 1984.
- c) os preços unitários foram obtidos com base nas composições apresentadas neste manual, com os preços vigentes no RIO DE JANEIRO.

Portanto, mesmo em estudos preliminares, a utilização desses preços unitários deverá ser precedida de 2 correções:

- Correção monetária para a data da realização dos estudos, com aplicação de um multiplicador correspondente à variação das ORTN's (Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional), cujo valor na data base de novembro de 1984 foi Cr\$ 20.118,71.
- Fator de ajustamento às condições locais - deverá ser pesquisado e avaliado o acréscimo ou desconto médio a ser aplicado sobre todos os preços base corrigidos monetariamente, exceto o custo de aquisição de equipamentos. Para

tanto, na ausência de melhores informações, calcular o multiplicador a partir da expressão:

$$F = 0,15 \frac{CiL}{CiRJ} + 0,075 \frac{MdL}{MdRJ} + 0,15 \frac{FeL}{FeRJ} + 0,075 \frac{BrL}{BrRJ} + 0,15 \frac{CaL}{CaRJ} + 0,40 \frac{MoL}{MoRJ}$$

sendo:

Ci, Md, Fe, Br, Ca, Mo, respectivamente, os preços unitários de Cimento, Madeira, Ferro, Brita, Caminhão e Mão-de-Obra (carpinteiro), para o local do aproveitamento (L) e para o Rio de Janeiro (RJ). Esses valores deverão ser obtidos em pesquisa de mercado, para a região do local do aproveitamento e, para o RIO DE JANEIRO, mediante a correção monetária dos preços dos INSUMOS apresentados no ANEXO 4.4.8/B.

- Exemplo:

Calcular o multiplicador de correção monetária, fator de ajustamento às condições locais e o preço unitário da Alvenaria de Pedra Argamassada em Novembro de 1986 para ser utilizado nos Estudos Preliminares da Usina Hidrelétrica Barro Preto (Hipotética).

. Dados pesquisados na região da usina em cogitação (referidos a Novembro de 1986):

Cimento	Cr\$ 120.000/saco
Madeira (tábua de 1" de espessura)	Cr\$ 50.000/m <sup>2</sup>
Ferro CA 50	Cr\$ 10.000/kg
Brita 1 (seixo rolado peneirado)	Cr\$ 150.000/m <sup>3</sup>
Caminhão basculante (s/ combustível, lubrificantes e motorista)	Cr\$ 110.000/h
Carpinteiro de fôrmas	Cr\$ 9.000/h

. Dados constantes no Manual:

Preço da Alvenaria de Pedra Argamassada:  
Cr\$ 60.100/m<sup>3</sup>, em novembro de 1984, no Rio de Janeiro (ANEXO 4.4.8/B)

Valor da ORTN em Novembro de 1984 = Cr\$ 20.118,71

. Informação obtida em agência bancária:

Valor da ORTN em Novembro/86 (hipotético) = Cr\$ 180.000,00

1) Multiplicador para Correção Monetária:

$$180.000 \div 20.118,71 = 8,947$$

2) Valores de Insumos constantes no Manual, corrigidos monetariamente:

Cimento	10.500 x 8,947	=	93.944
Madeira	7.000 x 8,947	=	63.629
Ferro CA 50	1.000 x 8,947	=	8.947
Brita 1	23.000 x 8,947	=	205.781
Caminhão Basculante	13.726 x 8,947	=	122.807
Carpinteiro	850 x 8,947	=	7.605

3) F = Fator de Ajustamento para Condições Locais:

$$F = 0,15 \times \frac{120.000}{93.944} + 0,075 \frac{50.000}{62.629} + 0,15 \frac{10.000}{8.947} + 0,075 \frac{150.000}{205.781} \\ + 0,15 \frac{110.000}{122.807} + 0,40 \frac{9.000}{7.605} = 1,08153 \approx \underline{1,082}$$

4) Preço Unitário a ser adotado nos Estudos Preliminares da Usina Hidrelétrica Barro Preto:

$$\text{Cr\$ } 60.100/\text{m}^3 \times 8,947 \times 1,082 = \underline{\text{Cr\$ } 581.807/\text{m}^3}$$

## PLANILHA PADRÃO

ESTIMATIVA DE CUSTOS

USINA: \_\_\_\_\_ POTÊNCIA: \_\_\_\_\_ kW

RIO: \_\_\_\_\_ CUSTOS REFERIDOS A \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_\_

CIDADE/ESTADO: \_\_\_\_\_ TAXA DE CÂMBIO: 1 US\$ = \_\_\_\_\_

DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>OBRAS CIVIS</u>	gl			
- <u>Barragem de Terra</u>	gl			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			
. Lançamento, espalhamento e compactação do aterro	m <sup>3</sup>			
.. c/material de empréstimo	m <sup>3</sup>			
.. c/material de escavação exigida	m <sup>3</sup>			
. Proteção da barragem	gl			
.. c/areia, brita e pedra (barragem homogênea)	m <sup>2</sup>			
.. c/grama em placa	m <sup>2</sup>			
.. com solo cimento	m <sup>3</sup>			
.. c/areia, brita e pedra (barragem mista)	m <sup>3</sup>			
- <u>Barragem de Enrocamento</u>	gl			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			
. Lançamento, espalhamento e compactação do material de enrocamento	gl			
..c/material de empréstimo	m <sup>3</sup>			
..c/material de escavação exigida	m <sup>3</sup>			
. Reforço de crista e dos taludes	m <sup>3</sup>			

DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
- <u>Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada</u>	gl			
. Escavação comum, c/ transp.	m <sup>3</sup>			
. Escavação de rocha, c/ transporte	m <sup>3</sup>			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			
. Alvenaria de pedra argamassada	m <sup>3</sup>			
. Alvenaria de tijolo maciço (e = 20 cm)	m <sup>2</sup>			
. Revestimento c/argamassa de cimento e areia (1:4) (e = 5 cm)	m <sup>2</sup>			
. Juntas verticais	m			
. Reforço de fundação (enrocamento)	m <sup>3</sup>			
- <u>Barragem de Concreto</u>	gl			
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Escavação de rocha, c/ transporte	m <sup>3</sup>			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			
. Concreto armado	gl			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			
.. armadura	kg			
. Junta da dilatação	gl			
. Bacia de dissipação	gl			
.. laje de pedra argamassada	m <sup>3</sup>			
.. enrocamento	m <sup>3</sup>			
. Mureta de alvenaria de tijolo maciço (e = 20 cm)	m <sup>2</sup>			



DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
- <u>Barragem de Madeira</u>	gl			
. Paredes de vedação	un			
. Estacas de apoio do soalho	un			
. Enchimento	gl			
.. com argila	m <sup>3</sup>			
.. com areia grossa	m <sup>3</sup>			
.. com brita ou cascalho	m <sup>3</sup>			
.. com pedra	m <sup>3</sup>			
.. com solo areno-argiloso	m <sup>3</sup>			
. Vigas transversais e longitudinais	m			
. Soalho	m <sup>2</sup>			
. Caixa das ombreiras	m <sup>2</sup>			
. Acabamento do encontro e da crista da barragem	m <sup>3</sup>			
. Colchão de argila de montante	m <sup>3</sup>			
. Enrocamento de proteção	m <sup>3</sup>			
- <u>Barragem Ambursen</u>				
. Escavação comum, c/ transp.	m <sup>3</sup>			
. Escavação de rocha, c/ transporte	m <sup>3</sup>			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			
. Concreto armado	gl			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			
.. armadura	kg			
. Paramento do pranchão de madeira	un			
- <u>Vertedouro</u>	gl			
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Escavação de rocha c/ transporte	m <sup>3</sup>			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			

DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
- <u>Vertedouro (cont.)</u>				
. Enrocamento (lançamento, espalhamento e compactação)	m <sup>3</sup>			
. Alvenaria de pedra argamassada	m <sup>3</sup>			
. Estacas de madeira	un			
- <u>Tomada d'Água</u>	gl			
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Escavação de rocha, a frio, c/ transporte	m <sup>3</sup>			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			
. Concreto armado	gl			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			
.. armadura	kg			
. Concreto sem armação	gl			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			
. Alvenaria de pedra argamassada	m <sup>3</sup>			
- <u>Canal de Adução</u>	gl			
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Escavação de rocha, c/ transporte	m <sup>3</sup>			
. Alvenaria de pedra solta	m <sup>3</sup>			
. Alvenaria de pedra argamassada s/camada de argamassa	gl			
. Alvenaria de tijolo maciço s/ camada de argamassa	m <sup>2</sup>			
. Concreto s/armação (e=15cm)	gl			
.. base de brita (e=5 a 10cm)	m <sup>3</sup>			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			

DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
- <u>Tubulação de Adução de</u>				
<u>Baixa Pressão</u>				
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Colchão de areia	m <sup>2</sup>			
. Concreto sem armação	m <sup>3</sup>			
. Tubo de aço	kg			
. Tubo de concreto	m			
. Tubo de cimento-amianto	m			
- <u>Câmara de Carga</u>				
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			
. Concreto armado	gl			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			
.. armadura	kg			
. Tubo de aço	kg			
- <u>Chaminé de Equilíbrio</u>	gl			
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			
. Concreto armado	gl			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			
.. armadura	kg			
. Tubo de aço	kg			
- <u>Tubulação Forçada</u>	gl			
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Escavação de rocha, a frio,				
c/ transporte	m <sup>3</sup>			
. Preparo de fundação	m <sup>2</sup>			
. Concreto armado	gl			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			
.. armadura	kg			
. Tubo de aço	kg			

DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTIDADE	CUSTO (CrS)	
			UNITÁRIO	TOTAL
- <u>Casa de Máquina</u>	gl			
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Baldrame de pedra	m <sup>3</sup>			
. Concreto armado	gl			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			
.. armadura	kg			
. Alvenaria de tijolo	m <sup>2</sup>			
.. de 10 cm	m <sup>2</sup>			
.. de 20 cm	m <sup>2</sup>			
. Parede de madeira	m <sup>2</sup>			
. Revestimento	m <sup>2</sup>			
.. camada de piso	m <sup>2</sup>			
.. massa única	m <sup>2</sup>			
. Cobertura	gl			
.. madeiramento	gl			
.. telhado	m <sup>2</sup>			
. Esquadrias	gl			
.. porta	gl			
.. caixilho	gl			
. Pintura	m <sup>2</sup>			
. Instalação elétrica	gl			
- <u>Canal de Fuga</u>	gl			
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Escavação de rocha, c/ transporte	m <sup>3</sup>			
. Alvenaria de pedra solta	m <sup>3</sup>			
. Alvenaria de pedra arga- massada s/camada de argam.	gl			
. Alvenaria de tijolo maciço s/ camada de argamassa	m <sup>2</sup>			
. Concreto sem armação	gl			

DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
- <u>Canal de Fuga (cont.)</u>				
.. base de brita (e = 5 a 10 cm)	m <sup>3</sup>			
.. concreto	m <sup>3</sup>			
.. fôrma	m <sup>2</sup>			
- <u>Desvio do Rio</u>	gl			
. Ensecadeira	gl			
.. enrocamento	m <sup>3</sup>			
.. aterro	m <sup>3</sup>			
. Escavação comum, c/transp.	m <sup>3</sup>			
. Escavação de rocha, c/ transporte	m <sup>3</sup>			
. Tubulação	gl			
- <u>Canteiro e Acampamento</u>				
. Almojarifado, escritório e dormitórios	m <sup>2</sup>			
- <u>Estrada de Acesso</u>	gl			
. Estrada	m			
. Bueiro	gl			
<u>EQUIPAMENTOS MECÂNICOS</u>				
- <u>Comporta</u>	gl			
. De madeira	gl			
. De aço fundido	gl			
. De chapa e perfis de aço	gl			
- <u>Grade</u>	gl			
- <u>Válvula Borboleta</u>	gl			
. Custo FOB	gl			
. Transporte	gl			
. Montagem	gl			

DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
- <u>Ponte Rolante e Talha</u>	gl			
. Custo FOB	gl			
. Transporte	gl			
. Montagem	gl			
- <u>Turbina</u>	gl			
. Custo FOB	gl			
. Transporte	gl			
. Montagem	gl			
- <u>Reguladores de Velocidade</u>	gl			
. Custo FOB	gl			
. Transporte	gl			
. Montagem	gl			
<u>EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES ELÉTRICAS</u>				
- <u>Geradores Síncronos e Sistema de Excitação</u>	gl			
. Custo FOB	gl			
. Transporte	gl			
. Montagem	gl			
- <u>Quadro de Comando</u>	gl			
. Custo FOB	gl			
. Transporte	gl			
. Montagem	gl			
- <u>Dispositivo de Proteção</u>	gl			
- <u>Subestação</u>	gl			
- <u>Ligação do Gerador à Subestação</u>	gl			
- <u>Linha de Transmissão</u>	gl			
- <u>Sistema de Comunicação</u>	gl			

DISCRIMINAÇÃO		QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>ADMINISTRAÇÃO DO PROPRIETÁRIO</u>	g l			
<u>ENGENHARIA DE PROJETO</u>	g l			
<u>TOTAL PARCIAL</u>	g l			
EVENTUAIS (15%)	g l			
AQUISIÇÃO DE TERRAS	g l			
<u>SUBTOTAL (TOTAL DO ORÇAMENTO)</u>	g l			
JUROS DURANTE A CONSTRUÇÃO	g l			
<u>TOTAL GERAL</u>	g l			
CUSTO ÍNDICE: EM CR\$/kW	g l			
EM US\$/kW	g l			

TABELA DE PREÇOS UNITÁRIOS

MERCADO DO RIO DE JANEIRO

REF. A NOVEMBRO/1984

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
	<u>INSUMOS</u>		
	Cimento Portland comum (saco de 50 kg )	saco	10.500
	Madeira para fôrma (tábua de 1" de espes.)	m <sup>2</sup>	7.000
	Ferro CA 50	kg	1.000
	Brita 1	m <sup>3</sup>	23.000
	Caminhão basculante 147 cv, caçamba de 5 m <sup>3</sup> (sem combustível, lubrific. e motorista)	h	13.726
	Carpinteiro de fôrmas (somente o salário)	h	850
	<u>OBRAS E SERVIÇOS</u>		
	<u>Barragem de Terra</u>		
4.4.1.1.1	Preparo de Fundação	m <sup>2</sup>	10.600
4.4.1.1.2	Escavação, carga, transporte 1 km, lançamento, espalhamento e compactação		
	a) Material de empréstimo (escavação manual e caminhão)	m <sup>3</sup>	15.800
	b) Material de empréstimo (escavação me- cânica e espalhamento, compactação com trator)	m <sup>3</sup>	9.300
	c) Material de escavação exigida (excl. trans- porte)	m <sup>3</sup>	2.100
4.4.1.1.3	Proteção de Barragem		
	a) Com areia, brita e pedra (barragem homogênea)	m <sup>2</sup>	19.400
	b) Grama plantada em placa	m <sup>2</sup>	3.100
	c) Solo cimento	m <sup>3</sup>	41.600
	d) Com areia, brita e pedra (barragem mista)	m <sup>3</sup>	31.500



ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
	<u>Barragem de Enrocamento</u>		
4.4.1.2.1	Preparo de Fundação	m <sup>2</sup>	10.600
4.4.1.2.2	Escavação, carga, transporte, 1 km, lançamento, espalhamento e Compactação		
	a) Material de pedreira (empréstimo)	m <sup>3</sup>	20.500
	b) Material de escavação exigida	m <sup>3</sup>	1.600
4.4.1.2.3	Reforço de Crista e dos Taludes	m <sup>3</sup>	1.600
	<u>Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada</u>		
4.4.1.3.1	Escavação Comum (terra)		
	a) Manual, sem transporte	m <sup>3</sup>	6.000
	b) Mecânica (escavadeira), s/transporte	m <sup>3</sup>	2.800
	c) Transporte de terra (dist. até 1 km - carga manual)	m <sup>3</sup> .km	4.900
	d) Transporte de terra (distância até 1 km - carga mecânica)	m <sup>3</sup> .km	3.400
	e) Transporte de terra (distância além do 1º km)	m <sup>3</sup> .km	2.100
4.4.1.3.2	Escavação de Rocha		
	a) A frio (s/ explosivos), s/ transporte	m <sup>3</sup>	125.000
	b) A fogo (c/ explosivos), s/transporte	m <sup>3</sup>	17.300
	c) Transporte de Rocha (distância até 1 km - carga manual)	m <sup>3</sup> .km	7.400
	d) Transporte de rocha (distância até 1 km - carga mecânica)	m <sup>3</sup> .km	5.100
	e) Transporte de rocha (além do 1º km)	m <sup>3</sup> .km	3.200
4.4.1.3.3	Preparo de Fundação	m <sup>2</sup>	2.900
4.4.1.3.4	Alvenaria de Pedra Argamassada	m <sup>3</sup>	60.100
4.4.1.3.5	Alvenaria de Tijolo Maciço (e = 20 cm)	m <sup>2</sup>	29.800
4.4.1.3.6	Revestimento c/Argamassa de Cimento e Areia, traço 1:4, e = 5 cm	m <sup>2</sup>	12.200

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
4.4.1.3.7	Juntas Verticais (emulsão de asfalto)	m	3.400
4.4.1.3.8	Reforço de Fundação (enrocamento)		
	a) Material de pedra	m <sup>3</sup>	20.500
	b) Material de escavação exigida	m <sup>3</sup>	1.600
	<u>Barragem de Concreto</u>		
4.4.1.4.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.4.2	Escavação de Rocha (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.4.3	Preparo de Fundação (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.4.4	Concreto Armado		
	a) Concreto (preparo com betoneira)	m <sup>3</sup>	110.700
	b) Concreto (preparo manual)	m <sup>3</sup>	120.600
	c) Fôrma	m <sup>2</sup>	9.700
	d) Armadura (ferro CA 50)	kg	1.700
4.4.1.4.5	Junta de Dilatação		
	a) Pintura asfáltica	m <sup>2</sup>	1.300
	b) Massa de vedação (asfalto)	m	34.500
4.4.1.4.6	Bacia de Dissipação		
	a) Laje de pedra argamassada	m <sup>3</sup>	60.100
	b) Enrocamento (v. barragem de enrocam.)		
4.4.1.4.7	Mureta de Alvenaria de Tijolo Maciço (e = 20 cm)	m <sup>2</sup>	29.800
	<u>Barragem de Madeira</u>		
4.4.1.5.1	Paredes de Vedação		
	a) Cravação manual (pranchão de 0,10x0,22, peça de 3,00m, cravado na profundidade de 2 m)	unid	242.000
	b) Cravação mecânica (bate-estaca)	unid	281.000

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
4.4.1.5.2	Estacas de Apoio do Soalho		
	a) Cravação manual (d=22 cm, peça de 3 m, cravado na profundidade de 2 m)	unid	225.000
	b) Cravação mecânica (bate-estaca)	unid	140.000
4.4.1.5.3	Enchimento		
	a) Com argila	m <sup>3</sup>	30.300
	b) Com areia grossa	m <sup>3</sup>	24.400
	c) Com brita ou cascalho	m <sup>3</sup>	32.100
	d) Com pedra de mão	m <sup>3</sup>	22.700
	e) Com solo areno-argiloso	m <sup>3</sup>	30.300
4.4.1.5.4	Vigas Transversais e Longitudinais	m	27.100
4.4.1.5.5	Soalho (pranchões duplos de 6,5cm x 20 cm)	m <sup>2</sup>	289.300
4.4.1.5.6	Caixote das Ombreiras		
	a) Estacas de apoio (v. estacas de apoio do soalho)		
	b) Paredes externas (maciças)	m <sup>2</sup>	36.800
	c) Paredes internas (vazadas)	m <sup>2</sup>	11.300
	d) Enchimento (v. 4.4.1.5.3)		
4.4.1.5.7	Acabamentos dos Encontros e Cristas das Barragens Laterais sobre as Ombreiras - v. barragem de terra (lançamento, espalhamento e compactação de aterro)		
4.4.1.5.8	Colchão de Argila de Montante		
	a) Argila	m <sup>3</sup>	30.300
	b) Brita e cascalho	m <sup>3</sup>	32.100
	c) Pedra de mão	m <sup>3</sup>	22.700
4.4.1.5.9	Enrocamento de Proteção de Jusante		
	a) Pedra de mão	m <sup>3</sup>	22.700

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
	<u>Barragem Ambursen</u>		
4.4.1.6.1	Escavação Comum (v. alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.6.2	Escavação de Rocha (v. alvenaria de pedra argamassada)	m <sup>2</sup>	2.900
4.4.1.6.3	Preparo de Fundação	m <sup>3</sup>	123.500
4.4.1.6.4	Concreto armado	m <sup>3</sup>	133.300
	a) Concreto (preparo em betoneira)	m <sup>2</sup>	9.700
	b) Concreto (preparo manual)	kg	1.700
	c) Fôrma		
	d) Armadura (ferro CA 50)		
4.4.1.6.5	Paramento de Pranchão de Madeira		
	a) Peças de 0,20 x 0,20 x 3,00 m <sup>3</sup>	unid	120.000
	b) Peças de 0,25 x 0,25 x 3,00 m <sup>3</sup>	unid	180.000
	<u>Vertedouro</u>		
4.4.1.7.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.7.2	Escavação de Rocha (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.7.3	Preparo de Fundação	m <sup>2</sup>	2.900
4.4.1.7.4	Enrocamento		
	a) Pequena quantidade	m <sup>3</sup>	22.700
	b) Quantidades maiores (v. barragem de enrocamento)		
4.4.1.7.5	Alvenaria de Pedra Argamassada	m <sup>3</sup>	60.100
4.4.1.7.6	Estacas de Madeira		
	a) Ø 10 cm ou 3" x 3", comp. = 2,00 m, cravado 1,50 m na terra	unid	27.500

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
	<u>Tomada d'Água</u>		
4.4.1.8.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.8.2	Escavação de Rocha a Frio (v. barragem de pedra argamassada)		
4.4.1.8.3	Preparo de Fundação	m <sup>2</sup>	2.900
4.4.1.8.4	Concreto a) Concreto armado (v. barragem Ambursen) b) Concreto sem armação (v. barragem de concreto)		
4.4.1.8.5	Alvenaria de Pedra Argamassada	m <sup>3</sup>	60.100
	<u>Canal de Adução</u>		
4.4.1.9.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.9.2	Escavação de Rocha (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.9.3	Alvenaria de Pedra Solta	m <sup>3</sup>	37.500
4.4.1.9.4	Alvenaria de Pedra Argamassada sobre Camada de Argamassa a) Base de argamassa (e = 5 cm) b) Alvenaria de Pedra	m <sup>2</sup> m <sup>3</sup>	12.200 60.100
4.4.1.9.5	Alvenaria de Tijolo Maciço sobre Camada de Argamassa a) Base de argamassa b) Alvenaria de tijolo maciço (e = 20cm)	m <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	12.200 29.800
4.4.1.9.6	Concreto sem Armação a) Base de brita b) Concreto e Fôrma - preparado na betoneira - concreto	m <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	35.400 105.600

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
	- preparado manualmente - concreto	m <sup>3</sup>	115.400
	- fôrma	m <sup>2</sup>	9.700
	<u>Tubulação de Adução de Baixa Pressão</u>		
4.4.1.10.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.10.2	Colchão de areia	m <sup>3</sup>	25.400
4.4.1.10.3	Concreto sem Armação a) Concreto e fôrma (v. barragem de concreto)		
4.4.1.10.4	Tubo de Aço	kg	4.800
	<u>Câmara de Carga</u>		
4.4.1.11.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.11.2	Preparo de Fundação	m <sup>2</sup>	2.900
4.4.1.11.3	Concreto Armado (v. barragem de concreto)		
4.4.1.11.4	Tubo de Aço	kg	4.800
	<u>Chaminé de Equilíbrio</u>		
4.4.1.12.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.12.2	Preparo de Fundação	m <sup>2</sup>	2.900
4.4.1.12.3	Concreto Armado (v. barragem de concreto)		
4.4.1.12.4	Tubo de Aço	kg	4.800
	<u>Tubulação Forçada</u>		
4.4.1.13.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
4.4.1.13.2	Escavação de Rocha a Frio (v. barragem de pedra argamassada)		
4.4.1.13.3	Preparo de Fundação	m <sup>2</sup>	2.900
4.4.1.13.4	Concreto Armado (v. barragem de concreto)		
4.4.1.13.5	Tubo de Aço	kg	4.800
	<u>Casa de Máquinas</u>		
4.4.1.14.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.14.2	Baldrame de Pedra	m <sup>3</sup>	60.100
4.4.1.14.3	Concreto Armado (v. barragem de concreto)		
4.4.1.14.4	Alvenaria de Tijolo		
	a) Tijolo furado e = 20 cm (10 x 20 x 20)	m <sup>2</sup>	15.200
	b) Tijolo furado e = 10 cm (10 x 20 x 20)	m <sup>2</sup>	8.900
4.4.1.14.5	Parede de Madeira	m <sup>2</sup>	32.600
4.4.1.14.6	Revestimento		
	a) Piso de concreto magro impermeabilizado	m <sup>2</sup>	15.700
	b) Reboco paulista	m <sup>2</sup>	4.200
4.4.1.14.7	Cobertura		
	a) Madeiramento p/ telha canaleta (área do edifício)	m <sup>2</sup>	3.200
	b) Madeiramento p/ telha tipo cimento-amianto ondulada	m <sup>2</sup>	7.300
	c) Madeiramento p/ telha tipo Francesa	m <sup>2</sup>	8.700
	d) Telhado - tipo Canaleta (área coberta)	m <sup>2</sup>	12.900
	e) Telhado - chapa ondulada de cimento-amianto	m <sup>2</sup>	7.400
	f) Telhado - telha tipo Francesa	m <sup>2</sup>	11.000
4.4.1.14.8	Esquadrias		
	a) Porta de 1,20 x 2,10, ext. maciça, 2 folhas, madeira	unid	206.800

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
	b) Porta de 0,80 x 2,10, externa, maciça, 1 folha, madeira	unid	135.700
	c) Caixilho fixo de madeira	m <sup>2</sup>	85.000
4.4.1.14.9	Pintura		
	a) Caiçãõ (3 demãos)	m <sup>2</sup>	1.200
	b) Óleo sobre madeira (2 demãos)	m <sup>2</sup>	4.200
4.4.1.14.10	Instalação Elétrica		
	a) Ponto de luz no teto	unid	27.500
	b) Tomada de corrente na parede	unid	19.900
	<u>Canal de Fuga</u>		
4.4.1.15.1	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.15.2	Escavação de Rocha (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.15.3	Alvenaria de Pedra Solta	m <sup>3</sup>	37.500
4.4.1.15.4	Alvenaria de Pedra Argamassada sobre Camada de Argamassa (v. canal de adução)		
4.4.1.15.5	Alvenaria de Tijolo Maciço sobre Camada de Argamassa (v. canal de adução)		
4.4.1.15.6	Concreto sem Armação (v. canal de adução)		
	<u>Desvio do Rio</u>		
4.4.1.16.1	Ensecadeira		
	a) Enrocamento (v. barragem de enrocamento)		
	b) Aterro (v. barragem de terra)		
4.4.1.16.2	Escavação Comum (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		
4.4.1.16.3	Escavação de Rocha (v. barragem de alvenaria de pedra argamassada)		



ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
4.4.1.16.4	Tubulação a) Tubo de concreto D = 0,70 m, L = 15 m	unid	1.668.000
	<u>Canteiro e Acampamento</u>		
4.4.1.17.1	Almoxarifado, Escritório e Dormitórios <u>Estrada de Acesso</u>	m <sup>2</sup>	68.000
4.4.1.18.1	Estrada a) Em terreno bom b) Em terreno médio c) Em terreno ruim d) Em terreno péssimo	m m m m	
4.4.1.18.2	Bueiro de Concreto D=0,70, L = 15 m	unid	1.668.000
	<u>Comportas</u>		
	a) De Madeira Estimar o custo adotando-se os coeficientes dados na Tabela do item 5.4.1, com os seguintes valores unitários:		
	. custo do m <sup>3</sup> de madeira	m <sup>3</sup>	700.000
	. custo do kg de ferro CA 25	kg	1.000
	. salário mínimo (a partir de 19/Nov/84)	mês	166.560
	b) De Aço Fundido Padronizada		
	0,20 m x 0,20 m	unid	832.000
	0,30 m x 0,30 m	unid	1.370.000
	0,40 m x 0,40 m	unid	1.590.000
	0,50 m x 0,50 m	unid	2.959.000
	0,60 m x 0,60 m	unid	4.378.000
	0,70 m x 0,70 m	unid	5.136.000
	0,80 m x 0,80 m	unid	6.384.000
	0,90 m x 0,90 m	unid	7.606.000
	1,00 m x 1,00 m	unid	8.487.000

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
	Pedestal Simples	Unid	709.000
	Pedestal com engrenagem	Unid	1.370.000
	Acrescentar custo da mão-de-obra dado pela expressão $K_1 \times SM$ (v. TABELA 4.4.2.1)		
	c) Em Chapa e perfis de aço		
	Estimar o custo adotando-se os pesos citados na Tabela 4.4.2.1, com os seguintes valores unitários:		
	. aço - custo de mercado	kg.	1.000
	. montagem - SM (Salário Mínimo-aprox.)	mês	166.560
	<u>Grades</u>		
	Grade (custo total montado - 90 kgf/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	150.000
	<u>Válvula Borboleta</u>		
	. Custo de Aquisição - v. Tabela 4.4.8		
	. Custo de Transporte - Adotar	t.km	220
	. Custo de Montagem - Mão-de-obra = 5% do Custo de Aquisição		
	<u>Ponte Rolante e Talha</u>		
	. Custo de Aquisição - v. Tabela 4.4.2.4 e adotar	kg.	12.500
	. Custo de Transporte	t.km	220
	. Custo de Montagem	kg	750
	<u>Turbina</u>		
	. Custo de Aquisição - v. Tabela 4.4.8 / I		
	. Custo de Transporte	t.km	220

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
	. Custo de Montagem = 5% do Custo de Aquisição ou	kg	2.500
	<u>Regulador de Velocidade</u>		
	. Custo de Aquisição - v. Tabela 4.4.8		
	. Custo de Transporte	t.km	220
	. Custo de Montagem = 5% do Custo de Aquisição		
	<u>Geradores Síncronos</u>		
	. Custo de Aquisição - v. Tabelas 4.4.8/II e 4.4.8/III		
	. Custo de Transporte	t.km	220
	. Custo de Montagem = 3% do Custo de Aquisição ou	kg	600
	<u>Quadro de Comando</u>		
	. Custo de Aquisição - v. Tabela 4.4.8/IV		
	. Custo de Transporte	t.km	220
	. Custo de Montagem = 2% do Custo de Aquisição		
4.4.3.3	<u>Dispositivo de Proteção</u>		
	. Custo de aquisição, transporte e instalação - % do custo de gerador	%	10
4.4.3.4	<u>Subestação</u>		
	A) Obras Civis		
	. Serviço em terra, rocha, alvenaria - v. barragem de alvenaria de Pedra Argamassada		

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
	. Concreto, fôrma e armadura - v. Casa de Máquinas.		
	B) Cabos e Disjuntores Consultar fornecedores ou fabricantes		
4.4.3.5	<u>Ligação do Gerador à Subestação</u> Consultar fornecedores ou fabricantes		
4.4.3.6	<u>Linha de Alimentação (13,8 kV)</u>		
	A) Limpeza de Faixa		
	. Roçado a foice e machado em mato de pequeno porte, sem destocamento, remoção e queima de resíduos.	m <sup>2</sup>	420
	. Limpeza do terreno com equipamento mecânico (trator)	m <sup>2</sup>	120
	B) Posteação		
	. Material completo para poste		
	Tipo C1 ou D1	un	980.000
	Tipo C2 ou D2	un	1.350.000
	Tipo C3 ou D3	un	2.450.000
	Tipo C4 ou D4	un	2.200.000
	. Mão-de-obra		
	Inst. de poste completo, do tipo C1, D1 e C2, D2	un	41.600
	C3, D3 e C4, D4	un	66.600
	C) Condutores		
	Consultar fabricantes ou fornecedores e acrescentar	%	25

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID	Cr\$/Unid.
4.4.3.7	<u>Sistema de Comunicação</u> . Linha telefônica aberta, inclusive telefone dos terminais, telefone de campanha, pilhas, sistema de proteção, etc. . Instalação de rádio (distância maior que 10 km): 1 equipamento fixo + 1 equipamento móvel 1 equipamento fixo + 1 equipamento móvel + 1 equipamento de reserva	km  cj  cj	2.000.000  13.500.000  20.000.000
4.4.4	<u>Administração do Proprietário (v.item 4.4.4)</u>		
4.4.5	<u>Engenharia de Projeto (v.item 4.4.5)</u>		
4.4.6	<u>Eventuais</u>	%	15
4.4.7	<u>Juros Durante a Construção (10% a.a.):</u> . prazo de construção de 1 ano . prazo de construção de 2 anos . prazo de construção de 3 anos	% % %	5,0 9,2 12,6

TABELA 4.4.8/I

## CUSTO FOB DE TURBINA FRANCIS

POTÊNCIA kW	ROTAÇÃO rpm	CUSTO - 10 <sup>3</sup> Cr\$ (Nov./84)*		
		Turbina propriam. dita	Regulador de Velocidade	Válvula Borboleta

## RODÍZIO SIMPLES

100	1.200	56.500	20.550	5.136
150	900	64.800	20.550	7.830
200	720	66.000	29.400	9.050
250	720	80.700	29.400	10.300
300	720	95.400	29.400	11.500
350	720	97.800	39.100	13.000
400	600	110.000	39.100	15.400
450	600	137.000	39.100	16.600
500	600	149.000	39.100	18.100
600	600	149.000	39.100	19.300
700	600	144.000	51.400	22.000
800	514	132.000	78.300	23.200
900	514	142.000	78.300	24.500
1.000	450	152.000	78.300	29.400

## RODÍZIO DUPLO

POTÊNCIA kW	ROTAÇÃO rpm	CUSTO - 10 <sup>3</sup> Cr\$ (Nov./84)*		
		Turbina propriam. dita	Regulador de Velocidade	Válvula Borboleta
600	900	173.400	39.100	19.600
700	900	178.500	51.400	22.000
800	720	156.500	78.300	23.200
900	720	168.800	78.300	22.000
1.000	600	203.000	78.300	28.371

\* Inclui 5% de IPI

TABELA 4.4.8/II

CUSTO DE  
GERADOR SINCRONO TRIFÁSICO COM REGULADOR DE TENSÃO

POTÊNCIA kVA (P)	ROTAÇÃO rpm	CUSTO * $10^3 \times \text{Cr\$ (Nov./84)}$ (C)
120	1.200	26.200
180	900	39.400
240	720	52.400
300	720	73.400
360	720	89.000
420	720	110.000
480	600	126.000
540	600	152.000
600	600	179.000
720	600	210.000
840	600	237.000
960	514	262.000
1.080	514	316.000
1.200	450	418.000

\* Inclui 5% de IPI e 2% de embalagem.

TABELA 4.4.8/III

## CUSTO DE GERADOR

SINCRONO, TRIFÁSICO, 1800 rpm, COM REGULADOR DE TENSÃO

POTÊNCIA kVA (P)	CUSTO * $10^3 \times \text{Cr\$ (Nov./84)}$ (C <sub>f</sub> )
135	15.700
180	19.200
200	21.900
210	22.300
230	25.700
275	27.700
285	28.100
330	29.900
355	32.700
400	67.700
500	78.100
600	84.400
750	93.800
1.000	119.000
1.250	135.000

Inclui 5% de IPI e 2% de embalagem.



TABELA 4.4.8/IV

## CUSTO DE QUADRO DE COMANDO

POTÊNCIA kW (P)	CUSTO * $10^3 \times \text{Cr\$ (Nov./84)}$ (C <sub>q</sub> )
100	10.800
150	13.500
200	16.100
250	21.500
300	26.900
350	32.300
400	35.000
450	40.000
500	40.000
600	54.000
700	54.000
800	54.000
900	54.000
1.000	54.000

\* inclui 10% de IPI

A ELETROBRÁS vem desenvolvendo um Manual de Avaliação Econômica de projetos destinados ao suprimento de energia elétrica a pequenos sistemas isolados, o qual deverá constituir-se numa referência básica de todo o setor, uniformizando o tratamento. O que será aqui apresentado constitui-se em uma abordagem simplificada, onde serão explicitados alguns parâmetros iniciais de comparação. Para um trabalho mais completo deve ser utilizado o Manual supra citado.

## 4.5.1

Introdução

Admitindo-se que a energia elétrica consiste num bem essencial, fica descartada a hipótese do não suprimento, devendo-se então escolher, segundo critérios a serem estabelecidos, a melhor alternativa de atendimento, dentre aquelas tecnicamente viáveis, mesmo que isto implique num balanço financeiro desfavorável.

Constituem alternativas típicas de suprimento de sistemas isolados, a pequena central hidrelétrica, a pequena central termelétrica e a integração a sistemas existentes através da construção de linhas de transmissão.

Antes de se proceder a uma análise mais detalhada é necessário um levantamento das alternativas tecnicamente factíveis para atendimento ao centro estudado, determinando suas características principais e custo envolvidos, que vão possibilitar uma primeira comparação, onde serão descartadas aquelas sem perspectivas de competir com as demais e que não farão parte do elenco de projetos que seguirão sendo avaliados.

O estudo de cada um desses projetos vai envolver um conjunto de etapas nas quais estarão associados requisitos de informações necessários a uma tomada de decisão. Um dos objetivos é aprimorar e uniformizar a qualidade das informações de forma que se possa estabelecer prioridades quando se estiver tratando com um conjunto maior de projetos associados a distintos centros.

A análise a ser efetuada concentrar-se-á nos aspectos financeiros e econômicos. No primeiro caso são definidas as fontes de fundos necessários para a consecução do empreendimento e a forma como serão utilizados. A análise econômica constitui-se na avaliação propriamente dita e pode ser efetuada do ponto de vista de um empresário privado atuando em seu próprio interesse, ou do ponto de vista social, que assume diversas características, função da política econômica vigente.

Em ambas as hipóteses trata-se de determinar a relação benefício/custo formada por um conjunto de instrumentos capazes de medir os componentes e os resultados esperados de um projeto e por certos padrões de comparação úteis para se tomar decisões tanto públicas como privadas.

Uma questão básica na avaliação de projetos está associada ao fato que os benefícios e os custos ocorrem em instantes diferentes. Considerando-se um indivíduo ou a sociedade como um todo, uma renda (benefício) ou uma despesa (custo) são valorizadas não somente pela magnitude mas também pelo momento em que ocorrem, mesmo numa condição de inflação nula.

Desta forma, dois projetos que têm associados fluxos (benefícios e custos) diferentes em magnitude e na distribuição no tempo são comparados assumindo-se diferentes ponderações para as somas recebidas ou pagas em instantes distintos. À medida que se afastam no tempo, tais ponderações, que são dadas por coeficientes de atualização, diminuem segundo uma função inversa da taxa de desconto.

Numa avaliação econômica de projetos de suprimento de energia elétrica, associada aos benefícios está a energia elétrica disponível e aos custos os diversos insumos necessários à implantação (investimentos), operação e manutenção do empreendimento, atualizados a partir de uma taxa de desconto estabelecida.

Além disso, duas outras variáveis interferem nesse processo: vida útil econômica dos equipamentos e prazo limite de atendimento, conforme explicitadas a seguir.

Considera-se vida útil o período de tempo em que a instalação pode ser acionada e operada economicamente. A vida útil estabelece o prazo em que serão necessários novos investimentos para reposição da instalação.

Uma vez que as alternativas de suprimento visualizadas para os sistemas isolados têm vidas úteis significativamente diferentes, esta variável pode ser fundamental para a escolha da alternativa.

Prazo limite de atendimento - determinar o prazo mínimo em que se deverá adicionar uma nova fonte para suprir os acréscimos de um mercado em expansão.

## 4.5.2

Reavaliação da Potência Instalada Final

Considerando, agora, que ao chegar neste ítem 4.5 o usuário já terá calculado, no ítem 4.4, o custo da MiniCH que acaba de projetar, tendo portanto idéia nítida do vulto do empreendimento tanto em porte de obras civis e equipamentos quanto em investimento, vale a pena reavaliar a potência instalada final, calculada no ítem 4.2.2.2 a partir da motorização estabelecida, expedidamente, no ítem 4.1.8.3, como sendo o dobro da potência firme correspondente à vazão firme determinada no ítem 4.1.8.2.

O primeiro passo será verificar se o Mercado estudado no ítem 4.1.7 é tipicamente sazonal, caso em que deve-se analisar a parcela desse mercado que não deverá sofrer interrupções após instalada a MiniCH, ou seja, aquela em que a energia elétrica será um insumo para atividades produtivas.

Uma vez que essa parcela normalmente deverá ocorrer sempre num determinado período do ano, como por exemplo o período de safra, deve-se analisar o regime anual de vazões do rio no local de aproveitamento, que foi estudado no ítem 4.1.4 - Estudos Hidrológicos.

Se a parcela do mercado que deva ser garantida se der no período de estiagem, a Mini CH deverá ter a mesma potência instalada que foi calculada no ítem 4.2.2.2; se esta potência for inferior à parcela do mercado que deva ser garantida, e se o custo da MiniCH, calculado no ítem 4.4 for muito baixo, pode-se pensar em aumentar a motorização, retomando-se então o roteiro de cálculo a partir do ítem 4.2 - PROJETO e ASPECTOS CONSTRUTIVOS, adotando-se uma nova motorização, estabelecida com bom senso.

Se a parcela do mercado que deva ser garantida se der no período de cheia e se o custo da MiniCH calculado no ítem 4.4 for atraente, caso a potência instalada calculada no ítem 4.2.2.2 estiver abaixo da parcela do mercado que deva ser garantida, a MiniCH poderá ser motorizada, por exemplo, pelo menor valor de vazão ocorrido em época de cheia; não se dispondo de um histórico de vazões, este valor deverá ser estimado de forma conservadora. Retoma-se, então o ítem 4.2 do roteiro de cálculo, partindo-se dessa nova motorização.

Após esses procedimentos, o usuário do Manual estará, no caso mais geral, de posse de dois projetos e seus respectivos custos:

- a) para a motorização com potência instalada correspondente ao dobro da vazão firme;
- b) para a motorização maior, que porventura houver sido estabelecida neste ítem 4.5.2.

Para a decisão final sobre a motorização que deva adotar, o usuário deverá fazer a avaliação sócio-econômica dos projetos acima, obedecendo ao roteiro dos Ítens seguintes.

Alerta-se para o fato de que no estabelecimento da motorização final, em qualquer hipótese, deve-se verificar se a demanda máxima do mercado é muito maior do que a demanda mínima, caso em que a potência de cada unidade geradora deve ser menor ou igual à referida demanda mínima.

#### 4.5.3 Avaliação Econômica

##### 4.5.3.1. Ordenação dos Custos de Implantação, Operação e Manutenção do Sistema.

Realizados no Ítem 4.4 os cálculos dos custos do sistema, caberá nesta fase organizá-los de forma a que possam servir para as análises de caráter econômico e financeiro.

A decisão de levar avante um projeto significa colocar, para a sua realização, uma quantidade variada de recursos, os quais podem ser agrupados em duas grandes categorias:

- a) recursos necessários à implantação do empreendimento (estudos, projeto e construção); e
- b) recursos necessários ao funcionamento do sistema propriamente dito (operação e manutenção).

Estes custos devem ser devidamente quantificados, em termos de cruzeiros correntes (atuais), classificados de acordo com a natureza dos gastos e distribuídos no tempo, segundo a época prevista para a realização dos mesmos.

##### 4.5.3.2 Cálculo dos Investimentos

###### 4.5.3.2.1 Investimento para Implantação

Constitui os chamados ativos fixos; compreendem o conjunto de bens que não são motivo de transações correntes por parte da empresa. São adquiridos na etapa de implantação do empreendimento e são utilizados durante a sua vida útil. Seu valor monetário constitui o capital fixo da empresa.

A natureza dos Ítens integrantes do investimento fixo varia consideravelmente de acordo com o tipo de projeto. Para as MINICH são basicamente os seguintes:

- custo de organização da empresa;
- custo dos estudos;
- custo do projeto (desenhos, memoriais descritivos, especificações, etc);
- custo dos terrenos para a instalação do empreendimento, inclusive custo de eventual desapropriação de áreas inundadas;
- custo das obras civis;
- custos de aquisição e transporte dos equipamentos;

- custos de instalação (montagens) dos equipamentos;
- custos das instalações complementares (comunicação, linhas de alimentação, etc);
- custos de engenharia e administração durante a implantação do aproveitamento;
- custos da "colocação em marcha";
- juros durante a construção;
- outros custos.

Todos estes custos (exceto custo de organização da empresa e desapropriação) foram calculados no item 4.4. e estão itemizados na Planilha Padrão do item 4.4.8-A.

#### 4.5.3.2.2 Custos de Operação e Manutenção

Constituem o chamado capital de trabalho e são o montante de recursos necessários à empresa para atender às atividades de geração e de distribuição de energia. Deverão ser calculados em cada caso, de acordo com a previsão dessas necessidades.

Os custos de operação e manutenção de centrais hidrelétricas, são geralmente muito pequenos em relação aos custos de implantação. Isso é particularmente válido para centrais de grande porte, sendo que para as MiniCH poderá sê-lo ou não, dependendo do grau de sofisticação que se der à sua operação e manutenção. Estes custos deverão ser avaliados em função das necessidades de materiais, mão-de-obra e demais recursos necessários para a execução de todos os serviços recomendados no item 4.3 - Manutenção.

#### 4.5.3.2.3 Cronograma dos Investimentos

Com base no programa de implantação da MiniCH deve ser montado um quadro demonstrativo dos valores dos investimentos a serem efetuados ao longo do tempo.

A TABELA 4.5/I apresenta um cronograma típico de investimentos, que pode ser usado nas negociações com vistas a financiamento.

Outros períodos de tempo, mais curtos, e/ou itemização mais detalhada, podem ser considerados no cronograma, desde que mais se adequem às necessidades do projeto, porém deve ser obedecida a itemização da Planilha Padrão.

#### 4.5.3.3 Cálculo de Custos Índices Básicos

##### 4.5.3.3.1 Custo da Potência Instalada (Cr\$/kW)

Calculados os investimentos totais, referidos a uma determinada data base, o custo da potência instalada de uma central é expresso pela seguinte relação:

TABELA 4.5/I

CRONOGRAMA DE INVESTIMENTOS E DESPESAS OPERACIONAIS

Valores em 10<sup>3</sup>Cr\$

DISCRIMINAÇÃO	PERÍODO EM ANOS								TOTAL
	ESTUDOS, PROJETO E CONSTRUÇÃO				OPERAÇÃO				
	1	2	3	4	5	.....	n		
Organização da Empresa	10SEM.	20SEM.	10SEM.	20SEM.					
Aquisição de terrenos e benfeitorias									
Obras Cíveis									
Equipamentos Mecânicos									
Equipamentos e Inst. Elétricas									
Administração do Proprietário									
Engenharia de Projeto									
Subtotal									
Eventuais									15%
Subtotal									
Juros Durante a Construção									
TOTAL									
Despesas Pré-Operacionais									
Despesas de Operação e Manutenção									
TOTAL GERAL									10 <sup>3</sup> Cr\$

$$CPI = \frac{\text{Investimento Total (Cr\$)}}{\text{Potência Instalada (kW)}}$$

#### 4.5.3.3.2 Custo da Energia Gerada (Cr\$/kWh)

Poderá ser efetuada pela expressão:

$$CEG = \frac{C_t \times FRC + P \times COM}{8.760 \times E_f}$$

onde:

$C_t$  = custo total do aproveitamento incluindo juros durante a construção, em Cr\$.

FRC = fator de recuperação de capital, calculado como:

$$FRC = \frac{i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{sendo,}$$

$i$  = taxa anual de juros

$n$  = vida útil da MiniCH, em anos

$P$  = potência instalada, em kW

COM = custo anual de operação e manutenção da MiniCH, incluindo mão-de-obra, material e despesas de locomoção, encargos sociais, etc, em Cr\$/kW;

$E_f$  = energia firme do aproveitamento em kW;

8760 = número de horas por ano.

Este custo índice básico deve ser comparado com aqueles associados as outras alternativas de suprimento, incluindo-se principalmente os grupos diesel, térmicas a lenha ou derivados de petróleo e a extensão de linhas de alimentação.



#### 4.5.4

#### Avaliação Financeira

O objetivo desta avaliação consiste na determinação da factibilidade da implantação da alternativa em si, levando em conta a situação da empresa responsável. Nesta etapa deverá ser feito inicialmente o balanço financeiro entre a renda líquida proporcionada pelo projeto e os reembolsos dos recursos a serem alocados, computando-se recursos próprios, empréstimos nacionais e estrangeiros, seus respectivos cronogramas e juros associados.

Se o balanço financeiro se apresentar negativo, embora as demais avaliações indiquem tratar-se de uma alternativa viável, deve-se avaliar os novos valores de tarifa que tornem o projeto financeiramente factível ou, alternativamente, a necessidade de recursos complementares extra-orçamentários.

Da mesma forma, deve ser feita uma análise empresarial que, a partir das alternativas de disponibilidade de recursos, permita uma avaliação do comprometimento financeiro futuro da empresa.

De uma forma geral, esta avaliação pode se resumir em um balanço de receitas e despesas associadas ao projeto, levando-se em consideração o fato de se realizarem em épocas diferentes (atualização).

Elaborado o orçamento de receitas e despesas, deve ser montado um quadro do fluxo de caixa, considerando os seguintes itens:

- vendas brutas
- impostos
- vendas líquidas
- custos operacionais
- lucro bruto
- depreciação
- lucro tributável
- imposto de renda
- lucro líquido
- fluxo de caixa de investimento
- fluxo de caixa de amortização e juros de capital de terceiros

Montado esse fluxo de caixa, determina-se a taxa interna de retorno, que corresponde àquela em que as entradas de recursos se igualam às saídas, ambas descontadas no tempo.

#### 4.5.5

#### Avaliação Social

A avaliação social de projetos pressupõe a elaboração prévia da análise do projeto em todos os seus demais aspectos. Neste Manual os resultados da análise tradicional de projetos estão consolidados nas avaliações econômica e financeira do projeto específico.

Os projetos envolvidos podem apresentar características de substituição de importações, basicamente de óleo diesel, o que introduz a necessidade de se examinar, também, a taxa de câmbio e, em consequência, o custo social da divisa.

Busca-se, nesta etapa, tão somente "corrigir" os valores utilizados na avaliação econômica, efetuando-se reavaliações para mais ou para menos ("benefícios" ou "penalidades", conforme o caso) nas remunerações dos fatores, na taxa de câmbio e no preço do produto final, das matérias-primas e dos demais insumos, quando for o caso. Tal cálculo possibilitará a apuração de valores atuais diferentes para cada alternativa, os quais poderão, portanto, ser comparados e contribuir para a escolha da melhor alternativa.

#### 4.5.5.1 Metodologia

A partir dos preços "correntes" estimados no projeto, busca-se, em seguida, "o fator de correção" para cada um dos itens no tempo de vida útil do projeto.

##### 4.5.5.1.1 Quanto ao Investimento

Do investimento em moeda nacional deverão ser abatidos os impostos diretos como IPI, ICM e ISS incidentes sobre a aquisição de cada um dos bens e serviços, já que serão reinvestidos, via Governo, em qualquer outro setor da economia nacional.

No caso da existência de recursos provenientes do exterior para a implantação do projeto, estes devem ser contabilizados tanto na entrada das divisas ("benefícios") quanto na amortização e no pagamento de encargos ("penalidade"). A existência de financiamentos internos, para efeitos da análise social, não implicará em nenhum benefício ou penalidade, considerando-se tais financiamentos como parte integrante dos recursos próprios do projeto. Sugerem-se alguns índices de correção na TABELA 4.5/II.

A depreciação do investimento, no período operacional, não é computada, já que a análise leva em conta a vida útil da unidade produtora e as necessárias reposições são feitas pela construção de novas unidades. Assim, o valor residual deve ser igual a zero.

A alternativa de investimento que proporciona energia elétrica à região numa data mais cedo, representa um benefício para aquela alternativa, cujos índices serão corrigidos também na TABELA 4.5/II.

A previsão de mercado da região suprimindo consumidores industriais, comerciais ou residenciais promove impacto social distinto, pelo que imputa-se benefícios diferentes, igualmente corrigidos na TABELA 4.5/II.

#### 4.5.5.1.2 Quanto à Operação e Manutenção

Os custos de operação e manutenção devem sofrer algumas correções, segundo os seguintes critérios:

- a) Para a mão-de-obra especializada considera-se o custo real sem encargos, enquanto a mão-de-obra não especializada atribui-se custo zero. Isto se deve ao fato de que a mão-de-obra especializada terá que ser treinada para depois ser empregada, enquanto a não especializada, provavelmente, não estava empregada e o seu emprego é um benefício para a sociedade, tal que pode ser representado por custo zero para o projeto.
- b) As peças de reposição adquiridas no País não devem sofrer correção, enquanto as importadas sofrerão penalização, aumentando o custo. (TABELA 4.5/II)

#### 4.5.5.1.3 Quanto ao combustível

No que se refere ao combustível no caso da PCT, mesmo quando de origem nacional, deve-se levar em conta seu custo social para a nação. O caso do reflorestamento é um exemplo de atividade que possui elevada carga de subsídios provenientes de incentivos fiscais, o que reduz seu preço no mercado interno. Tal custo, portanto, deverá ser penalizado para se obter o custo social. O mesmo raciocínio pode ser estendido à utilização do carvão mineral e do gás natural.

Já no caso do bagaço de cana, que até recentemente era considerado resíduo, muitas vezes incinerado na caldeira, progressivamente começa a ter valor de mercado. No entanto, seu custo social deve ser reduzido pelo próprio aproveitamento de uma matéria-prima que, de outra forma, seria desperdiçada.

Para os combustíveis de origem externa, a penalização é óbvia. (TABELA 4.5/III)

#### 4.5.5.1.4 Quanto à Receita

O método não quantifica a receita operacional dos projetos. Pretende-se eleger a melhor alternativa, mediante a obtenção dos valores atuais das séries dos investimentos e custos de manutenção, operação e combustível das alternativas em exame.

Apesar disso, como referido no item 4.5.5, para a análise social busca-se atribuir fatores de redução dos custos que levem em conta a classe dos consumidores previstos no estudo de mercado (industrial/comercial/residencial). Os fatores propostos estão dispostos na TABELA 4.5/II. Recomenda-se verificar o exemplo hipotético do TABELA 4.5/IV.

### Conclusões

É evidente que as peculiaridades regionais devem ser levadas em conta, do ponto de vista do desenvolvimento sócio-econômico. Assim, propõe-se que seja o investimento objeto de correção, segundo a seguinte tabela:

REGIÃO	FATOR DE CORREÇÃO
NORTE	0,80
NORDESTE	0,85
CENTRO-OESTE	0,80
SUDESTE/SUL	1,00

Cabe ressaltar que os fatores utilizados na presente avaliação são unicamente fruto da observação da atual realidade nacional e, por essa razão, passíveis de reformulação no médio prazo.

A taxa de desconto a ser utilizada na obtenção do valor atual corresponde ao mesmo valor adotado na avaliação econômica.

Com o fluxo descontado à essa taxa e com os prazos definidos no Ítem Avaliação Econômica, o Valor atual do Projeto deverá ser positivo, sem o que tal alternativa deverá ser abandonada.

TABELA 4.5/II

Fatores de Correção para a Avaliação Social

Adiante estão sugeridos os critérios de correção para o cálculo social.

1. Investimentos

BENS E SERVIÇOS	(A) VALOR DE PROJETO	(B) VALOR DOS IMPOSTOS INCIDENTES	(C) VALOR DO PROJETO S/IMPOSTOS	(D) FATOR DE CORREÇÃO	(E=CxD) VALOR "SOCIAL" DO PROJETO
1. <u>Nacionais</u> (*)					
Terreno				1,00	
Obras Cíveis				1,05	
Equip.Mecânico				1,07	
Equip.e Inst. Eletr.				1,07	
Veículos				1,03	
Montagens				1,00	
Frete				1,25	
Proj.Engenharia e Treinamento				1,00	
Adm.do Proprie- tário				1,00	
2. <u>Estrangeiros</u>				1,30	
3. TOTAL				-	

(\*) Empresas fornecedoras de efetivo comando e controle nacionais.

TABELA 4.5/III

2. Custos de Operação, Manutenção e Combustível

ITENS	VALOR DO PROJETO	FATOR DE CORREÇÃO	VALOR "SOCIAL"
.Mão-de-obra especializada(excl.-encargos)		1,00	
.Mão-de-obra não especializ.(excl-encargos)		0,00	
.Peças de Reposição nacionais		1,00	
.Peças de Reposição Importadas		1,30	
.Combustível nacional (*)			
a) lenha		1,10	
b) gás natural		1,05	
c) carvão mineral		1,05	
d) bagaço de cana		0,50	
.Combustível importado		1,30	

(\*) levar em conta o custo de transporte e a forma como é transportado. Se for transporte à base de diesel, computar a respectiva penalização.

3. Receita

	% DO MERCADO TOTAL PREVISTO	FATOR DE CORREÇÃO	ÍNDICE A SER APLICADO
INDUSTRIAL		1,20	
COMERCIAL		1,00	
RESIDENCIAL		1,10	
TOTAL			(*)

(\*) este resultado, abatido da unidade, constituirá fator de redução dos custos anuais.

TABELA 4.5/IV

Exemplo Numérico de Avaliação Social

Seja uma minicentral hidrelétrica, com capacidade de 536 kW e custo global de US\$ 800 mil de implantação, exclusive despesas financeiras durante a construção e exclusive impostos incidentes.

1. O Quadro de Usos e Fontes é apresentado a seguir, com as respectivas correções:

BENS E SERVIÇOS	Em US\$				
	(A) VALOR DE PROJETO	(B) VALOR DOS IMPOSTOS INCIDENTES	(C) VALOR DO PROJETO S/IMPOSTOS	(D) FATOR DE CORREÇÃO	(E=CxD) VALOR "SOCIAL" DO PROJETO
1. <u>Nacionais (*)</u>					
Terreno	1.000	-	1.000	1,00	1.000
Obras Civis	520.000	20.000	500.000	1,05	525.000
Equipamento Mecânico	115.430	18.430	97.000	1,07	103.790
Equip. e Inst.Elétricos	102.340	16.340	86.000	1,07	92.020
Montagens	78.750	3.750	75.000	1,00	75.000
Fretes	1.050	50	1.000	1,25	1.250
Proj.Engenharia e treinamento	27.300	1.300	26.000	1,00	26.000
Adm.do Proprietário	14.700	700	14.000	1,00	14.000
2. <u>Estrangeiros</u>	-	-	-	1,30	-
TOTAL	860.570	60.570	800.000	-	838.060

(\*) Empresas fornecedoras de efetivo comando e controle nacionais.

2. A estrutura de custos operacionais, de manutenção e para o combustível são estimados da seguinte maneira:

ITENS	Custo Anual - US\$		
	VALOR DO PROJETO	FATOR DE CORREÇÃO	VALOR "SOCIAL"
Mão-de-obra especializada (excl.-encargos)	536	1,00	536
Mão-de-obra não especializada(excl.-encargos)	268	0,00	-
Peças de reposição nacionais	804	1,00	804
Peças de reposição importadas	-	1,30	-
Combustível nacional (*)			
a) lenha	-	1,10	-
b) gás natural	-	1,05	-
c) carvão mineral	-	1,05	-
d) bagaço de cana	-	0,50	-
Combustível importado	-	1,30	-
TOTAL	1.608	-	1.340

\*) Levar em conta o custo de transporte e a forma como é transportado. Se for transporte à base de diesel, computar a respectiva penalização.

2. O mercado de energia elétrica deverá comportar-se uniformemente nos próximos 50 anos e de acordo com a seguinte estrutura:

ITENS	(A) % DO MERCADO TOTAL PREVISTO	(B) FATOR DE CORREÇÃO	(C=AxB) ÍNDICE A SER APLICADO
Industrial	60	1,20	0,720
Residencial	35	1,10	0,385
Comercial	5	1,00	0,050
TOTAL	100	-	1,155

Assim:

1. Custo de Implantação: US\$ 838.060/1,155 = US\$ 725.593,07

2. Custo de Operação e Manutenção: US\$ 1,340/1,155 = US\$ 1.160,17



4. O fluxo, descontado à taxa de 10% a.a. e período de 50 anos, fornece o indicador de 26,0mills/kWh (fator de capacidade de 60%) e o valor atual de US\$ 732.997,32 supondo reposição dos investimentos ao fim de cada vida útil (levado ao infinito).

Introdução

Difícilmente uma empresa ou um particular, que se incline a fazer o aproveitamento de recursos hídricos disponíveis para fins de geração de energia elétrica, terá condições de implementar um empreendimento dessa natureza sem necessitar de financiamento de parte do capital necessário ao investimento.

Em função dessa constatação, o Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PNPCH, do qual este Manual é um dos instrumentos de implementação, procurou incluir aqui uma orientação para os interessados na obtenção de financiamento que facilite a implantação das usinas pretendidas.

Exemplo de apoio financeiro com que conta o PNPCH é o destaque que o Plano de Ação do Sistema BNDES consagra aos investimentos em pequenas centrais hidrelétricas, os quais são, no setor de energia elétrica, considerados prioritários pelo Banco.

Dependendo da magnitude do empreendimento, os recursos financeiros poderão ser concedidos pelo BNDES diretamente ou através de seus agentes, utilizando também o concurso da agência FINAME no financiamento de máquinas e equipamentos.

Para o financiamento dos estudos, projeto e implantação dessas centrais, os interessados contam também com a participação do Banco do Brasil e das Centrais Elétricas Brasileiras SA ELETROBRÁS e, para o caso de financiamento de apenas estudos e projetos, com participação da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP.

Fontes de Financiamento

A construção de minicentrals hidrelétricas conta com o apoio do BNDES, através dos seus agentes financeiros credenciados (bancos estaduais e regionais de desenvolvimento e bancos comerciais oficiais com carteira de desenvolvimento), no âmbito do Programa de Operações Conjuntas - POC, e da FINAME, para máquinas e equipamentos. São as seguintes as condições financeiras para o referido contrato:

Objetivo - financiamento de pessoas jurídicas, no âmbito do POC, sediadas no país e com controle do capital efetivamente nacional, e de órgãos estaduais e municipais, para construção de unidades geradoras, com potência situada entre 100 e 1000 kW.

Limite do Financiamento - de 50 a 80% do investimento total ,  
percentual este definido a partir  
da região a ser localizado o proje-  
to e do porte da empresa proponente.

Encargos Financeiros - custo p/Mutuário Final: de 6 a 12% a.a  
remuneração do Agente: de 2 a 5% a.a.  
correção monetária: de acordo com a va-  
riação das ORTN's.

Prazos - Carência e Amortização - até 8 anos.

No caso de eventuais estudos e projetos de engenharia para mi-  
nicentrals hidrelétricas, que solicitem serviços de consulto-  
ria, estes poderão, também, a princípio, vir a ser financia-  
dos pela FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, sob as  
seguintes condições:

- . Financiamento - de até 80% dos gastos com estudos e proje-  
tos.
- . Juros - 4% a.a.
- . Correção Monetária - projeto das áreas da SUDAM e SUDENE -  
85% da variação das ORTN's.
- . Prazos - carência até 2 anos  
- amortização até 3 anos após a carência

Este tipo de central também pode ser financiado pelo Banco do  
Brasil e os recursos disponíveis serão oferecidos nas condi-  
ções financeiras vigentes para o crédito rural, abaixo expli-  
citadas.

- Limite do financiamento
  - . miniprodutores, pequenos produtores  
e cooperativas - 100%
  - . médios produtores - 70%
  - . grandes produtores - 50%
- Encargos Financeiros
  - . juros - 3% a.a.
  - . correção monetária - projetos das áreas da SUDAM e SUDENE -  
85% da variação das ORTN's.  
- projetos nas demais áreas - 100% da  
variação das ORTN's.
- Prazos - carência até 2 anos  
- amortização até 8 anos, após a carência

As condições vigentes no momento para financiamento pela ELETROBRÁS, são as seguintes:

Objetivo: estudos, projeto, obras civis, aquisição de máquinas e equipamentos e montagem.

Limite: a definir, podendo, em princípio, atingir até 100%.

Encargos Financeiros:

- . juros: 10% ao ano;
- . correção monetária: de acordo com a variação das ORTN's;
- . comissão de abertura de crédito: 2%
- . taxa de fiscalização: 1% ao semestre durante a execução dos trabalhos.

Prazos: carência - até a entrada em operação da central  
amortização - até 40 prestações trimestrais iguais

#### PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO DO FINANCIAMENTO

Acha-se em curso a discussão de minuta de convênio entre a ELETROBRÁS, BNDES, FINEP, BANCO DO BRASIL e CNPq para estabelecimento, de comum acordo, dos procedimentos para obtenção de financiamento de estudos, projeto e implantação de Micro, Mini e Pequenas Centrais Hidrelétricas, assim como financiamento de desenvolvimento tecnológico, capacitação e desenvolvimento do pessoal, exportação de bens e serviços e a própria divulgação do Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PNPCH.

Os interessados deverão procurar a Coordenação Executiva do PNPCH, Rua Visconde de Inhaúma, 134 - 15º andar - Rio de Janeiro, para obtenção de maiores detalhes.

Na próxima edição deste Manual os procedimentos serão devidamente explicitados.

#### CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Somente serão passíveis de apoio financeiro os proponentes que apresentem controle do capital e comando efetivamente nacionais. Também das empresas de engenharia e consultoria técnica, e das empresas fabricantes das máquinas e equipamentos do projeto serão exigidos o controle e o comando efetivamente nacionais.

Quando a implantação contemplar também linhas de alimentação e distribuição, elas poderão compor os investimentos necessários, inclusive para eventual apoio financeiro, desde que atendidas as condições estipuladas no parágrafo acima.

## 6. LEGISLAÇÃO

A legislação brasileira classifica os aproveitamentos hidrelétricos em dois tipos, conforme a finalidade da energia produzida:

- serviços públicos
- uso exclusivo

Os aproveitamentos destinados aos serviços públicos são aqueles cuja energia elétrica gerada, independentemente da potência da central, se destina ao uso geral, sendo para isso comercializada pelo seu produtor, ou seja, a Concessionária de serviços públicos. Dependem sempre, portanto, de uma concessão outorgada pelo governo federal.

Já os aproveitamentos destinados ao uso exclusivo são aqueles cuja energia elétrica gerada se destina ao uso exclusivo de seu produtor, que no caso é denominado Autoprodutor. Podem depender simplesmente de uma notificação para fins estatísticos, ou de uma autorização federal, ou ainda de uma concessão federal, conforme o valor da potência instalada. A legislação vigente até o momento estabelece as seguintes faixas de potência para tal fim:

- até 50 kW, simples notificação;
- de 50 kW até 150 kW, autorização;
- acima de 150 kW, concessão.

O Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, propôs alterar estes limites de 50 kW para 100 kW e de 150 kW para 10.000 kW, estando projeto de lei neste sentido tramitando no Congresso Nacional.

Os interessados em aproveitamentos hidrelétricos para uso exclusivo deverão ter a propriedade da área onde será construída a central, inclusive as inundadas pelo eventual reservatório, ou obter uma autorização dos proprietários ribeirinhos.

Enquanto não é aprovado o projeto de lei em tramitação, os aproveitamentos hidrelétricos com potência instalada superior a 50 kW e inferior a 150 kW, para uso exclusivo dos proprietários, dependem de autorização outorgada através de portaria do Ministro das Minas e Energia.

A autorização acima referida é solicitada por meio de requerimento ao Ministro das Minas e Energia, através do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, cujo endereço é Edifício Palácio do Rádio-Setor de Rádio e Televisão Sul - Brasília - DF - CEP 70.000, encaminhando prova de propriedade da área, pro-

va de idoneidade financeira, ficha técnica conforme o ANEXO 6/A e projeto em duas vias elaborado de acordo com este MANUAL DE MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS.

Do mesmo modo, enquanto não é aprovado o projeto de lei em tramitação, os aproveitamentos hidrelétricos para uso exclusivo com potência instalada superior a 150 kW dependem de concessão outorgada por decreto do Presidente da República, referendado pelo Ministro das Minas e Energia.

A concessão é solicitada por meio de requerimento ao Ministro das Minas e Energia, através do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE encaminhando os mesmos documentos citados no parágrafo anterior.

Tanto para a autorização como para a concessão, para o perfeito cumprimento dos requisitos legais, deverão ser observadas as Normas para Apresentação de Estudos e Projetos de Exploração de Recursos Hídricos para Geração de Energia Elétrica, aprovadas através da Portaria DNAEE/DG nº 125, de 17 de agosto de 1984. O escritório mais próximo do DNAEE dará aos interessados toda a orientação necessária.

Caso o proprietário da central disponha de excedente de energia elétrica (potência da central superior às necessidades da propriedade) o Decreto-Lei nº 1872, de 21.05.81, regulamentado pela Portaria 84, de 22.10.81, do Diretor-Geral do DNAEE, permite que este excedente seja vendido à Concessionária local, desde que ela esteja de acordo, podendo esta venda vir a contribuir para o aumento dos rendimentos do proprietário da central, bem como para a melhoria da qualidade dos serviços prestados pela Concessionária à comunidade.

## FICHA TÉCNICA

1. IDENTIFICAÇÃO DO APROVEITAMENTO						
Denominação:						
Proprietário:						
Finalidade: Serviço Público <input type="checkbox"/> Uso Exclusivo <input type="checkbox"/>						
2. LOCALIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO						
Bacia e Sub-Bacia Hidrográfica (DNAEE):						
Curso d'Água:						
Coord. Geog. Lat.:			Município Margem Direita:			
Long.			Município Margem Esquerda:			
3. CUSTO DE IMPLANTAÇÃO						
Potência Instalada (kW):			Orçamento:		Data: / /	
Cr\$/kW:			1 Dólar: Cr\$			
4. DADOS DO PROJETO						
Área de Drenagem:						km <sup>2</sup>
Vazão Média (Período): ____/____)						m <sup>3</sup> /s
Vazão Máx. Diária:						m <sup>3</sup> /s
Vazão Mín. Média Mensal:						m <sup>3</sup> /s
Vazão de Enchente (TR: ____ Anos)						m <sup>3</sup> /s
Vazão Firme (95%)						m <sup>3</sup> /s
Vazão Máx. Turbinada:						m <sup>3</sup> /s
Queda Líquida Máxima:						m
Nível Máx. Normal:						m
Barragem	Tipo					
	Altura Máxima					m
	Comprimento Total de Crista					m
	Volume Total					m <sup>3</sup>
5. DETALHE DAS UNIDADES						
Barragem	TURBINAS		GERADORES			Início de Operação
	Tipo	Potência(CV)	Tensão(V)	Potência (kW)	F.P.	
NOTAS:						

7. PARTICIPANTES NO TRABALHO



O trabalho de elaboração do Manual de Estudos e Projetos de Mini centrais Hidrelétricas foi realizado pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS, com o apoio técnico e administrativo da ENGEVIX, Estudos e Projetos de Engenharia, através do Contrato Nº ECE-409/85 e com a interveniência do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, mediante o Contrato-37/84 nº do DNAEE, e 184/84, nº da ELETROBRÁS, entre este Órgão e a ELETROBRÁS.

O prazo total para a execução dos serviços foi de sete (7) meses, com início em dezembro de 1984.

Foi constituído um Grupo de Estudos que participou efetivamente da elaboração do Manual de Minicentrais, formado com força tarefa da equipe técnica da ENGEVIX e com estreita participação do corpo técnico da ELETROBRÁS.

Valiosa colaboração técnica para a consecução do objetivo foi oferecido pelo próprio DNAEE, pelas Concessionárias da Energia Elétrica, pelo BNDES, pelo FINAME, pelo BANCO DO BRASIL, pela FINEP e pela EFEI, através do fornecimento de dados, informações, críticas e sugestões, tentando suprir o trabalho com o que de melhor se dispunha em matéria de tecnologia, com isso concorrendo para se obter o máximo possível de consenso entre os participantes.

Manifesta-se aqui os agradecimentos a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, tenham colaborado para a realização do presente Manual e declina-se a seguir a relação daqueles que constituíram a Supervisão e a Coordenação, bem como dos que mais diretamente participaram, através de seu comparecimento às reuniões de trabalho:

#### Supervisão Geral

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

Antonio Carlos Tatit Holtz - Diretor de Planejamento e Engenharia

Altino Ventura Filho - Chefe do Departamento de Geração

Cesar Augusto Lourenço Filho - Adjunto do Chefe do Departamento de Geração

Luiz Felipe Pierre - Chefe de Divisão de Engenharia de Geração

ENGEVIX S.A.-Estudos e Projetos de Engenharia

Humberto Queiroz de Souza - Diretor

#### Coordenação

José Carlos Ururahy Pádua - Coordenador Geral - ELETROBRÁS

Mario Mendes de Oliveira Castro - Coordenador Executivo - ENGEVIX S. A.

Participantes

CEMAT

Pedro Paulo Nogueira  
Wilson Herculano L. Freitas

CEMIG

Aricelio Simões  
José Sérgio P. de Siqueira

CERJ

Martinho D'Ascensão  
Sérgio Ribeiro Lima

CESP

Fernando Viegas Borba  
Flávio Bartolomeu S. Rago

CFLCL

Adilson Ferrari Alves  
Alberico Dutra de Siqueira Filho

CHESF

Ary Pinto Ribeiro Filho  
Carlos Alberto Carneiro Leão

CNPq

João Snassuna  
Paulo Cesar Gonçalves Egler

DMEE - Poços de Caldas

Cícero Machado de Moraes  
Luis Henrique B. Ottoni

DNAEE

Ciro Loureiro Rocha  
Domingos do Carmo de Carvalho  
José Alberto Pereira de Araújo  
Nehemias Marques Cunha  
Ubirajara Wense Dias  
Vicente Fernandes de Moraes

EFEI

Afonso Henrique Moreira Santos  
Zulcy de Souza

ELETOBRÁS

Afonso Maria Furtado da Silva  
Almyr Borges da Silva  
Andrei Goloubeff  
Arlete Rodarte Neves  
Denizart do Rosário Almeida  
Elinei Winston da Silva  
Estêvão Leitão de Carvalho Bustamente  
Fortunato Peixoto Netto  
Frederico Eugênio de Oliveira  
George Cals de Oliveira Filho  
Joel Cardoso Natividade  
José Caracciolo Peixoto de Azevedo  
José Marques de Goes  
Leandro Lirman  
Luis Tulois  
Maria Cristina Cals de Oliveira  
Mário Márcio Alvarenga  
Mário M. Miranda  
Odemir Alves Lima  
Oduvaldo Barroso da Silva  
Paulo Fernando Vieira Souto Rezende  
Sérgio Nilo Gomes de Faria  
Sylvio Scarso Barcellos

ELETROSUL

Érico Georg  
Luis Francisco Evangelista

ENERSUL

Ricardo A. Hayashida

ENGEVIX

Airton Duarte Carneiro  
Antonio Joaquim Carvalho  
Ana Maria P. Tassara  
Augusto Vinhas  
Carlos Henrique Holk  
Danielita Mendes da Silva  
Fernanda Pego Mendes  
Fernando Antonio F. Samico  
Gil Mendes Tavares  
Gilberto C. A. Prazeres  
Ilsa de Siqueira Ayres  
Isaura de Sousa Soares  
José Carlos Miranda  
José Carlos C. Mendes  
José Edmar F. Gomes  
José Eduardo Barroso  
José Moura Lima  
José Renato K. Contrim

ENGEVIX (cont.)

Julio Domingos Nunes Fortes  
Lucio Juventino Lima  
Luiz Cláudio Orleans  
Marco Augusto Siciliano  
Mario Mendes de Oliveira Castro  
Marcelo de Mendonça Pinto  
Manuel Almeida Martins  
Nelson Luiz F. Porto  
Nilza Mizutani  
Paulo Peter Baumotte  
Regia Sueli M. Bezerra  
Tsuneo Sato  
Ubiraci Ferreira Santos  
Wellington Coimbra Lou

ESCELSA

Geraldo Vianna de Barros  
Helvécio Antônio de Mattos

FINEP

Maria Tereza Pierangelina  
Roberto Viegas Reis

FURNAS

Flávio Pilz  
Gastão de Almeida Rocha  
Paulo Cyranha  
Renato Cezar Bastos

LIGHT

Carlos Fernando Rocha Santos  
Roberto Antonio Valadão Freire

CELPA

Athos Barbosa de Amorim  
Eduardo Santos Pereira  
João Bosco Amazonas Pedroso

CERON

Ediresa Garcia Ferreira  
José Ricardo Almeida de Britto

COPPE/UFRJ

Edison Hirokazu Watanabe

FINAME

Kleber da Silva Brito  
Reginas Maria V. Gutierrez

COPEL

Ruy F. Sant'Ana

UFRJ

Moacir S. Silva  
Theofilo B. Ottoni Netto

IBGE

Angelo José Pavan  
Paulo F. Vilarinho

COELCE

Francisco L. P. Neiva Santos

CEBRAE

Julio Cesar Rocha

IBAM

Lino Ferreira

CAEEB

Raimundo Nonato Rosa

CTH

Pedro Luiz Accorri

IPT

Haydée M. A. Prado

CELPE

David Jacobonita Netto

BNDES

Eliada Seabra Teixeira Faria  
Reginaldo Treiger  
Roberto Silveira  
Rômulo dos Santos

CEPEL

José Carlos Gomes Costa

STI/MIC

Luiz C. P. Negrão

BANCO DO BRASIL

Afonso Rodrigues de Avelar

---