

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS

LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ARQUIVO DA SECRETARIA
ARQUIVO DA SECRETARIA

DESCARREGADORES DE LÂMINA LIVRE
SOBRE TODO O COROAMENTO DE BARRAGENS
DISSIPACÃO-RESTITUIÇÃO NAS ENCOSTAS

Lisboa, Março de 1965



299

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

SERVIÇO DE HIDRÁULICA
DIVISÃO DE HIDRÁULICA FLUVIAL E URBANA

Proc. 62/1/485

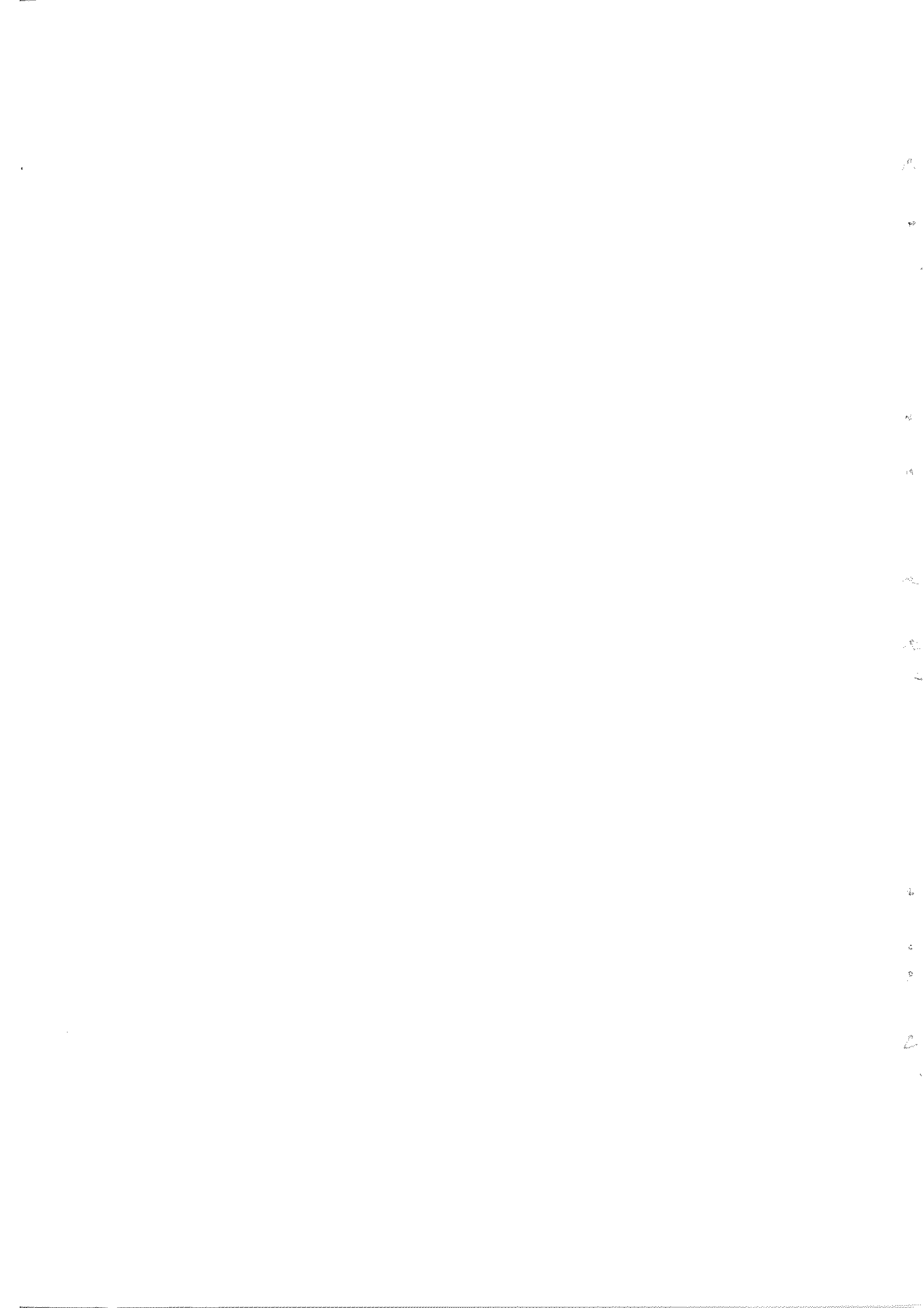
DESCARREGADORES DE LÂMINA LIVRE
SOBRE TODO O COROAMENTO DE BARRAGENS

DISSIPACÃO-RESTITUIÇÃO NAS ENCOSTAS

José Rodrigues de Almeida

Tese apresentada a concurso para es
pecialista do Laboratório Nacional
de Engenharia Civil

Lisboa, Março de 1965



Para a boa realização deste trabalho muito se fica a dever ao estímulo e apoio que sempre se encontrou no Chefe da Divisão de Hidráulica Fluvial e Urbana, Engenheiro Armando de Lencastre. É pois de toda a justiça deixar aqui expresso um muito sincero agradecimento.

Pelo interesse posto na colaboração prestada, agradece-se:

- Ao ajudante para experimentador senhor José Carlos Nicolau Lopes, que colaborou na realização dos ensaios e na preparação dos quadros e gráficos com os resultados.

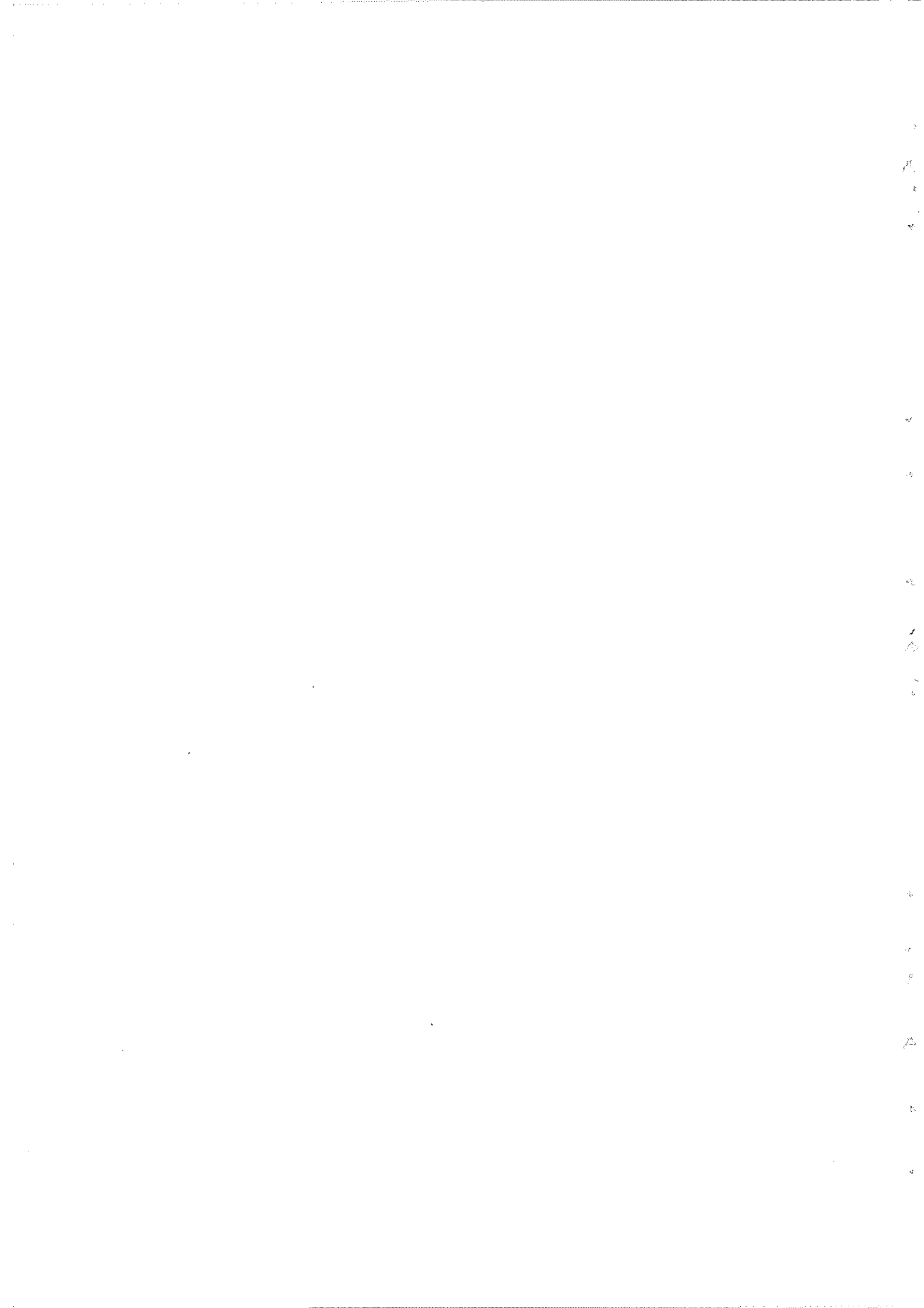
- Ao desenhador senhor António Afonso, que executou os desenhos.

- Ao dactilógrafo senhor José da Fonseca Fortunato, que dactilografou todo o trabalho.

Agradece-se ainda ao pessoal dos sectores de fotografia e impressão da D.D.I. o cuidado posto na impressão deste trabalho.

Finalmente é dever deixar também um agradecimento às entidades que financiaram os estudos:

- Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos
- Direcção de Serviços de Obras Públicas e Transportes de Angola
- Direcção de Serviços de Obras Públicas e Transportes de Moçambique.



DESCARREGADORES DE LÂMINA LIVRE SOBRE
TODO O COROAMENTO DE BARRAGENS

Dissipação-restituição nas encostas

Resumo

O objectivo do presente trabalho foi a definição da parte de jusante das bacias de dissipação e restituição localizadas nas encostas, para descarregadores de lâmina livre sobre todo o coroamento de barragens.

Pretendeu-se obter elementos que permitissem o respectivo dimensionamento, a nível de anteprojecto. Este desiderato foi alcançado, constando os resultados dos gráficos das figuras 32, 33 e 34.

Na programação dos ensaios, bem como na escolha dos valores dos diferentes parâmetros a ensaiar e ainda na elaboração e apresentação dos resultados, houve sempre a preocupação de colocar ao dispor do projectista elementos realmente úteis e que portanto tivessem aplicação aos casos que habitualmente surgem na prática.

A comprovar este facto está o Anexo III onde se apresenta um exemplo de aplicação a um caso concreto e o respectivo ensaio em modelo reduzido. Os resultados obtidos, excedendo as perspectivas mais optimistas, permitem esperar que, à medida que se for ganhando confiança na sua aplicação e que estes estudos forem sendo desenvolvidos, possam ter aplicação a nível de projecto, pelo menos em obras pequenas.

A título subsidiário apresenta-se na figura 24 um gráfico para a determinação dos alcances da face superior duma lâmina descarregada sobre uma soleira delgada.

DÉVERSOIR À CHUTE LIBRE SUR TOUTE LA LONGUEUR
DE LA CRÊTE

Dissipation-restitution sur les versants

Résumé

C'est l'objet du présent travail de définir la partie aval des bassins d'amortissement et de restitution, situés sur les versants, dans les évacuateurs à chute libre sur toute la longueur de la crête.

On s'est efforcé avec succès d'obtenir des données permettant le dimensionnement de l'ouvrage pendant l'avant-projet, les résultats obtenus étant présentés dans les graphiques des figs. 32, 33, 34.

Soit dans la programmation des essais, soit dans le choix des valeurs des paramètres à étudier, soit dans le défouillement et la présentation des résultats, on a toujours cherché à fournir aux projeteurs des données vraiment utiles, donc applicables aux cas les plus fréquents dans la pratique.

En confirmation de ce soucis, on présente dans l'Annexe III un exemple d'application et l'essai en modèle respectif. Les résultats obtenus bien au-delà des prévisions les plus optimistes conduisent à espérer que, au fur et à mesure que la méthode sera employée avec plus de confiance et que les études de ce genre se multiplient, ils pourront être appliqués dans le projet d'au moins des petits ouvrages.

A titre subsidiaire, on présente dans la fig. 24 un graphique permettant la détermination des portées de la nappe supérieure de la lame déversante sur un profil mince.

FREE-NAPPE SPILLWAYS OVER THE WHOLE CREST
LENGTH OF THE DAM

Energy dissipation-release structures in the hillsides

Synopsis

The object of the present paper was to design the downstream parts of the stilling pool and release structures lying on the hillside and belonging to free-nappe spillways over the whole crest of the dam.

The author tried with success to obtain draft project data for the design of these structures, the results obtained being presented in the curves of figs. 32, 33, 34.

In the preparation of the research program, in the choice of the values of the different parameters to be tested and in the presentation of results, the author had always in mind to make available to the designer data really useful and consequently applicable in the cases most usual in practice.

This is confirmed by an instance of application and the corresponding model test presented in Annexe III. The results obtained exceeding the most optimistic expectations, the author thinks that as the method is more confidently applied and studies of this kind develop, they will grow applicable in the final design of at least minor structures.

As a supplement, a graph is presented in fig. 24 for determination of the reach of the upper surface of an overflow nappe on a sharp-crested weir.



ÍNDICE DO TEXTO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - ESTADO ACTUAL DO ESTUDO DOS DESCARREGADORES DE LÂMINA LIVRE ..	5
2.1 - Forma das soleiras	5
2.2 - Dissipação no ar	8
2.3 - Dissipação no talvegue	10
2.4 - Dissipação - restituição nas encostas	11
3 - OBJECTIVO E MÉTODO DE ANÁLISE	13
3.1 - Definição do objectivo	13
3.2 - Método de análise	16
3.2.1 - Via analítica	16
3.2.2 - Via experimental	24
3.2.3 - Conclusão	25
4 - INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL E APARELHAGEM UTILIZADAS	26
4.1 - Instalação experimental	26
4.2 - Aparelhagem	27
5 - PROGRAMAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	33
5.1 - Programação dos ensaios	33
5.1.1 - Variação dos parâmetros \underline{I} , \underline{h} , \underline{H} e $\frac{Q_m}{Q_o}$	33
5.1.2 - Registo dos parâmetros \underline{e} , \underline{d} e \underline{i}	36
5.2 - Realização dos ensaios	38
5.2.1 - Modo de realizar os ensaios	38
5.2.2 - Critério de apreciação das soluções	39
5.3 - Ensaios complementares	40

6 - CAMPO DE APLICAÇÃO DOS RESULTADOS	41
6.1 - Características dos escoamentos ensaiado e real	42
6.2 - Efeitos de escala	44
6.3 - Alguns valores em possíveis protótipos	45
7 - OBSERVAÇÕES E MEDIÇÕES EFECTUADAS	47
7.1 - Ensaio sistemáticos	47
7.1.1 - Observações	47
7.1.2 - Registos	49
7.2 - Ensaio complementares	49
8 - ELABORAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	51
8.1 - Elaboração dos resultados	51
8.1.1 - Alcances das lâminas descarregadas	51
8.1.2 - Distância entre os muros e as lâminas descarregadas (<u>e</u>)	59
8.1.3 - Altura dos muros (<u>d</u>).....	74
8.1.4 - Inclinação dos muros (<u>i</u> = $\text{tg } \alpha$)	74
8.1.5 - Eficiência das bacias	81
8.2 - Interpretação dos resultados	89
9 - CONCLUSÕES	92
9.1 - Estudos efectuados	92
9.2 - Programação de novos estudos	93
ANEXO I - Registos numéricos obtidos nos ensaios	
ANEXO II - Registos das flutuações de pressão	
ANEXO III - Aplicação dos resultados obtidos a um caso concreto	

DESCARREGADORES DE LAMINA LIVRE
SOBRE TODO O COROAMENTO DE BARRAGENS

DISSIPACÃO-RESTITUIÇÃO NAS ENCOSTAS

1 - INTRODUÇÃO

Um dos órgãos de segurança das barragens, que por vezes incide fortemente no seu custo, é o descarregador de cheias. São vários os tipos de descarregadores existentes, alguns inerentes à própria estrutura da barragem, outros podendo utilizar-se com diferentes tipos de barragens.

Sem se pretender fazer uma classificação completa dos descarregadores, apresentam-se a seguir os principais tipos, com a indicação das condições em que habitualmente são utilizados, tendo em vista localizar o caso dos descarregadores de lâmina livre, com as suas vantagens e limitações.

Embora o objectivo não seja classificar, como já se disse, ganhar-se-á em clareza procedendo como se o fosse. Assim dir-se-á que uma primeira divisão que se pode fazer dos diferentes tipos de descarregador é a seguinte: ligados e separados do corpo da barragem.

Estes últimos utilizam-se principalmente com barragens de terra e de enrocamento e são, regra geral, do tipo poço ou frontal. Os primeiros aproveitam quase sempre a galeria de derivação; os segundos podem aproveitá-la ou não, sendo frequentes os que em vez de galeria possuem um canal. Como exemplos citam-se: os descarregadores em poço e frontal da barragem de enrocamento de Paradela, em que o primeiro aproveitou a galeria de derivação e o segundo tem uma galeria construída com esse fim; o descarregador em poço da barragem de

terra de Montargil e o descarregador frontal da barragem de terra de Maranhão, ambos aproveitando a galeria de derivação; o descarregador frontal da barragem de terra "El Dilúvio", na Venezuela, constituído, na parte respectiva, por um canal.

Do grupo de descarregadores ligados à barragem podem ainda distinguir-se, por deverem talvez ser considerados como fazendo parte dum terceiro grupo, intermédio entre os dois indicados, os descarregadores localizados nos encontros das barragens de betão. São constituídos, em princípio, por uma ou mais portadas, podendo funcionar ou não como orifícios, por um canal, com uma ou mais pistas e por um dispositivo destinado à dissipação e restituição.

São exemplos os descarregadores das barragens arco-abóbada de "Beleazar", em Espanha e do Alto Rabagão.

Finalmente, no grupo dos descarregadores propriamente ligados ao corpo da barragem, caso geral das barragens de betão, distinguem-se dois tipos principais: de lâmina aderente e de lâmina livre. Qualquer deles pode funcionar com superfície livre ou em carga, não parecendo este um factor importante de separação, porquanto as duas situações podem ser comuns ao mesmo descarregador desde que ele seja provido de comportas. Além disso acontece ainda que, sob este ponto de vista, há um certo paralelismo para os dois tipos. No caso dos descarregadores do Castelo do Bode e de Caniçada, por exemplo, respectivamente de lâmina aderente e de lâmina livre, eles foram projectados para funcionar normalmente em carga, podendo no entanto funcionar com superfície livre, quando se pretenda baixar o nível na albufeira. Já os descarregadores do Alto Cávado e de Bouçã, também respectivamente, de lâmina aderente e de lâmina livre, foram projectados para funcionar exclusivamente com superfície livre, caso frequente quando o descarregador ocupa todo o coroamento da barragem e o

caudal de máxima cheia não é excessivo ou, o que é o mesmo, se descarrega com uma carga relativamente pequena. Quando assim não acontece, ou porque não se utiliza todo o coroamento ou mais vulgarmente porque o caudal de máxima cheia é elevado (Caia, Miranda ou Picote, por exemplo, todos de lâmina aderente) os descarregadores são providos de comportas e funcionam em carga (aberturas parciais das comportas) até determinado valor do caudal e com superfície livre a partir desse valor.

No tipo de lâmina aderente podem distinguir-se os que exigem uma estrutura especial e os que aproveitam a própria estrutura da barragem, mais pròpriamente o seu paramento de jusante. Como exemplos do primeiro caso citam-se os descarregadores das barragens do Picote, do Caia e do Roxo, as duas últimas em construção; do segundo caso mencionam-se os descarregadores das barragens de Bemposta, do Alto Cávado e de "Saucelle" (Espanha).

No tipo de lâmina livre poderão ainda distinguir-se os que ocupam todo o coroamento da barragem dos que o ocupam parcialmente. Neste último caso situam-se práticamente só os que funcionam habitualmente em carga, munidos portanto de comportas, sendo exemplos os de Salamonde, Caniçada e Cambambe (2ª fase). Talvez se devesse chamar a estes descarregadores, com mais propriedade, de jactos livres. Há no entanto excepções como é o caso de Cambambe (1ª fase), sendo de admitir que haja algum exemplo com carácter definitivo.

Como exemplos de descarregadores de lâmina livre ocupando todo o coroamento da barragem citam-se os das barragens de Bouçã e de Girabolhos, esta em estudo.

Feita esta breve análise dos tipos principais de descarregadores existentes fácil é concluir que na maioria dos casos concretos,

se bem que haja outros condicionamentos, quer inerentes à obra quer devidos à topografia, a escolha do tipo de descarregador fica muito condicionada pelo tipo de barragem adoptado. Casos poderá haver até em que se verifique o contrário. Assim sendo, como se explica a adopção de tipos de descarregadores, não adaptados à estrutura das barragens, cuja estrutura própria chega a atingir um volume de obra de 50% do volume de obra da barragem propriamente dita? Mais concretamente, e apenas para se apresentarem exemplos, porque se não adoptaram descarregadores de lâmina livre, em aproveitamentos como o de Alto Rabagão, Belezar (Espanha), Castelo do Bode, Caia, Roxo, Pico-te, para se citarem só exemplos já apontados? Julga-se que para além doutros factores que não cabe aqui analisar, será sobretudo o pouco conhecimento que se tem do comportamento dos descarregadores de lâmina livre que tem originado a sua não adopção, mesmo nos casos mais flagrantes da economia que o seu emprego acarretaria.

Este problema sentiu-o o Laboratório Nacional de Engenharia Civil não só em relação aos descarregadores de lâmina livre, mas ainda no que diz respeito aos de lâmina aderente. Tem por isso o Laboratório, através dos Serviços de Hidráulica, de Barragens e de Edifícios e Pontes, procurado aumentar os conhecimentos sobre este domínio, no sentido de conduzirem a uma maior economia nos descarregadores tradicionalmente usados, à utilização daqueles que, sendo económicos, não são utilizados pelo desconhecimento do seu comportamento e até à criação de novos tipos.

No primeiro e terceiro aspectos indicados insere-se o trabalho do Eng^o. Fernando Abecasis do S.H. do L.N.E.C., apresentado como t^ese a concurso para investigador; no segundo aspecto, o trabalho do Eng^o. Armando Lencastre do mesmo Serviço, apresentado como t^ese ao mesmo concurso.

É também no segundo aspecto do problema, utilização de descarregadores que, sendo económicos, não são utilizados, pelo desconhecimento do seu comportamento, que se procurou situar este trabalho. Mais concretamente, ele situa-se no domínio dos descarregadores de lâmina livre sobre todo o coroamento de barragens, abordando o problema da dissipação-restituição nas encostas.

2 - ESTADO ACTUAL DO ESTUDO DOS DESCARREGADORES DE LÂMINA LIVRE

O estudo dos descarregadores de lâmina livre, mesmo mais especificadamente, dos que ocupam todo o coroamento da barragem, abrange problemas múltiplos: formas das soleiras, dissipação no ar, dissipação no talvegue (podendo falar-se aqui concretamente em bacia de dissipação) e dissipação-restituição nas encostas.

2.1 - Forma das soleiras

Os critérios de dimensionamento das soleiras para este tipo de descarregadores são diferentes dos que se utilizam para o dimensionamento de descarregadores de lâmina aderente e, em certos aspectos, mesmo para os descarregadores atrás designados de jactos livres.

Porque nada se encontrou sobre este problema na pesquisa bibliográfica efectuada e, embora não constitua o objectivo deste estudo, para ele contribui de maneira importante, dar-se-á conta da experiência que o signatário tem do assunto.

Nos descarregadores de lâmina aderente o único objectivo em vista é aumentar o coeficiente de vazão, o que se faz procurando melhores formas para as soleiras, mas principalmente à custa do aumento das depressões nas mesmas, sendo o limite deste aumento o risco de cavitação.

No caso dos descarregadores de jactos livres procura-se também

aumentar o coeficiente de vazão, mas esse objectivo pode ser prejudicado pela vantagem em obter um maior alcance para os jactos e, além disso, encontra um limite inferior ao que se apresenta para os descarregadores de lâmina aderente. Nestes últimos, o limite é, como já se disse, o risco de cavitação, uma vez que a zona de depressões é localizada e envolvida por zonas de pressões positivas (em relação à atmosférica), não havendo a possibilidade de entrada de ar e consequente vibração da lâmina que poderia ser transmitida à estrutura. No caso dos descarregadores de jactos livres e de lâmina livre, as depressões estender-se-iam até ao bordo da soleira provocando vibração dos jactos da lâmina, a menos que esta fosse muito prolongada para jusante ou levantada na parte final. Este segundo processo é por sua vez limitado pela redução que, a partir de determinado valor, vai provocar no coeficiente de vazão, tendo então efeito contrário à que se procura com o aumento das depressões. Em relação ao alcance dos jactos ou da lâmina, esta sobrelevação da soleira contribui para o seu aumento, caindo-se assim no enunciado do problema que é o do aumento do coeficiente de vazão poder estar condicionado à necessidade de aumentar o alcance dos jactos. Nestas condições as depressões deverão ser menores do que no caso dos descarregadores de lâmina aderente⁽¹⁾, julgando-se mesmo mais prudente não admitir depressões. Assim, o limite para o aumento do coeficiente de vazão deverá ser o da soleira normal para o caudal de máxima cheia, podendo mesmo ser menor se houver vantagem em obter um maior alcance dos jac

(1) - No estudo do descarregador de Girabolhos, em curso no LNEC, houve que alterar as soleiras do descarregador por, entre outras razões, se apresentarem muito deprimidas.

tos.

Finalmente, no caso dos descarregadores de lâmina livre sobre todo o coroamento da barragem, o aumento do coeficiente de vazão não tem o interesse que apresenta nos casos anteriores. A economia que naqueles casos se obtém, de betão e comportas no primeiro, praticamente só de comportas, no segundo, não tem aqui significado. Com efeito, sendo o nível de retenção normal fixado pelo coroamento da soleira na parte central do descarregador, pode-se jogar com as cotas das restantes soleiras (deve dizer-se que este tipo de descarregador é sempre constituído por soleiras a diferentes cotas, aumentando estas do centro para os encontros e que tal prática resulta de se pretender que a maior parte da dissipação de energia se realize no talvegue, zona que, naturalmente, se apresenta mais saneada pelo trabalho da água ao longo dos séculos) para compensar a diminuição dos coeficientes de vazão, sem que o nível de máxima cheia sofra alteração. No caso concreto do descarregador de Girabolhos, já referido, em que houve necessidade de alterar as soleiras, foram mantidos os dois níveis indicados e isto apesar de nas soleiras do projecto a relação $\frac{H_M}{H_D}$ (carga máxima / carga de dimensionamento) variar entre 1,48 e 0,90 e na solução estudada entre 1,00 e 0,27. Há no entanto um aspecto que é importante no dimensionamento destas soleiras, e que não se apresenta em qualquer dos outros tipos de descarregador. Tendo as soleiras cotas diferentes, as respectivas cargas são igualmente diferentes, variando portanto o alcance das lâminas, se as soleiras tiverem a mesma forma. Do ponto de vista da dissipação-restituição nas encostas, este factor é nocivo, havendo toda a vantagem em que a linha de alcances das lâminas descarregadas pelas diferentes soleiras, seja o mais possível contínua. Para que assim aconteça necessário se torna que, à medida que a cota das soleiras aumenta, estas sejam me

nos mergulhantes, o que acarreta um aumento de pressão sobre elas e a diminuição do coeficiente de vazão.

Porque este assunto tem, como já se disse, influência directa na resolução do problema em estudo, voltar-se-á a ele mais adiante.

2.2 - Dissipação no ar

Trata-se doutro problema ligado aos descarregadores de lâmina livre (e de jactos livres) que, tanto quanto se sabe, não foi ainda suficientemente explorado e que poderá conduzir a resultados compensadores.

A dissipação duma lâmina ou dum jacto livres processa-se de três modos [2] : no ar, na água e por impacto.

A dissipação na água e por impacto tem sido estudada e aplicada. Consegue-se criando colchões de água amortecedores e construindo tapetes de betão a jusante do descarregador, sendo o mais usual a associação dos dois tipos de dissipação, por conduzir a obras mais económicas. Entregar só à dissipação na água ou por impacto toda a energia a dissipar, conduz a alturas de água ou a espessuras de revestimento de tal maneira grandes que se revelam menos económicas que as soluções mixtas. Poderá vir a acontecer que, à medida que são melhor conhecidas as características da solicitação proveniente do impacto dum jacto no tapete, se venha a encontrar um tipo de estrutura que lhe resista melhor e se possa então reduzir o colchão de água.

Associado a estes dois processos de dissipação, está sempre presente, sem que para isso se tenham utilizado até agora quaisquer obras especiais (a menos dispositivos para fraccionar a lâmina) a dissipação no ar. Não há dúvida que quanto maior for esta, menor será a que ficará a cargo dos outros dois processos, e que geralmente

são caros.

Porque não procurar então aumentá-la? E como consegui-lo? Vejamos primeiro como se processa, qualitativamente, a dissipação dum jacto de água no ar⁽¹⁾. No início do jacto nota-se uma zona de estebelecimento do escoamento, no fim da qual toda a secção do jacto foi afectada pela turbulência. A ondulação inicial devida à tensão superficial, vai aumentando devido ao arrastamento do ar e dá origem a uma zona de forte turbulência, que acaba por atingir a zona central. Para jusante a dimensão dos vértices tende a aumentar; a emulsão do ar com a água é cada vez maior, e o jacto deixa de ter uma estrutura maciça, para ser construído por massas de água separadas que caem no ar; é a zona de dissipação total, visto que, se a altura da queda for suficiente, acabará por produzir uma pulverização completado jacto.

Quando existe um colchão de água na base da queda, caso corrente nos descarregadores de lâmina livre pelo menos na zona do talvegue, além do efeito de arrastamento de ar que, emulsionado, se mistura como escoamento facilitando o desenvolvimento da turbulência e a consequente dissipação de energia do jacto, há ainda as bolhas de ar ascendentes que tendem a furar o jacto. Este efeito parece diminuir à medida que o jacto passa de vertical a inclinada, possivelmente devido às bolhas de ar arrastado que, ao subirem verticalmente, têm mais efeito nos jactos verticais do que nos inclinados.

O que se disse quanto aos jactos é válido para as lâminas processando-se o fenómeno talvez mais rapidamente porque, regra geral, a relação superfície/volume é maior nestas do que naqueles.

Quanto mais cedo se verificar a pulverização completa da lâmina maior será a energia dissipada ao longo da queda.

(1) Veja-se [2] , pág. 109 e seguintes

Temos assim que um método de conseguir este objectivo parece ser a instalação de injectores de ar nas soleiras, capazes de promover uma pulverização completa da lâmina logo no início da queda.

Julga-se que o assunto virá a merecer, da parte de quem se interessa pelo melhor conhecimento do comportamento dos descarregadores de lâmina livre e sua maior utilização, com as consequentes vantagens económicas, um estudo aprofundado. Mencionou-se aqui, apenas por ele se situar na zona de influência do assunto concretamente estudado.

2.3 - Dissipação no talvegue

De todos os problemas ligados aos descarregadores de lâmina livre sobre todo o coroamento de barragens tem sido este o mais estudado, embora a razão desses estudos nem sempre se prenda directamente com este tipo de descarregador. Quando muito relacionam-se com os descarregadores de lâmina livre que ocupam apenas a parte central da barragem, podendo no entanto generalizar-se aos que utilizam todo o coroamento, dada a semelhança existente nessa zona. Pode mesmo dizer-se que a única diferença é que no segundo caso a lâmina descarregada na parte central, além, das dissipações no ar, no colchão de água e por impacto no fundo da bacia, pode ainda ser dissipada pela sua intercepção por jactos provenientes do escoamento nas encostas desde que devidamente orientados. Deste modo, a contribuição da bacia de dissipação (que reúne as dissipações no colchão de água e por impacto) será menor, pelo que resultará maior economia.

Da análise da bibliografia pesquisada pode concluir-se que os aspectos sob os quais o problema tem sido estudado são os seguintes: dissipação no ar e na água e por impacto e dimensões e forma das erosões. Cada um destes aspectos tem sido abordado, quer pela via ana-

lítica, quer pela via experimental. Assim, da bibliografia indicada, referem-se a dissipação no ar e na água e por impacto as publicações [2] e [7], pelas duas vias, e só a dissipação no ar e na água a [9], pela via experimental; referem-se às dimensões e forma das erosões as [2] e [8] pelas duas vias, [4], [6] e [10] pela via experimental e [5] pela analítica.

É a este problema que o LNEC tem dedicado também a maior parte da sua actividade sobre os descarregadores de lâmina livre.

Teve inicialmente que se equipar com instalações e aparelhagem e não foi pequeno o esforço dispendido nesse sentido. Como consequência possui hoje instalações especiais destinadas a ensaios sistemáticos destes descarregadores e aparelhagem capaz de registar e analisar as solicitações provenientes do impacto dum jacto ou lâmina em queda livre.

Foram efectuados trabalhos com vista a um melhor conhecimento sobre:

- a) alcance de lâminas livres com soleiras de forma especial;
- b) dimensões e formas de erosões a jusante de descarregadores de lâmina livre e sua comparação, em iguais condições, com as ocorridas a jusante de descarregadores de lâmina aderente;
- c) efeito amortecedor no colchão e dissipação no ar;
- d) formas de bacias de dissipação, embora os ensaios até agora efectuados não tenham tido carácter sistemático.

2.4 - Dissipação-restituição nas encostas

Este problema diz apenas respeito aos descarregadores de lâmina livre que ocupam todo o coroamento da barragem e tem sido o menos estudado. O LNEC tem pouca experiência adquirida sobre o assunto, a

penas tendo até agora realizado um ensaio de um descarregador deste tipo, mas sem possibilidade de se vir a observar o funcionamento do protótipo, uma vez que o tipo de barragens foi alterado e com ele o descarregador de cheias. Tem actualmente em curso outro ensaio dum descarregador deste tipo.

No campo internacional e após ter-se feito uma pesquisa bibliográfica intensa e ainda depois de se terem consultado diversos boletins das "Recherches Hydrauliques" (que dão conta dos trabalhos em curso, concluídos ou iniciados, cada ano, nos diferentes laboratórios existentes e inscritos no AIRH) não se encontrou qualquer referência a estudos sistemáticos sobre o assunto. Têm-se ensaiado e construído descarregadores de lâmina livre, mas sempre o estudo se tem limitado ao caso concreto a que diz respeito, sem ter havido a preocupação de generalizar.

Para os descarregadores de lâmina aderente o panorama é totalmente diferente: têm-se feito ensaios sistemáticos sobre diferentes tipos de bacias de dissipação, existindo actualmente ábacos ou tabelas [12] capazes de permitirem o dimensionamento de bacias de dissipação com localização de ressalto para diferentes condições de caudal por unidade de largura e queda, de "buckets", de trampolins e outros dispositivos de dissipação mais aplicados em canais do que em barragens.

Julgou-se portanto do maior interesse abordar este assunto não só porque ele se insere na linha de rumo traçada à investigação dentro do LNEC e mais especificadamente dentro do Serviço, mas ainda porque a sua contribuição na resolução dos problemas concretos existentes no País se afigura de real utilidade.

3 - OBJECTIVO E MÉTODO DE ANÁLISE

3.1 - Definição do objectivo

Localizado no capítulo anterior o tema do trabalho apresentado, procurar-se-á neste capítulo definir com precisão o objectivo proposto. Antes porém convirá analisar os diferentes aspectos que o assunto pode apresentar.

Tem-se escrito sempre "dissipação-restituição nas encostas" quando, nos outros casos, é hábito falar apenas em dissipação. Regra geral, há em todos os casos um problema de dissipação e um problema de restituição; ou melhor a restituição para ser feita em boas condições implica a dissipação, assumindo esta o carácter de objectivo único. Tal não acontece porém na restituição feita nas encostas: os problemas de dissipação e de restituição diferenciam-se mais, assumindo aspectos até certo ponto independentes, conquanto devam ser resolvidos em conjunto. Além disso a restituição pode aqui ser feita em condições de ir interessar a dissipação na zona central do descarregador. É o caso, como já foi referido, de se originarem jactos devidamente orientados para a interceptação da lâmina descarregada na zona do talvegue.

Os diferentes problemas que a dissipação-restituição nas encostas envolve são os seguintes:

a) Definição da bacia, na parte de jusante da lâmina, de maneira a obter-se uma dissipação eficiente e o controle dos caudais descarregados com vista à restituição;

b) Dispositivos, a montante da lâmina, principalmente com vista à restituição, embora possam assumir funções de protecção do corpo da barragem contra projecções de água e de dissipação para peque

nos caudais.

c) Concordância das bacias das encostas com a bacia do talvegue, com o objectivo principal de se obterem as intercepções dos jactos e das lâminas centrais descarregadas, para diferentes caudais.

d) Determinação da solicitação dinâmica, imposta ao revestimento e muros pelo choque da lâmina, com a bacia completamente definida, para permitir o dimensionamento eficaz e económico desses elementos.

No que diz respeito à alínea d) possui já o LNEC aparelhagem e técnica de medida capazes de, em cada caso concreto, resolverem o problema.

As alíneas b) e c) apenas poderão ser abordadas depois de se ter estudado e chegado a conclusões quanto à alínea a).

Assim sendo, procurou-se que o objectivo específico deste trabalho fosse a definição da bacia na parte de jusante da lâmina, admitindo um revestimento plano com a inclinação igual à da encosta. Subsidiariamente procurou-se dar um contributo à determinação do alcance das lâminas e à determinação da melhor forma das soleiras, na medida em que só a partir do conhecimento destes elementos será possível a aplicação dos resultados procurados.

Convirá esclarecer que não se pretende nem isso seria viável, como ainda o não foi no caso dos descarregadores de lâmina aderente, obter resultados que substituam os ensaios em cada caso particular, mas tão somente possibilitar o dimensionamento, a nível de ante-projecto, como ponto de partida para os ensaios, já numa base aceitável. Quando muito, e à medida que o estudo for sendo aprofundado e completado, poderá esse dimensionamento vir a ser considerado a nível de projecto em obras de pequena importância.

Quais os elementos que serão portanto necessários ao projectista para, em face dum caso prático, poder definir a bacia? Fixados es

tes elementos, fica esclarecido o objectivo concreto e imediato do trabalho.

O projectista dispõe da forma da barragem, logo da forma do seu coroamento e portanto do desenvolvimento e forma, em planta, do descarregador. De posse do valor do caudal máximo e da forma da onda de cheia e condicionado pelo nível de retenção normal fixado e pelo nível de máxima cheia admissível, o projectista determinará o caudal de cheia descarregado e a sua distribuição ao longo do coroamento, ficando deste modo determinadas as diferentes cotas das soleiras. Ao mesmo tempo deverá ter dimensionado a forma das soleiras de tal modo que as lâminas interceptam o terreno, tanto quanto possível, segundo uma linha contínua.

De posse destes elementos está em condições de passar ao dimensionamento da bacia, na parte que diz respeito à sua definição em planta e ao tipo e altura do muro que a delimita. Para isso precisará, uma vez escolhido o tipo de muro, de conhecer

- a) a sua distância à lâmina descarregada (e);
- b) a sua altura (d);
- c) a sua inclinação em relação à lâmina descarregada, ou, o que é mais prático, em relação à soleira descarregadora ($i = \text{tg } \alpha$).

A fig. 1 mostra talvez com mais clareza a maneira como o projectista,

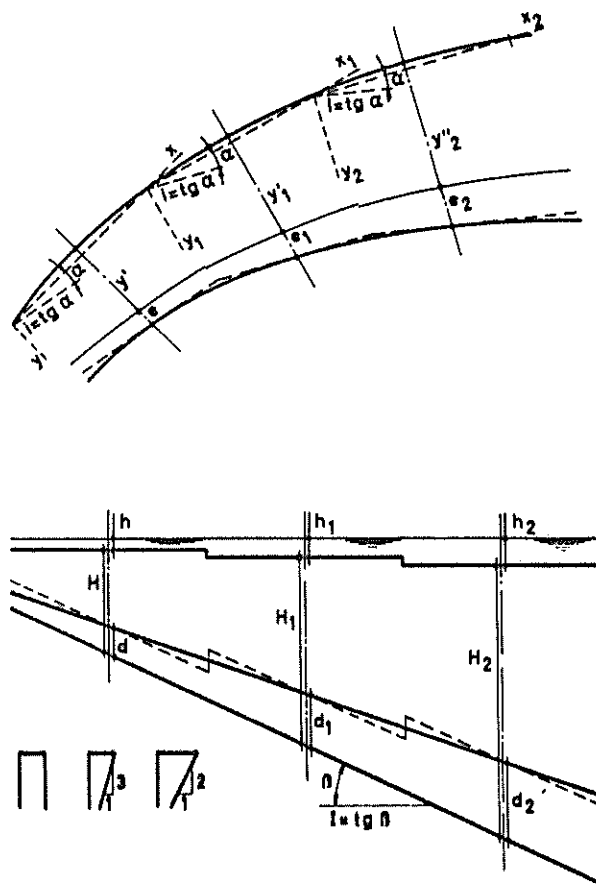


Fig. 1 - Esquema de definição da bacia

neira como o projectista, de posse dos elementos que definem o descar-

regador (forma em planta e em alçado e forma das soleiras), queda (H), caudal (h), alcance das lâminas (y) e inclinação da encosta ($I = \text{tg } \beta$) pode definir a bacia através dos elementos e , d e $i = \text{tg } \alpha$.

3.2 - Método de análise

Normalmente são duas as vias seguidas nos trabalhos de investigação: a analítica e a experimental. Não se apresentam com o carácter de opção, antes se utilizam em conjunto, apoiando-se mutuamente. A maior ou menor dose de utilização de cada uma delas ou até o emprego quase exclusivo duma só, depende mais do fenómeno a estudar e do estado do conhecimento a seu respeito do que da vontade do investigador.

3.2.1 - Via analítica

Com a complexidade que o problema apresenta não foi estudado analiticamente nem se vê possibilidade de o fazer, a não ser talvez mais tarde quando ele puder apoiar-se numa grande quantidade de trabalho experimental, que de momento não existe.

No entanto, e no intuito de orientar todo o estudo (quer na programação dos ensaios, quer na interpretação dos resultados), convirá analisar as teorias já estabelecidas em relação a situações simples, das quais o problema é uma conjugação, a saber: canais colectores laterais, canais de forte inclinação, deflexão de lâminas líquidas incidindo em placas normais ao seu eixo e formação do ressalto na base da queda duma lâmina livre.

Deve esclarecer-se que a complexidade do fenómeno não resulta apenas do somatório das situações simples enunciadas, mas ainda do facto de algumas delas se apresentarem já de si mais complexas do que na forma em que foram estudadas. É o caso, por exemplo, da deflexão de lâminas líquidas incidindo em placas normais ao seu eixo (a maior parte dos estudos teóricos tem mesmo sido feita para o caso de jactos)

que se apresenta aqui muito mais complexa, pois se trata de lâminas incidindo com determinado ângulo sobre uma placa que está ainda inclinada transversalmente à lâmina. Apesar disso, uma análise dessas situações, embora sumária (nem à índole deste trabalho interessaria uma análise mais profunda) convirá ser feita.

a) Canais colectores laterais

Trata-se dum regime variável e portanto do estudo dum regolfo. Este estudo foi feito por vários autores, entre eles, De Marchi, que admitiu certas hipóteses simplificadoras: aumento do caudal proporcionalmente ao percurso; quantidade de movimento total do caudal entrado, projectada segundo a direcção do escoamento, nula; constância da quantidade de movimento total do escoamento, isto é, compensação entre a acção da gravidade e as forças de resistência.

A quantidade de movimento total dum escoamento, também denominada impulsão total, é dada pela expressão

$$M_e = \gamma Y S + \rho \frac{Q^2}{S}$$

que se pode representar grãficamente.

Se fixarmos $Q = C \frac{te}{e}$, a representação gráfica terá o aspecto indicado na fig. 2.

Se fixarmos $M_e = C \frac{te}{e}$, variando portanto o caudal, que é o que se passa no caso dos canais colectores

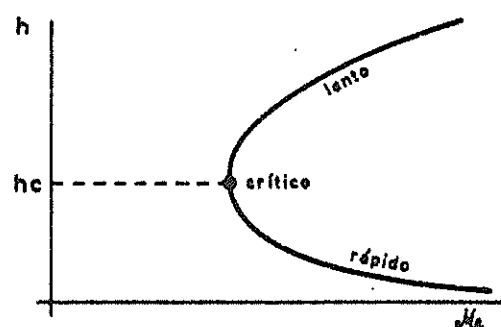


Fig. 2 — $M_e = f(h)$, com $Q = C \frac{te}{e}$

laterais, a representação gráfica será então como se indica na fig. 3.

O andamento da superfície livre, considerado em valores médios, dado que neste fenómeno se geram perturbações provenientes da entrada do caudal que provocam irregularidades da superfície, será representado por curvas transformadas dos ramos lento e rápido da curva $Q = f(h)$ para $M_0 = C \frac{te}{h}$ atrás representada.

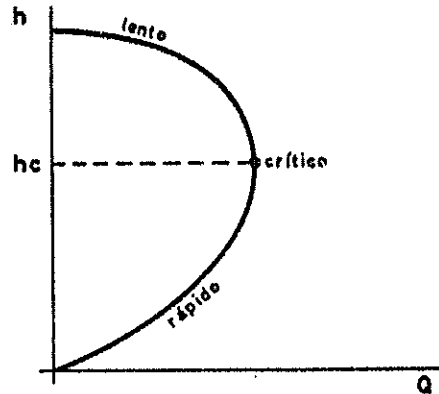


Fig. 3 — $Q = f(h)$, com $M_0 = C \frac{te}{h}$

Assim, e como regra geral, pode-se dizer que o andamento da superfície livre num canal colector com admissão de caudal por metro \underline{H} near constante ao longo do percurso, terá os aspectos que se podem observar na fig. 4, o primeiro (I) se o escoamento for lento e o segundo (II) se o escoamento for rápido.

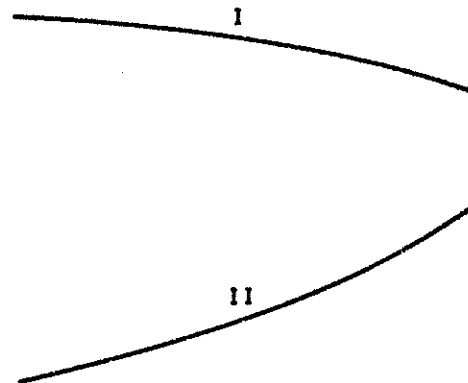


Fig. 4 — Tipos de forma de regoito em canais colectores laterais

O aparecimento das duas curvas representativas da superfície livre no mesmo canal colector pode suceder, com o aspecto da fig. 5.

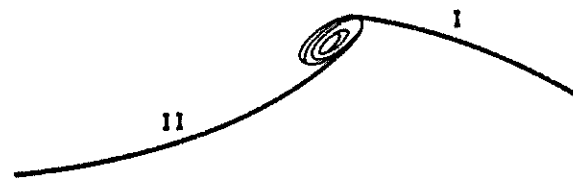


Fig. 5 — Um aspecto da forma do regoito em canais colectores laterais

Aliás o estudo de cada caso concreto, além dos conhecimentos expostos, exige todo o conhecimento da teoria dos escoamentos com superfície livre, nomeadamente do regoito em canais com caudal constante.

Por se aproximar mais do caso concreto em estudo, embora não tenha nele aplicação directa, como se verá, vejamos alguns exemplos em canais de inclinação superior à crítica.

1º. - Caso em que a energia do regime uniforme a montante é superior à energia do regime crítico a jusante. (fig. 6)

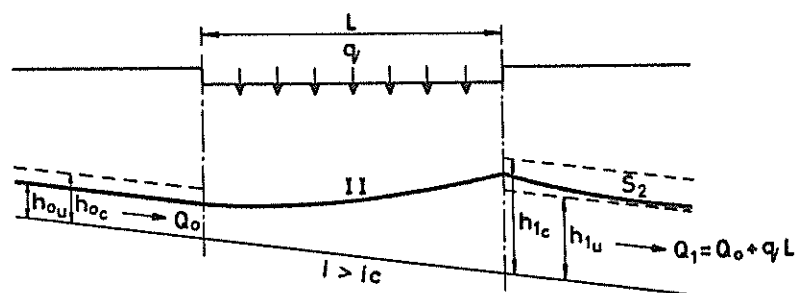


Fig. 6 - Aspecto do regolho num canal colector lateral com $i > i_c$ e $H_{o_u} > H_{1_c}$

2º. - Caso em que a energia do regime uniforme a montante é inferior à energia do regime crítico a jusante.

O ressalto pode localizar-se dentro ou fora do canal colector.

- Dentro do canal colector. (fig. 7)

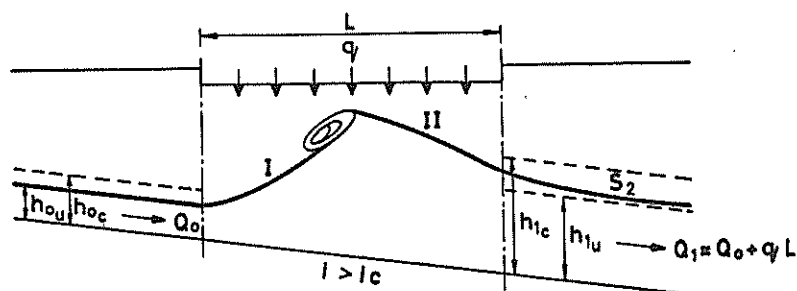


Fig. 7 - Aspecto do regolho num canal colector lateral com $i > i_c$ e $H_{o_u} < H_{1_c}$
(ressalto dentro do canal colector)

- Fora do canal colector (fig. 8)

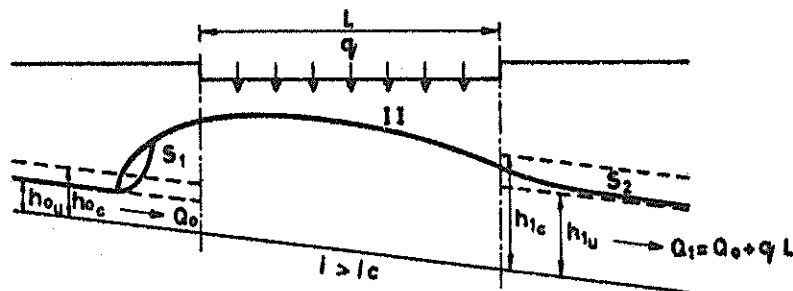


Fig. 8 - Aspecto do regolfo num canal colector lateral com $i > i_c$ e $H_{0U} < H_{1c}$ (ressalto fora do canal colector)

b) Canais de forte inclinação

No caso dos canais de forte inclinação com caudal constante, a teoria geral é válida desde que na função de energia específica se substitua h por $h \cos \theta$, sendo θ o ângulo do fundo do canal com a horizontal.

No caso particular dos canais colectores laterais, acontece ainda que não se pode admitir uma das simplificações introduzidas por De Marchi: constância da quantidade de movimento total do escoamento, isto é, compensação entre a acção da gravidade e as forças de resistência.

A quantidade de movimento total vem acrescida, de secção para secção, das forças de gravidade projectadas segundo o eixo do escoamento, desde que se desprezem as forças de resistência em face daquelas. Assim a igualdade que se pode escrever entre duas secções 1 e 2 será

$$M_2 = M_1 + \gamma S Li$$

representando o termo $\gamma S Li$ as forças de gravidade.

Tal como para os canais de fraca inclinação existe um método gráfico para determinação da curva de regolho [15] que se baseia na utilização das curvas $M_e = f(h)$ com $Q = C \frac{te}{L}$. traçadas para todas as secções em que se deseje determinar a altura do escoamento e da lei de variação, ao longo do canal, das forças de gravidade.

Constata-se que, nas condições de ensaio seguidas por Maione, e depois de analisadas e introduzidas as condições aos limites, a altura do escoamento é crescente para jusante até $0,8-0,9 L$ do canal, de crescendo a partir daí (fig. 9).

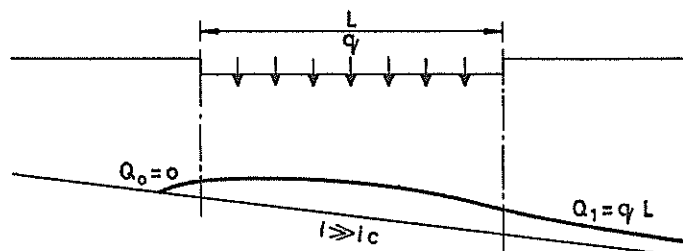


Fig.9 — Aspecto do regolho num canal colector lateral com $i \gg i_c$

c) Deflecção de lâminas líquidas incidindo em placas

O caso que mais tem sido objecto de estudo, não só analítico, mas também experimental, é o de jactos circulares incidindo em placas normais ao seu eixo. O caso das lâminas em iguais condições, está também suficientemente analisado podendo, dum maneira sumária e apenas no que interessa a este trabalho, apresentar-se as seguintes conclusões:

A lâmina é deflectida simetricamente e a rede isométrica apresenta a configuração indicada

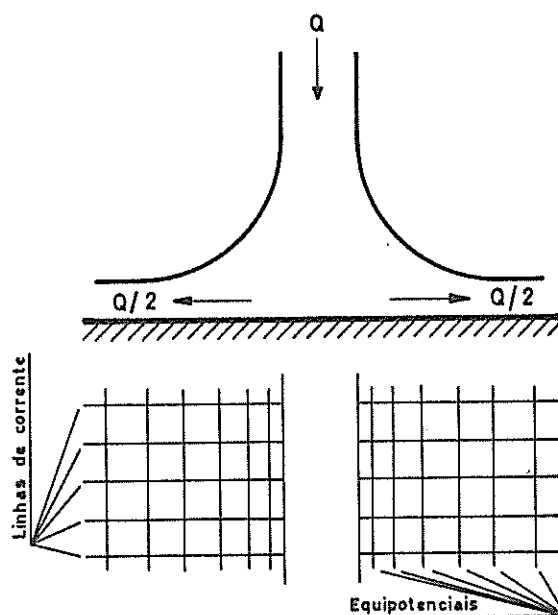


Fig.10 — Aspecto da rede isométrica na deflecção duma lâmina por uma placa normal ao seu eixo.

da na fig. 10, com as linhas de corrente paralelas à lâmina e as equipotenciais, evidentemente, perpendiculares.

A altura do escoamento em qualquer secção sobre a placa é dada pela expressão habitual

$$h = \frac{q}{2U}$$

em que q é o caudal por unidade de largura da lâmina e U a velocidade, obtida de

$$U = \sqrt{2g(H - \Delta H)}$$

em que H é a queda e ΔH , as perdas de carga no ar, na deflecção e sobre a placa até à secção em estudo.

No caso da lâmina ser inclinada em relação à placa, tudo se passa de modo análogo, distribuindo-se o caudal para um e outro lado as simetricamente. A rede isométrica tem aspecto idêntico (fig. 11) à do caso anterior e a determinação da altura do escoamento faz-se da mesma maneira.

No caso da placa se apresentar ainda inclinada transversalmente à lâmina, a rede isométrica sofre uma deformação devida à acção das forças de gravidade. A forma das linhas de corrente será portanto a resultante da composição de duas formas simples: a perpendicular à lâmina (casos anteriores) e a devida à força de gravidade que se

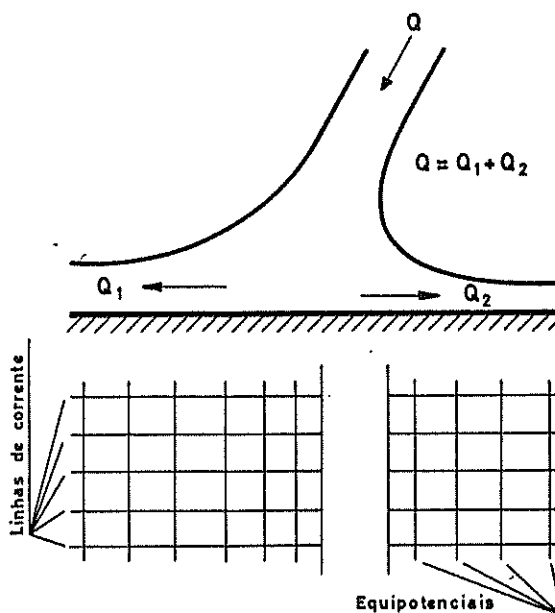


Fig. 11— Aspecto da rede isométrica na deflecção duma lâmina por uma placa inclinada em relação ao seu eixo.

ria paralela à lâmina. A forma final é portanto uma parábola, podendo observar-se na fig. 12 um aspecto das linhas de corrente na situação concreta do caso em estudo.

- d) Formação do ressalto na base da queda duma lâmina livre

O assunto foi estudado no caso duma placa horizontal, como a fig. 13 indica e é apenas esse caso que aqui se vai tratar.

Os elementos que interessa conhecer são os seguintes:

- Energia na secção 1, a seguir à incidência do jacto.

- Altura h_2 conjugada de h_1 .

- Perfil longitudinal do ressalto.

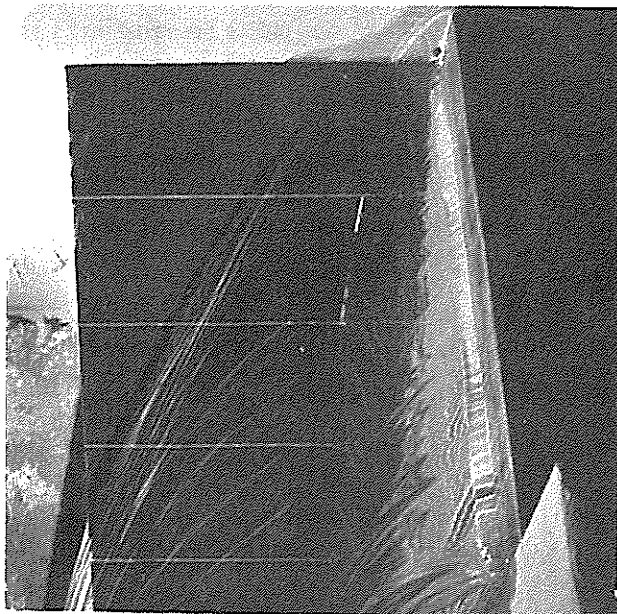


Fig. 12 - Aspecto das linhas de corrente no caso em estudo.

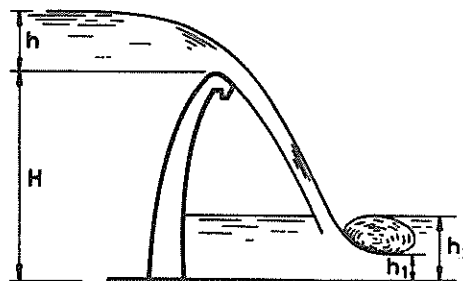


Fig. 13 - Aspecto do ressalto na base da queda duma lâmina livre.

Para se conhecer a energia na secção 1 é necessário conhecer a energia dissipada no ar, podendo-se então, a partir da equação

$$E_1 = h_1 + \frac{U_1^2}{2g}$$

obter o valor de h_1 . A energia dissipada no ar é relativamente pequena para quedas pequenas, tendo sido determinada por W. L. Moore [7] no caso particular do modelo que utilizou nos ensaios, mas é apreciável para quedas elevadas. Quando não for tida em conta, os resultados obtidos variam no sentido da segurança.

Conhecido h_1 pode obter-se a altura conjugada h_2 a partir da equação das alturas conjugadas

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{8q^2}{gh_1^3}} \right]$$

O perfil longitudinal do ressalto é semelhante ao resultante dum jacto horizontal, embora mais inclinado na zona inicial e, tanto quanto as medições permitem analisar, cerca de 20% mais extenso.

A adaptação dos resultados indicados ao caso concreto deste trabalho teria que ter em atenção a inclinação da placa e portanto a acção das forças de gravidade ao longo da lâmina deflectida na base da queda.

Como se vê da sùmula feita, é difícil, sem uma grande dose de experimentação, teorizar o fenómeno em estudo. Com efeito, qualquer dos fenómenos mais simples estudados atrás, só foi susceptível de teorização à custa de certas hipóteses que os reduziram a esquemas extraordinariamente simplificados.

No entanto, o estudo analítico efectuado foi indispensável para uma recta programação e condução dos ensaios e sobretudo para uma recta interpretação dos resultados experimentais.

3.2.2 - Via experimental

A complexidade do fenómeno leva a que a aplicação das teorias anteriores não possa ser feita pela via analítica. Embora a teoria da

Mecânica dos fluidos perfeitos esteja matematizada, na prática, com fluidos reais e devido ao número de parâmetros em jogo e às condições aos limites de cada problema particular, é praticamente impossível a sua utilização.

Eliminada portanto esta via, pelo menos como instrumento de análise única e directa, resta a via experimental que tão bons resultados tem produzido no domínio da Hidráulica aplicada e até teórica. Não há hoje praticamente obra hidráulica cujo estudo não seja confirmado em modelo reduzido. Na maioria dos casos até, o estudo é desde o início acompanhado de observações em modelo reduzido, como única maneira de se poderem abordar certos aspectos do problema.

Mas o estudo em modelo reduzido oferece também a possibilidade de abordar problemas com vista à generalização de determinados fenómenos, que deste modo têm sido passíveis de formulação e até, por vezes, de teorização. Tal facto é devido à possibilidade que oferecem os ensaios, quando sistemáticos, de se descobrirem ou confirmarem hipóteses simplificadoras e daí o poder dizer-se que a experimentação tem sido também um suporte para a via analítica, ou seja para a teorização de muitos problemas hidráulicos.

Neste trabalho não se pretendeu, nem talvez fosse para já possível, ir tão longe, pois apenas houve a intenção de se obterem determinadas leis para certos aspectos do fenómeno com vista à sua aplicação prática, a nível de ante-projecto.

No decorrer do trabalho, e à medida que for oportuno, se dará conta dos pormenores referentes à técnica da experimentação hidráulica aplicada em cada caso.

3.2.3 - Conclusão

O método utilizado para a consecução do objectivo do trabalho

foi portanto o experimental, embora se tenha, sempre que necessário e possível, recorrido ao estudo analítico. Este estudo foi indispensável para se poderem programar convenientemente os ensaios e para a interpretação e elaboração dos resultados obtidos, com vista ao agrupamento dos diferentes parâmetros em jogo.

4 - INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL E APARELHAGEM UTILIZADAS

4.1 - Instalação experimental

O esquema da instalação experimental utilizada nos ensaios consta da fig. 14 e a sua prévia observação facilitará a compreensão do que se segue.

Para a sua construção aproveitou-se um canal existente no Pavilhão de Hidráulica Fluvial e Urbana, já provido com os habituais dispositivos de alimentação (1) e parte do de tranquilização (2). Com vista ao estudo a efectuar construiu-se mais um murete de tijolo furado, tendo-se obtido assim a distribuição de velocidades desejada.

Os restantes dispositivos para a regulação de caudais ou das cargas sobre a soleira do descarregador (4), leitura de níveis de água (5), esgoto (7) e retorno da água (8) com que se equipou a instalação, são também usualmente utilizados em modelos reduzidos hidráulicos, considerando-se desnecessário descrevê-los.

Para facilitar a realização dos ensaios previram-se acessos (9) à zona da encosta e aos dispositivos de regulação de caudais e de leitura de níveis.

O descarregador de ensaio (3) é constituído por uma soleira delgada, tipo Bazin, assente sobre um murete de tijolo. Dividiu-se o descarregador em três vãos, para, através da sua individualização, se introduzirem variações no valor da queda (H) independentes da variação

de I. Cada vão tem o comprimento de 30 cm e são separados e limitados por pilares, perfazendo o conjunto o total de 100 cm, largura do canal desde o dispositivo de tranquilização até ao descarregador.

As encostas (6) foram materializadas em placas de betão.

A fig. 15 mostra um aspecto exterior da instalação experimental.

Para a colocação das células de captação das flutuações de pressão nas posições previamente determinadas, prepararam-se placas de "perspex", que foram ligadas à placa de betão (ver fig. 17). A fixação das células é feita com o auxílio duma segunda placa de "perspex" que se aparafusa sob a primeira e entre as quais existem anéis de borracha que, por aperto, seguram as células. A desmontagem é, deste modo, também muito fácil.

4.2 - Aparelhagem

A principal aparelhagem utilizada foi a seguinte:

a) Hidrómetros de ponta direita e de ponta especial

Os hidrómetros de ponta direita utilizaram-se para a leitura das cargas sobre o descarregador, tendo sido montados em poços piezométricos. A vantagem destes poços consiste na amortização das variações de grande frequência dos níveis, obtida à custa dum estrangulamento realizado na base do poço. Para um melhor ajustamento da ponta ao nível da água, equiparam-se os hidrómetros com olhos catódicos que acusam o contacto ponta-água.

Os hidrómetros de ponta especial utilizam-se para a determinação dos alcances das lâminas, em queda livre, e para a determinação das espessuras das lâminas com vista à colocação das células, de maneira a que estas ficassem bem centradas na base das lâminas.

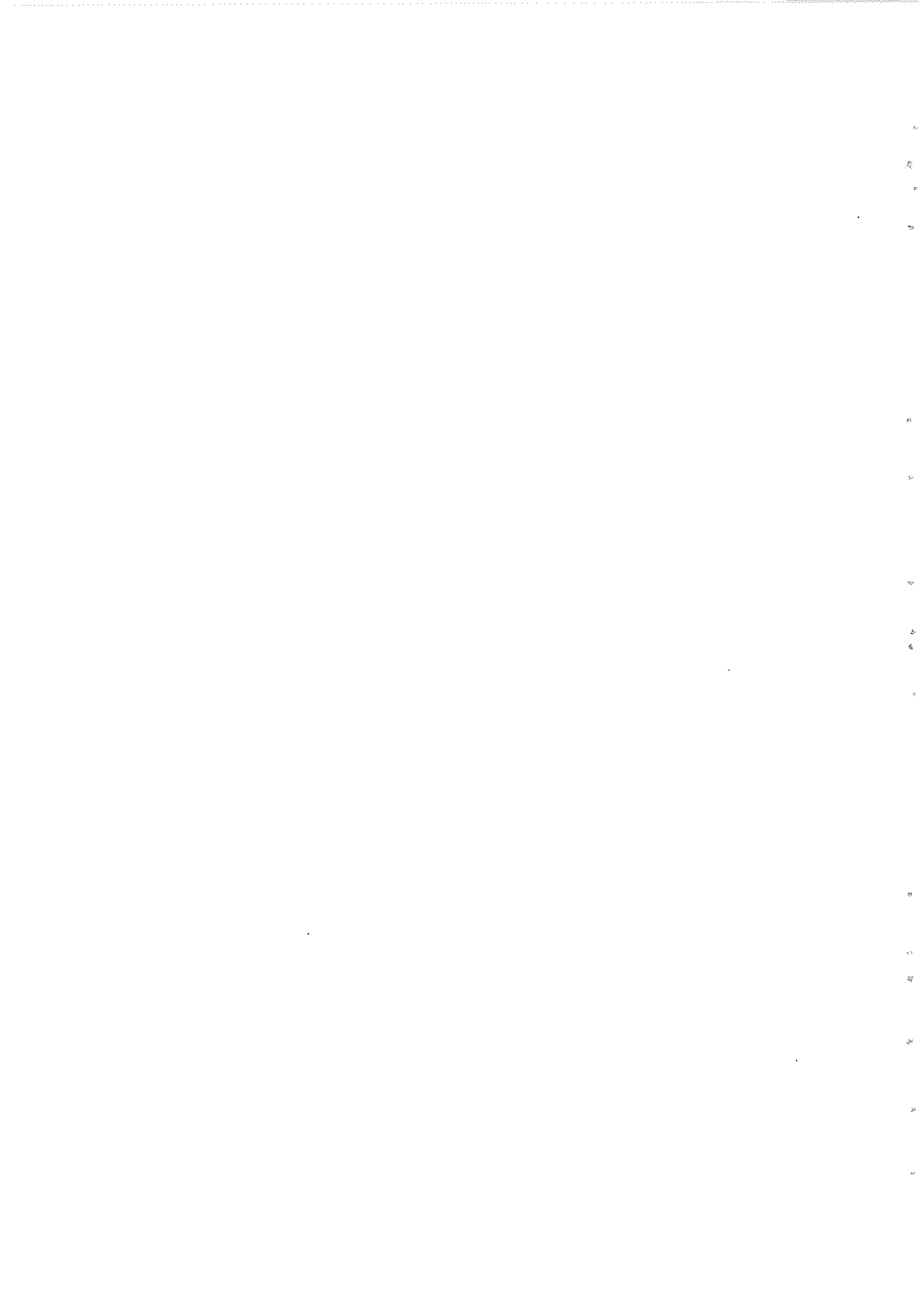
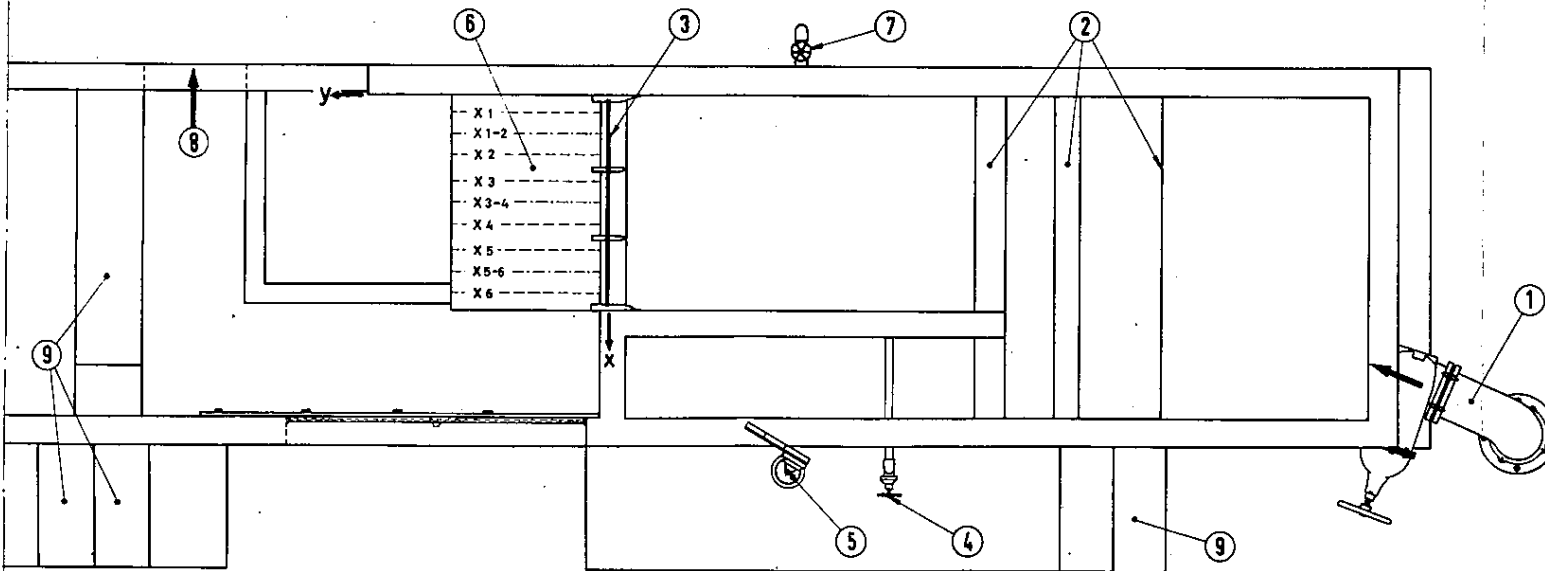
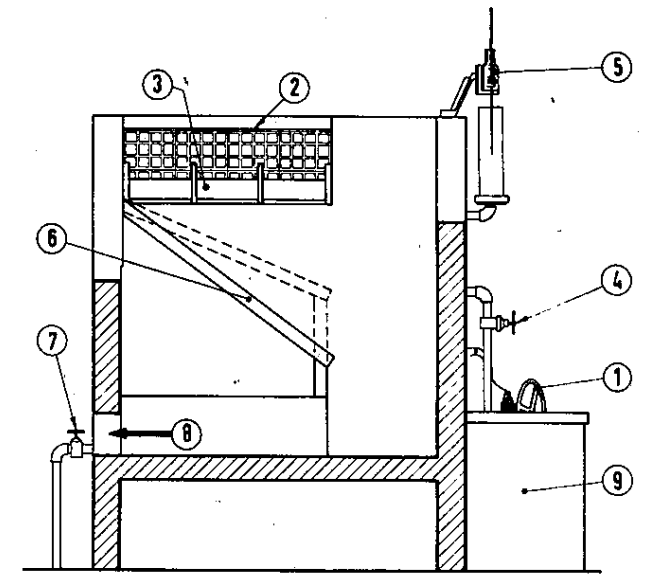
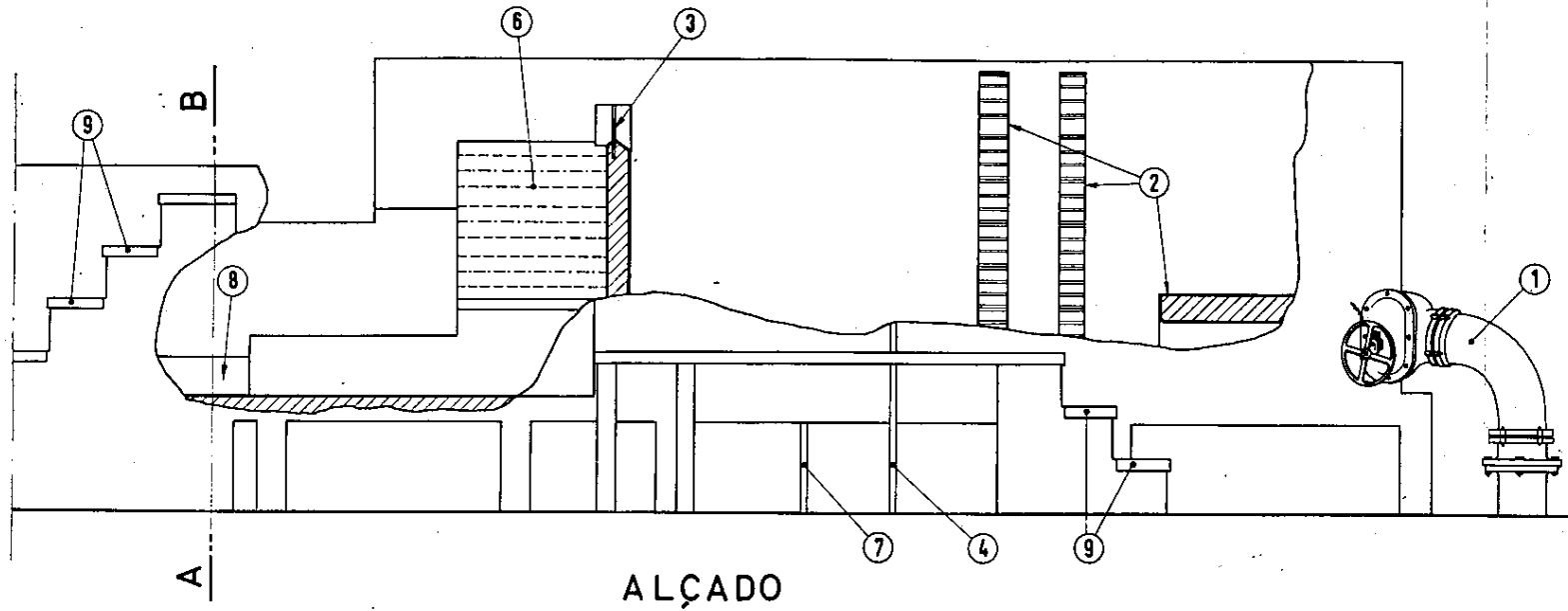


FIG.14-ESQUEMA DA INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL



- ① - ALIMENTAÇÃO
- ② - TRANQUILIZAÇÃO
- ③ - DESCARREGADOR DE ENSAIO
- ④ - REGULAÇÃO DE CAUDAIS
- ⑤ - LEITURA DE NÍVEIS
- ⑥ - PLACA DE INCLINAÇÃO VARIÁVEL
- ⑦ - ESGOTO DO MODELO
- ⑧ - SAÍDA PARA O CANAL DE RETORNO
- ⑨ - ACESSOS AO MODELO

E S C A L A
0 0.5 1 m

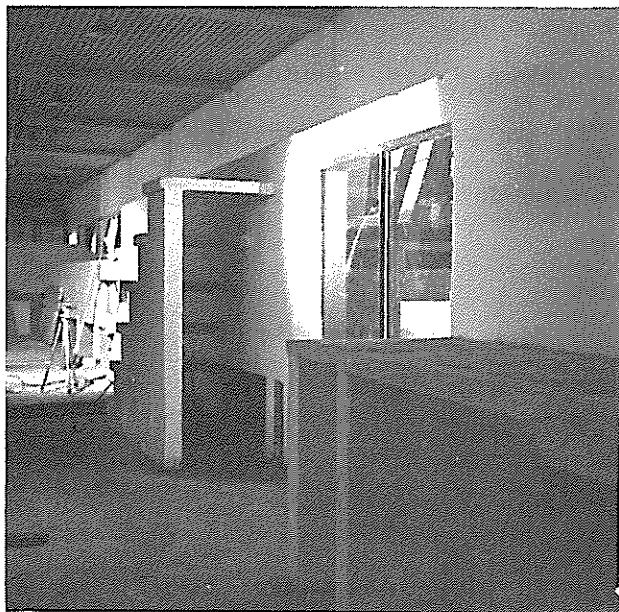


Fig.15 — Aspecto exterior da instalação experimental

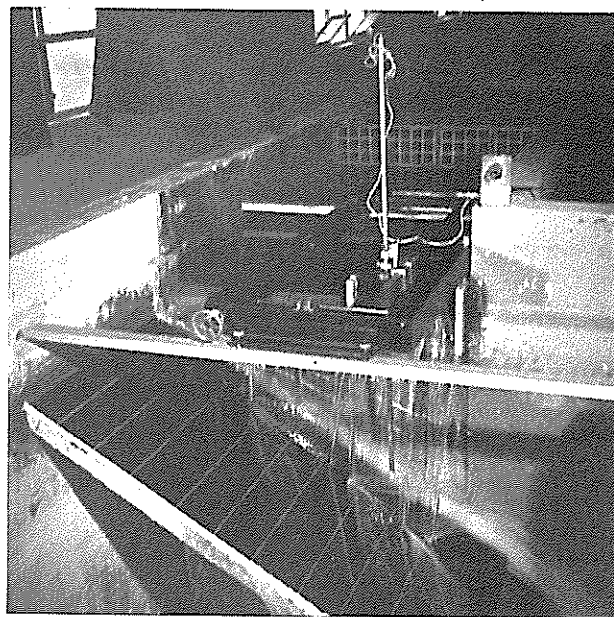


Fig.16 — Coordinómetro e hidrómetro de ponta especial utilizados nos ensaios.



Fig.17 — Vista das placas de "perspex" e das células, colocadas na placa de betão.

b) Coordinómetro (fig. 16)

Foi utilizado para a leitura dos alcances e das espessuras das lâminas e para a colocação das células nas posições previamente determinadas. O sistema de eixos de referência do coordinómetro foi o mesmo que se utilizou para a determinação das posições dos muros ensaiados, a que se fará referência no capítulo seguinte:

c) Células para captação das flutuações de pressão

As células utilizadas são do tipo indutivo, constituídas por duas auto-induções montadas em meia ponte, sendo a membrana colocada directamente na face superior. As suas principais características são as seguintes:

Frequência própria	≈ 1300 Hz
Nº. de espiras por bobine	= 840
Diâmetro do fio	= 0,15 mm
Coefficiente de auto-indução	= 4,5 mH
Resistência ohmica	= 24 Ω

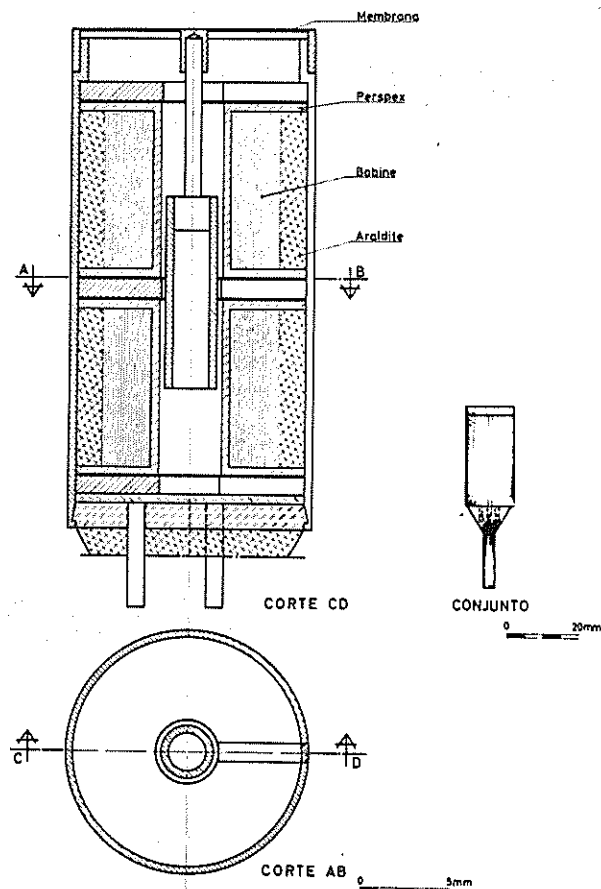


Fig.18 - Célula indutiva utilizada nos ensaios

d) Aparelhagem para registo das flutuações de pressão

A aparelhagem utilizada para registar as flutuações de pressão foi a seguinte: (fig. 19)

- Uma ponte de medida Höttinger, que traduz o desequilíbrio das duas auto-induções, provocado pelas flutuações de pressão sobre a cé

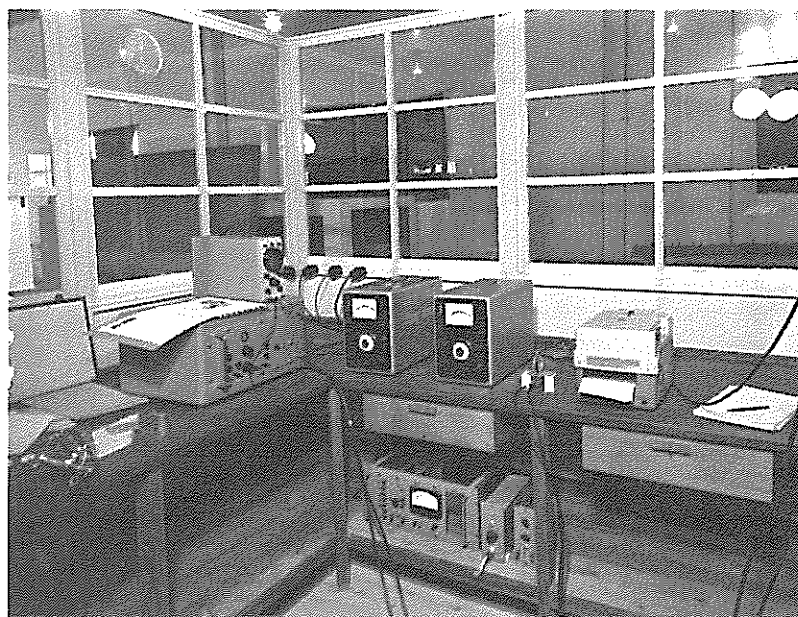


Fig.19— Aparelhagem utilizada para o registo das flutuações de pressão.

lula, numa tensão eléctrica.

- Um registador Honeywell, o qual regista o sinal fornecido pela ponte.

- Um osciloscópio, utilizado para visualização imediata do fenómeno a registar.

A utilização deste aparelho teve como finalidade poder observar-se o fenómeno mais facilmente do que no Honeywell, uma vez que é possível introduzir-lhe uma base tempo, o que naquele só se pode fazer através da velocidade do papel de registo. Assim, antes de se fazer o registo com o Honeywell, observava-se o fenómeno no osciloscópio e, no caso das observações descritas na alínea b) do nº. 7.1.1,

foi mesmo o único meio utilizado.

a) Aparelhagem para a obtenção do valor quadrático médio e do es
pectro de potência (fig. 20).

- Um modulador de frequência destinado a permitir gravar, na ga
ma de 0 a 1000 Hz, o sinal fornecido pela ponte, com vista à sua aná
lise harmônica, a qual possibilitará a obtenção do valor quadrático
médio e do espectro de potência.

- Um gravador de fita magnética.

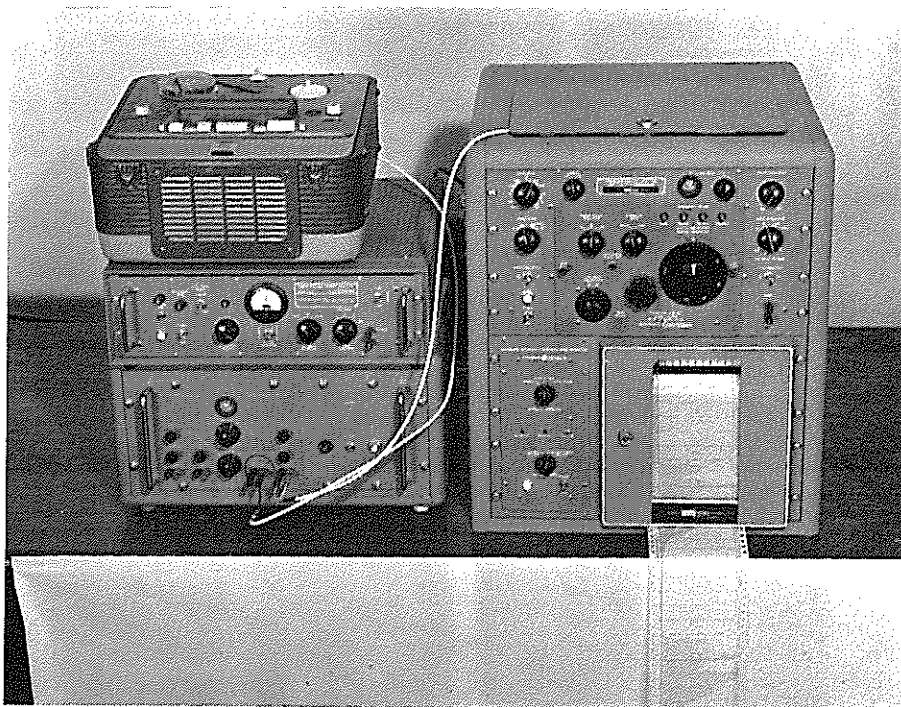


Fig. 20— Aparelhagem utilizada para a determinação
do valor quadrático médio e do espectro
de potência.

O registo obtido no gravador, com o auxílio do modulador, é de
pois desmodulado no mesmo aparelho para reobtenção do sinal.

- Um analisador panorâmico, constituído pelas unidades LF-2bM,
IH-2bM, RC-3b, PDA-1, o qual permite, a partir do sinal gravado, de
pois de desmodulado, obter o espectro de potência e o valor quadráti
co médio.

5 - PROGRAMAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os parâmetros que o problema em estudo envolve são os seguintes: forma da soleira, inclinação da encosta ($\underline{I} = \text{tg } \underline{\beta}$), caudal descarregado (\underline{h}), queda (\underline{H}), relação entre o caudal de montante e o caudal unitário descarregado em cada secção estudada ($\frac{Q_m}{Q_o}$), distância dos muros à lâmina descarregada (\underline{e}), altura dos muros (\underline{d}) e inclinação dos muros em relação à soleira ($\underline{i} = \text{tg } \underline{\alpha}$).

Para simplificar os ensaios, e sem que desse modo os resultados venham sensivelmente afectados utilizou-se uma soleira delgada com todo o coroamento à mesma cota. Deste modo a soleira funciona sempre como "normal" para toda a gama de caudais e as linhas de alcances das lâminas descarregadas são contínuas, como se disse já ser desejável.

5.1 - Programação dos ensaios

Tendo em atenção o objectivo do trabalho, fizeram-se variar os parâmetros \underline{I} , \underline{h} , \underline{H} e $\frac{Q_m}{Q_o}$ e registaram-se os resultados obtidos para os parâmetros \underline{e} , \underline{d} e \underline{i} .

5.1.1 - Variação dos parâmetros \underline{I} , \underline{h} , \underline{H} e $\frac{Q_m}{Q_o}$

Os factores que condicionaram o modo de fazer variar estes parâmetros foram principalmente a garantia na confiança dos resultados a obter e a interpretação dos mesmos, mas também as disponibilidades de tempo e financeiras, na medida em que estes últimos são importantes e devem ser considerados até ao ponto de não invalidarem os primeiros.

a) Inclinação da encosta (\underline{I})

De acordo com a abertura dos vales onde é admissível implantar barragens abóbadas em que este tipo de descarregador possa ter apli-

cação, fez-se variar o parâmetro \underline{I} entre $\text{tg } \underline{\beta} = 0,4$ e $\text{tg } \underline{\beta} = 0,7$, (tendo-se fixado os valores intermédios de $\text{tg } \underline{\beta} = 0,5$ e $0,6$) em que $\underline{\beta}$ é o ângulo da linha de maior declive da encosta com a horizontal.

Estes valores correspondem a ângulos $\underline{\beta}$ compreendidos entre cerca de 22° e 35° . As relações entre o desenvolvimento do coroamento e a altura da barragem correspondentes, considerando a parte central do descarregador e a bacia de dissipação no talvegue, estarão compreendidas entre 3 e 5.

Admite-se que para além destes limites e fora das zonas em que os resultados possam ser válidos por extrapolação, se estará em presença de valores para os quais o tipo de barragem deva mudar (abóbadas múltiplas, por exemplo) ou mantendo-se o tipo de barragem mude o tipo de descarregador (de lâmina livre, mas só na parte central, por exemplo).

b) Caudal (\underline{h})

Escolheu-se para representar o parâmetro caudal, a carga sobre a soleira, uma vez que se conhece e é bem definida a lei que os une:

$$Q = \mu l \sqrt{2g} h^{3/2}.$$

Os valores ensaiados foram $\underline{h} = 2, 3, 4, 5$ e 6 cm, para todos os valores de \underline{I} indicados.

c) Queda (\underline{H})

A fim de introduzir variações neste parâmetro, dividiu-se o descarregador em três vãos, a cada um dos quais corresponde um valor médio de \underline{H} , que varia também com a inclinação da encosta, uma vez que no encontro se manteve para todos os ensaios o valor constante $\underline{H} = 10$ cm.

Nestas condições, os valores médios resultantes constam do Quadro I.

QUADRO I — VALORES MÉDIOS DE H (A MEIO VÃO)

$I = \text{tg } \beta$	\bar{H}_{1-2}	\bar{H}_{3-4}	\bar{H}_{5-6}
0,4	17,2	30,0	42,8
0,5	19,0	35,0	51,0
0,6	20,8	40,0	59,2
0,7	22,6	45,0	67,4

e) Relação entre o caudal de montante e o caudal unitária des carregado em cada secção estudada $\left(\frac{Q_m}{Q_0}\right)$

Pretende-se com a introdução deste parâmetro ver a influência do caudal de montante nas características do fenómeno e consequentemente nos valores de \underline{e} , \underline{d} e \underline{i} de cada secção estudada do canal que se constitui entre a lâmina e o muro.

De acordo com a divisão do descarregador em três vãos iguais e com o seu desenvolvimento e efectuando-se registos apenas nos pontos correspondentes às secções centrais de cada vão, resultam para este parâmetro os valores $\frac{Q_m}{Q_0} = 15, 45 \text{ e } 75^{(1)}$.

f) Tipos de muro

Fixaram-se três tipos de muro, definidos pela forma da face voltada à lâmina descarregada, que pode ser vertical, inclinada a 3:1 e a 2:1 (vertical:horizontal) para o lado da lâmina.

(1) No Anexo I, nos Quadros com os registos numéricos, os valores de $\frac{Q_m}{Q_0}$ correspondentes a 15, 45 e 75, são representados por 1, 3 e 5, respectivamente.

A escolha destes tipos de muro foi consequência de se prever um funcionamento diferente para o tipo de muro vertical em relação aos outros dois. No 1º. caso o modo de dissipação deverá ser um pouco à semelhança da que se processa por intermédio dum colchão de água, que aqui será de reduzida espessura e portanto de pequeno e feito; no 2º. caso (muros inclinados) deverá originar-se uma lâmina deflectida pelo muro que irá interceptar a lâmina descarregada contribuindo para a dissipação da sua energia.

Pelo modo de actuação de cada muro, no que respeita à dissipação, espera-se que os muros verticais tenham de ficar mais perto da lâmina, o que poderá dificultar a outra função, designada por restituição.

Os ensaios vieram a confirmar estas previsões.

5.1.2 - Registo dos parâmetros e, d e i

Como já foi dito considerou-se o desenvolvimento correspondente a uma encosta (zona central correspondente ao talvegue, portanto, excluída) dividido em três vãos. Esta divisão é arbitrária, mas não invalida a aplicação dos resultados, qualquer que seja a divisão considerada nos casos práticos. Como se verá, nessas condições a leitura dos valores pretendidos far-se-á por interpolação entre as curvas correspondentes às situações concretas ensaiadas.

Em cada vão registaram-se os valores de e, d e i.

a) Distância entre o muro e a lâmina descarregada (e)

Fez-se sempre a sua medição na secção correspondente ao meio de cada vão mas dum maneira indirecta. Assim o valor efectivamente medido foi a distância da base dos muros ao paramento de montante do descarregador, com o qual se fez coincidir o eixo de xx dum sistema de eixos xoy, do qual o eixo dos yy é perpendicular ao descarrega -

dor. A origem das coordenadas situa-se no início do descarregador, no encontro.

O valor registado representa-se por V_{1-2} , V_{3-4} e V_{5-6} conforme diga respeito ao 1º, 2º. ou 3º. vão a contar do encontro, respectivamente. Os alcances das lâminas, necessários, para com o seu auxílio se obterem os valores de e , representam-se por V'_{1-2} , V'_{3-4} e V'_{5-6} nos casos atrás indicados⁽¹⁾, no mesmo sistema de eixos xoy .

b) Altura do muro(d)

Enquanto para os parâmetros e e i os registos efectuados têm variação contínua, consequência da maneira como foram programados os ensaios, a variação do parâmetro d registada é descontínua, ainda pela mesma razão. Dada a sensibilidade do fenómeno e ainda a maneira como os resultados irão ser elaborados fixaram-se variações de 1 cm para todos os tipos de muro e as alturas ensaiadas foram $d = 2, 3, 4, 5$ e 6 cm. Estes valores coadunam-se com o que parece aceitável admitir-se na realidade, como se verá ao relacionar-se o descarregador ensaiado com possíveis protótipos, dos quais ele poderá considerar-se um modelo reduzido esquemático.

A altura do muro manteve-se constante em cada vão, embora para efeitos de aplicação o valor registado se refira à secção central e se preconize uma variação contínua ao longo do desenvolvimento da bacia.

c) Inclinação do muro em relação à soleira descarregadora (i)

Este parâmetro foi medido em projecção horizontal por se pensar que não só a interpretação dos resultados, mas também e principalmente a aplicação dos mesmos viria facilitada, uma vez que a de

(1) Aproveitaram-se estes registos para se tirarem algumas conclusões quanto aos alcances de lâminas livres, como se verá adiante

finição das obras deste tipo se faz em projecção horizontal (planta) e não planificando-a.

O método de registo foi o seguinte: em cada vão, mediram-se as distâncias do muro ao eixo dos xx (coincidente com o parâmetro de montante do descarregador) em dois pontos simétricos em relação ao eixo do vão e afastados entre si de 20 cm em projecção horizontal; o valor de i, vem então igual a $\frac{y_{K+1} - y_K}{x_{K+1} - x_K} = \frac{y_{K+1} - y_K}{20}$ em que K toma os valores de 1, 3 e 5 respectivamente nos 1º, 2º e 3º vãos a contar do encontro. Se se quiser conhecer o valor i' medido sobre o plano da encosta, correspondente a cada valor de i, basta multiplicar este pelo $\cos \beta$, sendo β o ângulo da linha de maior declive da encosta com a horizontal.

5.2 - Realização dos ensaios

Na realização dos ensaios houve dois aspectos a considerar: a maneira prática de fazer variar e registar os diferentes parâmetros e o critério de apreciação da eficiência das soluções.

5.2.1 - Modo de realizar os ensaios

O primeiro parâmetro a ser fixado foi a inclinação da encosta (I), ficando logo fixadas as quedas médias (H) dos três vãos para esse valor de I; seguidamente fixou-se o caudal ou seja a carga sobre a soleira (h).

Para cada tipo de muro procurou-se, então, a começar do primeiro para o terceiro vão, ou no segundo, na hipótese do primeiro não ser utilizado, ou só no terceiro, na hipótese de não serem utilizados os dois primeiros, a altura e posição que conduzissem a melhores resultados quanto ao duplo efeito, dissipação e restituição, procurado.

Ensaaiadas todas as cargas e tipos de muro com três, dois e um vãos em funcionamento (modo de variar \bar{H} para o mesmo valor de $\frac{Q_m}{Q_0}$), mudou-se a inclinação da encosta e repetiram-se os ensaios descritos.

No fim de cada série de ensaios, ou seja sempre que a bacia completa (com 3, 2 ou 1 vãos) ficava definida, fotografou-se o aspecto do escoamento e mediram-se e registaram-se os valores de e , d e i , da maneira já indicada.

Tendo sido fixados 4 valores do parâmetro \underline{I} , 5 valores do parâmetro \underline{h} , 3 tipos de muros e 3 valores de $\frac{Q_m}{Q_0}$ o número de bacias ensaiadas foi de

$$4 \times 5 \times 3 \times 3 = 180$$

e o número de ensaios simples (um por cada vão em funcionamento) foi de

$$(3 + 2 + 1) \times 180 = 1\ 080$$

5.2.2 - Crítério de apreciação das soluções

Dois métodos eram possíveis na apreciação da eficiência das soluções fixadas, através dos ensaios, para cada grupo de condições particulares dos parâmetros: um por via macroscópica, outro por via microscópica.

O primeiro consiste na observação directa do fenómeno procurando assim avaliar da dissipação conseguida e das condições do escoamento com vista a restituição, que se fará através da bacia central, como já foi dito. É uma análise qualitativa e como tal permite comparar diferentes soluções (neste caso, diferentes alturas e posições dos muros) entre si, que é, com efeito, o que se pretende, uma vez que os resultados quantitativos serão medidos em cada caso concreto, logo que esteja encontrada a melhor solução.

O segundo consiste em fazer a comparação das soluções logo através de valores quantitativos, registando em cada tentativa as flutuações de pressão e determinando o valor quadrático médio e o espectro de potência das pressões em cada caso.

Dado o número de ensaios necessários e as disponibilidades de tempo e financeiras existentes, por um lado, e a morosidade inerente ao próprio método de ensaio por outro lado, não se julgou viável seguir esta via.

Em todo o caso julgou-se recomendável utilizá-la como aferidora da sensibilidade da primeira. Deste modo, observaram-se, para um único ensaio, as variações das flutuações de pressão com o muro na posição determinada pela via macroscópica e em posições vizinhas. Verificou-se não haver variação sensível no aspecto dos registos das flutuações de pressão. Por esta razão e também devido à natureza do fenómeno e ao objectivo em vista, admitiu-se ter rigor suficiente o método utilizado.

5.3 - Ensaio complementares

Apesar de não ser indispensável à realização do objectivo do trabalho, considerou-se que haveria interesse em ter uma ideia quantitativa da eficiência da bacia no que diz respeito à dissipação de energia, não só para o caudal máximo (Q_M), mas ainda para caudais inferiores a este.

Neste caso só a análise microscópica atrás referida poderia fornecer elementos. Dadas as dificuldades que esta análise apresenta e o tempo que exige, como já se disse, limitou-se o seu estudo a um valor de \underline{I} e a um de \underline{h} , com os três vãos a funcionar e para os três tipos de muro.

Os valores escolhidos foram: $\underline{I} = 0,6$ e $\underline{h} = 5$ cm. Os caudais in

feriores ao máximo para o qual se averiguou da eficiência da bacia correspondem a valores de $\frac{Q}{Q_M}$ aproximadamente iguais a 0,5 e 0,7, ou seja a cargas $h = 3$ e 4 cm, respectivamente.

Com os três valores do caudal indicados (0,5; 0,7 e 1,0 de Q_M) programaram-se registos das flutuações de pressão nos pontos correspondentes às secções médias dos três vãos, primeiro sem muro e depois com os três tipos diferentes de muro. O número de registos a efectuar é já de 36, pelo que se resolveu determinar o valor quadrático médio e o espectro de potência apenas nos pontos correspondentes ao vão central (12 pontos), dado o elevado tempo necessário à sua obtenção. Como, ao passar do vão central para qualquer dos outros, apenas variam os parâmetros \bar{H} e $\frac{Q_m}{Q_0}$, mantendo-se todos os restantes iguais entre si, julga-se que estes elementos, juntamente com os registos das flutuações de pressão nos três vãos serão suficientes para o fim em vista.

6 - CAMPO DE APLICAÇÃO DOS RESULTADOS

Como já se disse, pretende-se com este trabalho possibilitar o dimensionamento, a nível de ante-projecto, de bacias de dissipação e restituição nas encostas para descarregadores de lâmina livre sobre todo o coroamento de barragens.

Houve portanto, ao dimensionar-se a instalação experimental e ao programarem-se os ensaios o cuidado de que os resultados obtidos pudessem ser extrapolados para os casos correntes encontrados na prática.

Procurar-se-á neste capítulo demonstrar que tal objectivo foi atingido indicando-se ao mesmo tempo os cuidados a ter nessa extrapolação devidos ao que usualmente se designa por efeitos de escala.

Finalmente apresentar-se-ão valores de algumas grandezas referentes a possíveis protótipos de que a instalação experimental utilizada pode ser considerada um modelo esquemático.

6.1 - Características dos escoamentos ensaiado e real

No fenómeno em estudo estão em jogo forças de viscosidade, forças de inércia e forças de gravidade e nestas condições a semelhança entre modelos e protótipos só é possível, como se sabe, desde que se igualem, além do número de Froude, os respectivos números de Reynolds. Esta igualdade obrigaria a utilizar nos ensaios um líquido diferente da água, de tal modo que as suas viscosidades obedecessem à relação $\lambda^{3/2}$, em que λ representa a escala linear (está posta de parte a hipótese de λ ser igual a 1). Facilmente se conclui da impossibilidade de utilizar um líquido nestas condições, sendo a água o líquido utilizado nos protótipos, pelo que a única via será conseguir que o escoamento seja praticamente independente do número de Reynolds.

Esta independência do número de Reynolds verifica-se quando a turbulência atinge um determinado grau de desenvolvimento. Nestas condições a viscosidade fictícia devida à turbulência mascara a viscosidade própria do líquido e as perdas de carga são então proporcionais ao quadrado da velocidade. Desta maneira a dificuldade que resulta da influência da viscosidade em regimes não turbulentos sujeitos à acção da gravidade (as pressões motrizes, em alturas de líquido, variarem com o quadrado da velocidade, enquanto as perdas de carga variam com a primeira potência da velocidade, obedecendo portanto a leis de variação diferentes) atenua-se, podendo dizer-se, praticamente, que desaparece, e a semelhança é possível e segue a lei de Froude.

Posta fora de dúvida a hipótese de que este tipo de escoamento, nos protótipos habituais, tenha atingido um grau de turbulência para o qual as perdas de carga são já proporcionais ao quadrado da velocidade, resta mostrar que tal acontece igualmente na instalação experimental utilizada. Porque o grau de turbulência atingido tem principalmente interesse na base da lâmina descarregada (ver-se-á adiante que não é bem assim) define-se o número de Reynolds neste escoamento como sendo

$$R = \frac{U D}{\nu}$$

em que U é a velocidade na base da lâmina, desprezando-se, para simplificar, as perdas de carga no ar, D é a espessura da lâmina e ν a viscosidade cinemática da água, a qual foi considerada à temperatura de 20° .

Para a hipótese mais desfavorável, isto é, para a menor carga sobre o descarregador (h) e para a menor queda média (\bar{H}) ensaiadas ter-se-á

$$R_{e_m} = \frac{U D}{\nu} = \frac{\sqrt{2g \bar{H}} \cdot D}{\nu} = \frac{\sqrt{2g \cdot 0,172 \times (0,01)}}{1,01 \times 10^{-6}}$$

$$\approx 1,8 \times 10^4$$

valor este que, de acordo com a experiência, é já suficiente para o fim em vista.

Na hipótese de se considerarem os valores máximos de h e \bar{H} ensaiados (seja $D \approx 0,01$), o número de Reynolds terá então o valor

$$R_{e_M} \approx 3,7 \times 10^4$$

o qual, com muito mais razão, satisfaz.

6.2 - Efeitos de escala

Embora a turbulência do escoamento nos ensaios atinja um grau suficiente para que seja possível a sua exploração, com aproximação satisfatória, segundo a lei de Froude, é necessário ter em conta certos factores, os quais não é ainda possível quantificar, na aplicação das relações de semelhança deduzidas da lei de Froude.

O número de Reynolds é naturalmente maior no escoamento real. No caso presente os valores correspondentes aos anteriormente calculados são respectivamente $1,8 \times 10^7$ e $3,7 \times 10^7$ se a instalação representasse um protótipo à escala 1/100 e $0,8 \times 10^6$ e $1,3 \times 10^7$ à escala 1/50. Assim sendo, o grau de turbulência é aqui maior e além disso a lâmina descarregada deixará de ser equipotencial mais cedo, isto é, mais perto da soleira, donde as perdas de carga no ar serem maiores, proporcionalmente, no protótipo.

Outro factor, na prática intimamente ligado ao primeiro, até porque é uma consequência directa dele, é a emulsão de ar na lâmina. Devido a este facto, e sendo também proporcionalmente maior no protótipo, a lâmina é nele proporcionalmente mais frenada no ar.

A não consideração de qualquer destes dois factores na extrapolação dos resultados conduz a valores no sentido da segurança. A sua consideração, desde que devidamente ponderada, pode conduzir a economia nas obras.

Existe ainda um terceiro factor, com carácter diferente dos anteriores, que convem também ter em conta. Trata-se da rugosidade das paredes em contacto com o escoamento, no presente caso com interesse no escoamento no canal colector que se constitui na base da lâmina descarregada.

Se se quisesse respeitar a relação das rugosidades consequente da lei de Froude, seria necessário reproduzir as superfícies de

betão do protótipo com um material pelo menos com o acabamento da chapa de "perspex", o que em muitos casos não é prático. Assim as rugosidades do modelo, resultantes de superfícies de betão polido à pedra, são proporcionalmente maiores do que na natureza, daí advindo também um desvio dos valores extrapolados no sentido da segurança, mas contrário à economia.

Todos estes factores que não podem, no estado actual do conhecimento, ser quantificados, para efeito de transposição dos resultados dos modelos para os protótipos, podem e devem no entanto ser considerados qualitativamente, tendo neste particular muita importância a experiência pessoal de quem conduz os ensaios⁽¹⁾.

6.3 - Alguns valores em possíveis protótipos

Para os valores limites da gama de escalas habitualmente utilizadas nos ensaios hidráulicos em modelos reduzidos apresentam-se os valores de algumas grandezas de possíveis protótipos que a instalação experimental pode esquematicamente representar.

Aceitam-se para esses os valores 1/50 e 1/100. O segundo é imposto por razões de semelhança, já referidas no nº. 6.1; o primeiro é regra geral imposto pelas disponibilidades existentes nos Laboratórios, quer de espaço, quer principalmente de caudal.

Os valores referidos apresentam-se no Quadro II e pode-se con-

(1) Cita-se a propósito uma passagem da obra de L. Escande - Hydraulique Générale. Toulouse, 1948 (Volume II, página 215).
..."On peut donc dire que l'étude des ouvrages hydrauliques industriels sur modèles réduits est susceptible de fournir, dans tous les cas, des résultats d'une haute précision, à la condition essentielle d'être faite par des spécialistes compétents dont l'expérience, en s'adaptant à chaque cas particulier (car les études sur modèles réduits d'ouvrages hydrauliques constituent autant de cas d'espèce), permet de déterminer les conditions dans lesquelles ces études doivent être effectués, pour fournir des résultats dont l'extrapolation à l'ouvrage réel comporte le degré d'approximation désiré" ...

cluir da sua análise que cobrem praticamente a gama de obras deste género que eventualmente possam ser projectadas e construídas.

QUADRO II - VALORES CORRESPONDENTES A
PROTÓTIPOS

Designação		Esc. 1/50	Esc. 1/100
Desenvolvimento do coroamento (1)		125 m	250 m
Queda junto ao encontro (2)		5 m	10 m
Queda (3) na zona central	Valor máximo	44 m	88 m
	Valor mínimo	27,5 m	45 m
Carga máxima sobre o descarregador (4)		3 m	6 m
Caudal máximo des- carregado (5)		1200 m ³ s ⁻¹	6500 m ³ s ⁻¹

- (1) - Considera-se o desenvolvimento da parte central igual a 0,25 do desenvolvimento total.
- (2) - Não se entrou em conta com a espessura do pilar extremo nem com a inclinação da encosta.
- (3) - Admitiu-se para profundidade da bacia central 0,1 da queda na base da encosta.
- (4) - Nas zonas do descarregador correspondentes às encostas.
- (5) - Para a carga máxima ensaiada, admitida constante nas zonas laterais do descarregador; se na prática se verifica que a carga diminui à medida que se caminha para os encontros, por outro lado ela é maior na zona central, pelo que os valores apresentados se podem considerar aceitáveis.

7 - OBSERVAÇÕES E MEDIÇÕES

7.1 - Ensaaios sistemáticos

7.1.1 - Observações

Conforme já foi dito a condução dos ensaios baseou-se essencialmente na observação pessoal, subjectiva, embora não se tenha dispensado de apoiá-la noutros tipos de observação mais objectivos, não só com o fim de confirmar a validade da primeira, mas ainda para garantir a sua uniformidade ao longo dos ensaios.

a) Observação pessoal

Em cada um dos 1080 ensaios simples, necessários para a definição das 360 bacias ensaiadas, a posição e altura de cada um dos três tipos de muro foi decidida depois de se observarem as condições de funcionamento com diferentes alturas e posições dos mesmos. Os critérios seguidos foram os de que não deveria verificar-se trasbordo do muro, não deveria aumentar o caudal deflectido para a parte posterior da lâmina e que o escoamento entre a lâmina e o muro deveria ser tal que permitisse uma boa restituição, mas também que a lâmina beneficiasse dele com vista à dissipação de energia na base da queda. No caso dos muros inclinados essa dissipação deveria começar a processar-se na intersepção da lâmina descarregada com a lâmina deflectida pelo muro da bacia, e para os dois tipos (verticais ou inclinados) deveria realizar-se ou continuar-se na base da queda, por meio de um efeito duplo, embora incompleto em ambos os casos, de colchão amortecedor e de formação de ressalto. Constatou-se que à medida que se aproximavam os muros da lâmina, a dissipação parecia beneficiar mas a restituição tornava-se difícil por vezes impossível, nas condições desejadas; o caudal na parte de montante da lâmina aumen-

tava também, principalmente para o muro vertical, o que não é desejável.

Procurou-se sempre conciliar as condições de dissipação e restituição de maneira a obter-se a melhor solução de compromisso.

- b) Controle através da observação das pressões sobre a encosta na base da lâmina

Se sob o ponto de vista da restituição a observação pessoal parece suficiente, o mesmo não se pode dizer "à priori" do ponto de vista da dissipação, tendo-se recorrido à observação das pressões sobre a encosta na base da lâmina para se poder averiguar da influência exercida sobre elas pela posição e pela altura do muro. Constatou-se que essa influência não era sensível dentro dos limites que a observação visual, baseada na obtenção de boas condições para a restituição, considerava aceitáveis.

Este controle apenas foi efectuado para um determinado valor de h e um determinado valor de I , com os três tipos de muro, pois, como já se disse, a ter de se fazer em todos os casos, e felizmente que tal se verificou não ser necessário, os ensaios tornar-se-iam extremamente morosos e dispendiosos.

- c) Observação fotográfica

No fim da definição de cada bacia fotografou-se o aspecto do escoamento com o objectivo de se possuírem elementos susceptíveis de manter um critério uniforme ao longo da realização de todos os ensaios e ainda para se poder investigar qualquer anomalia que, eventualmente, viesse a constatar-se a quando da elaboração dos resultados.

7.1.2 - Registos

a) Numéricos

Os registos dos valores de e e i (ou seja, no caso de i , das distâncias dos muros e das lâminas à face de montante do descarregador com a qual se fez coincidir o eixo dos xx , através dos quais ele pode ser obtido) e de d foram efectuados para todos os casos ensaiados e constam dos 24 quadros apresentados no Anexo I, no fim do volume.

b) Fotográficos

Porque a sua utilização serviu praticamente só para a condução e o controle dos ensaios não se apresenta a colecção completa dos registos, mas apenas 6 de cerca dos 180 que foram obtidos.

A 1ª. série de 3 fotografias⁽¹⁾ (fig. 21) mostra o escoamento com $I = 0,6$, $h = 4$ cm e os três vãos a funcionar para os três tipos diferentes de muros (A, B e C).

A 2ª. série (fig. 22) mostra o escoamento com $I = 0,6$, $h = 5$ cm e o tipo de muro representado por B, para três, dois e um vão a funcionar.

7.2 - Ensaaios complementares

Foram efectuados registos⁽²⁾ das flutuações de pressão, os quais

(1) - Os índices que figuram nas fotografias têm o seguinte significado

- 1º. índice: número de vãos a funcionar (3, 2 e 1)
- 2º. índice: inclinação da encosta ($I=0,4; 0,5; 0,6$ e $0,7$)
- 3º. índice: carga sobre o descarregador ($h=2,3,4,5$ e 6 cm)
- 4º. índice: tipo de muro (A, B e C)

(2) - Os índices que identificam os registos têm o significado:

- 1º. índice: tipo de muro (A, B e C), quando existe
- 2º. índice: carga sobre o descarregador (5,4 e 3 cm)
- 3º. índice: posição da célula no 1º, 2º e 3º vão (I, II e III)

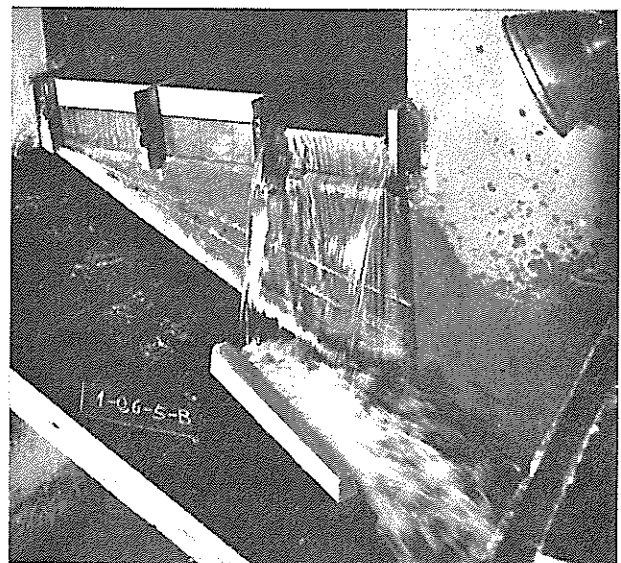
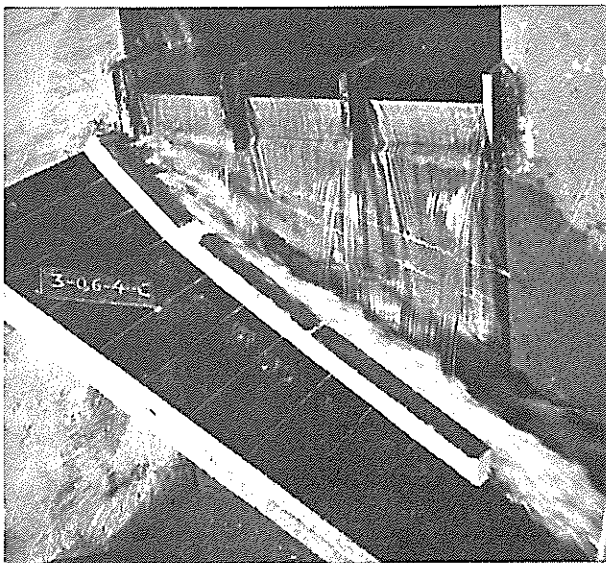
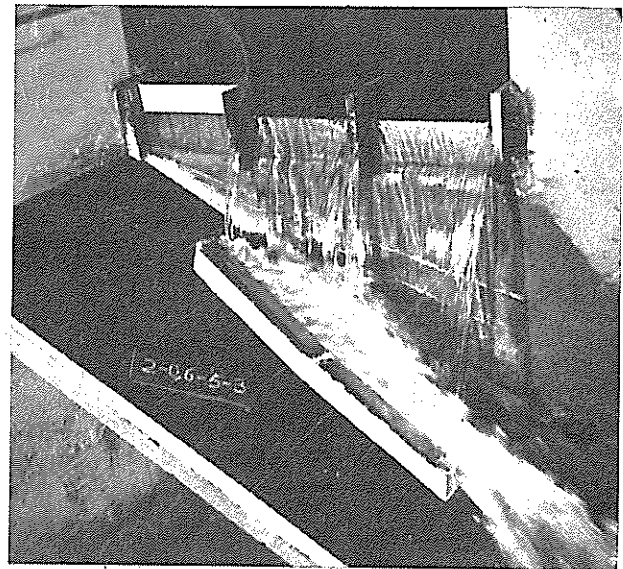
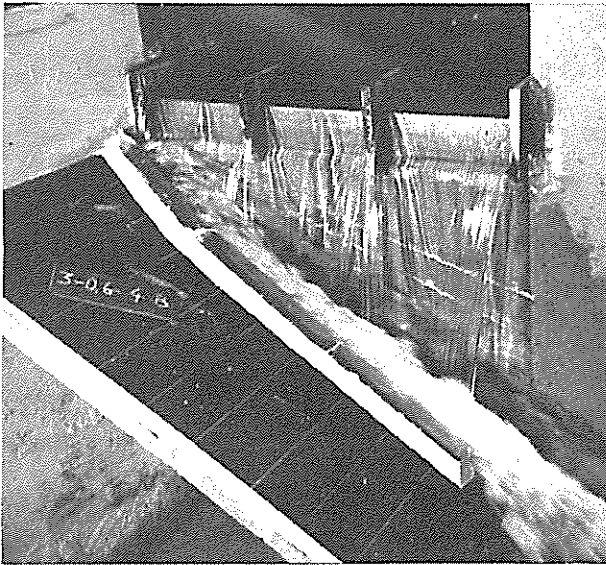
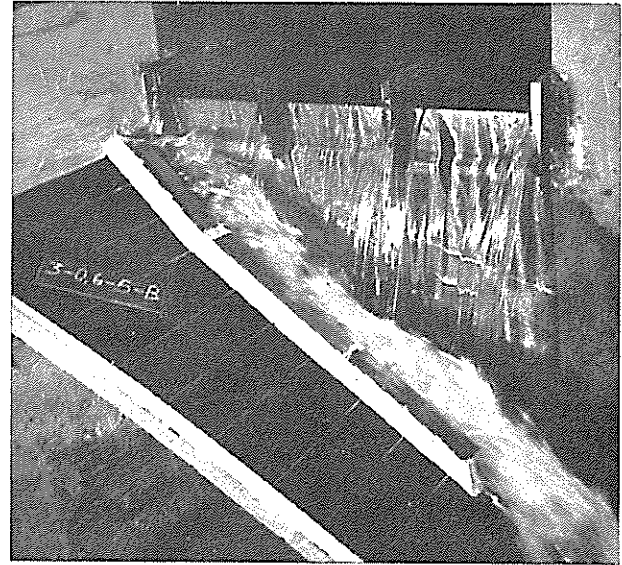
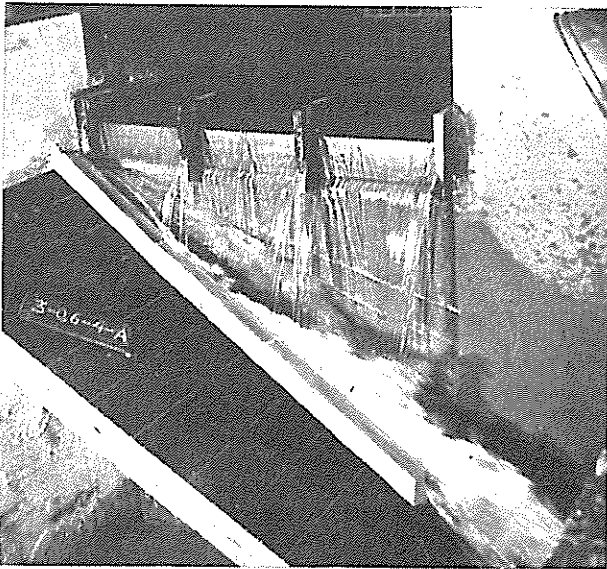


Fig. 21 — Aspectos do escoamento com $i=0,6$; $h=4$ cm; $\frac{Q_m}{Q_0}=1$; e os muros A, B e C.

Fig. 22 — Aspectos do escoamento com $i=0,6$; $h=5$ cm; muro B; e $\frac{Q_m}{Q_0}=1,3$ e 5 .

se apresentam no Anexo II, no fim do volume, com $I = 0,6$, com os três vãos a funcionar e com os diferentes tipos de muros para $h = 5$ cm (ensaios de eficiência da bacia para $Q_{Máx}$) e para $h = 4$ cm e $h = 3$ cm (ensaios de eficiência da bacia para $Q < Q_M$, mais concretamente para $Q = 0,7$ e $0,5$ de valor máximo, ou seja do valor do caudal correspondente a $h = 5$ cm).

Depois de iniciados os ensaios com vista à obtenção dos valores quadráticos médios e dos espectros de potência programados, avariou-se o analisador panorâmico, não tendo sido possível repará-lo em tempo compatível com a urgência da conclusão deste trabalho.

Deste modo os resultados sobre a eficiência das bacias para os caudais referidos apenas serão obtidos com base nos registos das flutuações de pressão.

8 - ELABORAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

8.1 - Elaboração dos resultados

8.1.1 - Alcances das lâminas descarregadas

Com o fim principal de se determinarem as distâncias entre os muros e as lâminas descarregadas, houve que determinar os alcances destas. Efectivamente, não seria cómodo fazer a medição directa dessas distâncias, pelo que, como já foi dito, se optou por obtê-las por uma via indirecta: diferenças entre as ordenadas dos muros e os citados alcances, referidos ao mesmo sistema de eixos.

Assim sendo pensou-se que seria útil aproveitar os resultados obtidos não só para o objectivo principal visado (determinação dos valores de e) mas também do ponto de vista dos alcances das lâminas.

Estes alcances foram medidos em duas condições diferentes: sobre

as placas de betão representativas das encostas e em queda livre.

Inicialmente apenas se tinham medido sobre a placa, para os vários valores de I e nas secções correspondentes aos eixos dos três vãos (Quadro III). Notaram-se no entanto certos desvios em relação à trajectória parabólica segundo a qual era de esperar que os pontos representativos dos alcances ficassem alinhados. Estes desvios não são de carácter aleatório, antes apresentam um carácter sistemático (Fig. 23). Poderão ser atribuídos, quer a erro sistemático de medição, quer à influência do escoamento da lâmina deflectida sobre a base da lâmina descarregada.

Na vida real, o projectista não pode medir os alcances das lâminas líquidas, tendo de recorrer a ábacos ou tabelas, geralmente elaborados com base em medições efectuadas sobre lâminas em queda livre. Deste modo resolveu-se medir os alcances nessas condições ou seja sem a placa de betão. Para se poderem mais facilmente comparar os resultados obtidos nos dois casos, tomaram-se os mesmos valores de z (O eixo dos zz é perpendicular ao plano definido pelos eixos dos xx e dos yy já referidos e passa pela origem destes, constituindo os três eixos um sistema de eixos cartezianos a três dimensões). Os valores obtidos constam do Quadro IV e a sua representação gráfica da Fig. 23.

Foi com o auxílio dos valores determinados com a lâmina em queda livre que se obtiveram os valores de e , como adiante se verá. Com esse fim e porque a elaboração dos resultados e a sua utilização resultam mais cómodas, tornaram-se adimensionais os valores dos alcances. Para o efeito dividiram-se por h (carga sobre o descarregador) as abcissas e as ordenadas dos sistemas planos de eixos yoz , um para cada um dos três valores de x correspondentes às secções médias dos três vãos do descarregador. Os resultados figuram no Quadro V e a sua representação gráfica consta da Fig. 24.

Quadro III

Alcances das lâminas descarregadas (face superior),
medidos sobre as encostas

I	Z	y				
		h=2	3	4	5	6
0,4	17,2	8,9	11,5	13,8	15,6	17,6
0,5	19,0	9,4	12,1	14,6	16,0	17,7
0,6	20,8	9,6	12,3	14,7	16,6	18,7
0,7	22,6	9,6	12,5	15,0	17,0	19,4
0,4	30,0	11,4	14,6	17,4	19,9	21,8
0,5	35,0	12,4	15,7	18,8	21,4	23,5
0,6	40,0	13,1	16,7	19,6	22,3	24,6
0,4	42,8	13,8	17,4	20,4	23,3	26,1
0,7	45,0	13,3	17,3	20,4	23,0	25,6
0,5	51,0	14,9	19,0	22,3	25,4	28,2
0,6	59,2	15,9	20,3	23,7	26,9	29,6
0,7	67,4	16,2	21,1	24,9	27,7	30,8

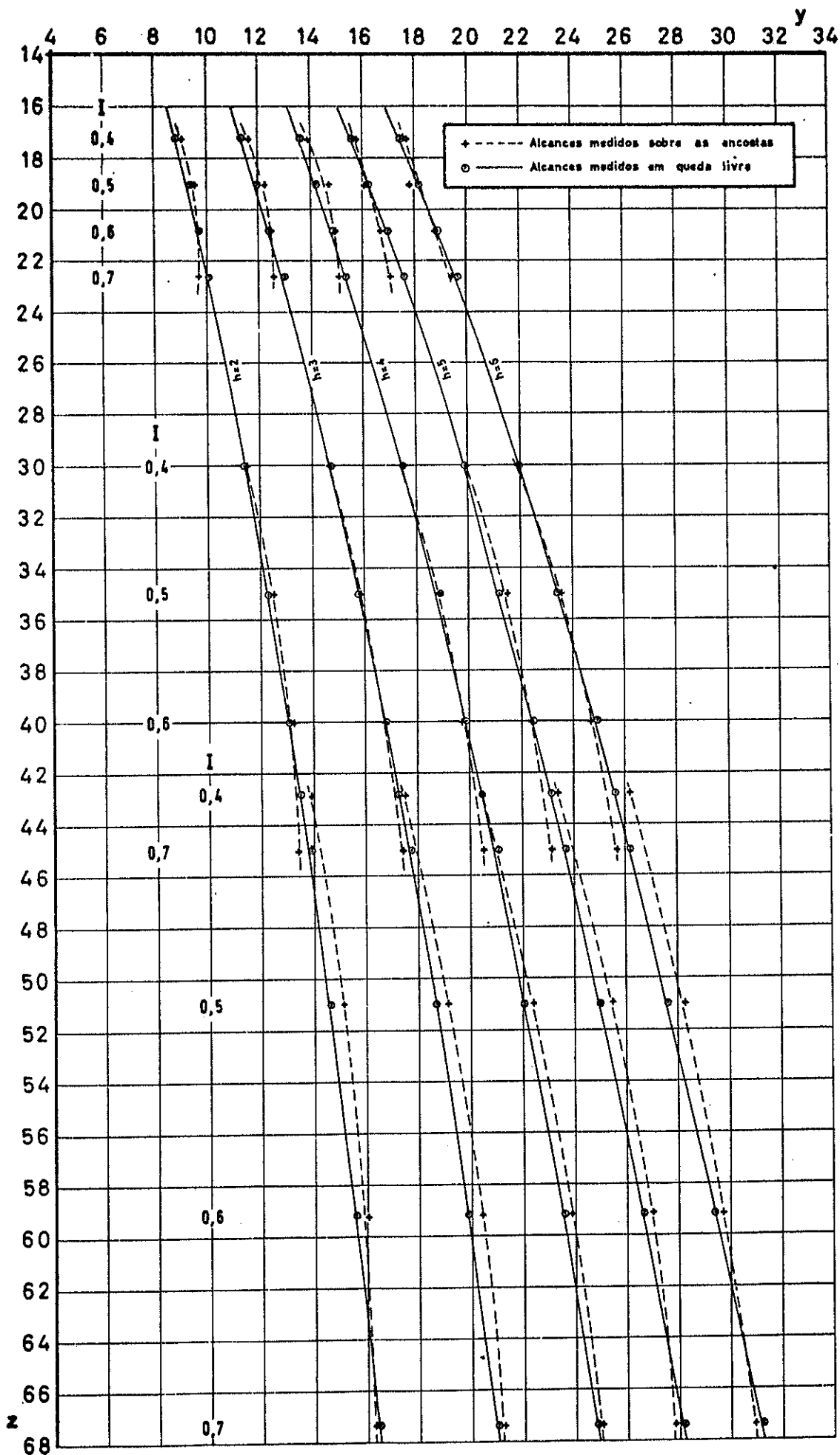


Fig.23—Alcances das lâminas descarregadas (face superior) medidos sobre as encostas e em queda livre.

Quadro IV

Alcances das lâminas descarregadas (face superior),
medidos em queda livre

Z	y				
	h=2	3	4	5	6
17,2	8,68	11,25	13,53	15,53	17,39
19,0	9,26	11,85	14,14	16,17	18,07
20,8	9,59	12,36	14,78	16,88	18,80
22,6	9,96	12,88	15,31	17,50	19,57
30,0	11,23	14,61	17,39	19,78	21,89
35,0	12,18	15,65	18,60	21,11	23,35
40,0	12,99	16,62	19,69	22,36	24,83
42,8	13,38	17,15	20,36	23,03	25,53
45,0	13,78	17,62	20,96	23,58	26,06
51,0	14,50	18,59	21,99	24,90	27,49
59,2	15,41	19,76	23,47	26,58	29,30
67,4	16,32	20,86	24,74	28,07	31,18

Quadro V

Alcances das lâminas descarregadas (face superior),

medidos em queda livre

(Valores adimensionais)

h=2		h=3		h=4		h=5		h=6	
z/h	y/h	z/h	y/h	z/h	y/h	z/h	y/h	z/h	y/h
8,60	4,34	5,73	3,75	4,30	3,38	3,44	3,11	2,87	2,9
9,50	4,63	6,33	3,95	4,75	3,54	3,80	3,23	3,17	3,01
10,40	4,795	6,93	4,12	5,20	3,67	4,16	3,38	3,47	3,13
11,30	4,98	7,53	4,293	5,65	3,83	4,52	3,50	3,77	3,26
15,00	5,615	10,00	4,87	7,50	4,36	6,00	3,96	5,00	3,65
17,50	6,09	11,67	5,217	8,75	4,65	7,00	4,22	5,83	3,89
20,00	6,495	13,33	5,54	10,00	4,92	8,00	4,47	6,67	4,14
21,40	6,69	14,27	5,717	10,70	5,09	8,56	4,61	7,13	4,26
22,50	6,89	15,00	5,873	11,25	5,24	9,00	4,72	7,50	4,34
25,50	7,25	17,00	6,197	12,75	5,50	10,20	4,98	8,50	4,58
29,60	7,705	19,73	6,587	14,80	5,87	11,84	5,32	9,87	4,88
33,70	8,16	22,47	6,953	16,85	6,19	13,48	5,61	11,23	5,2

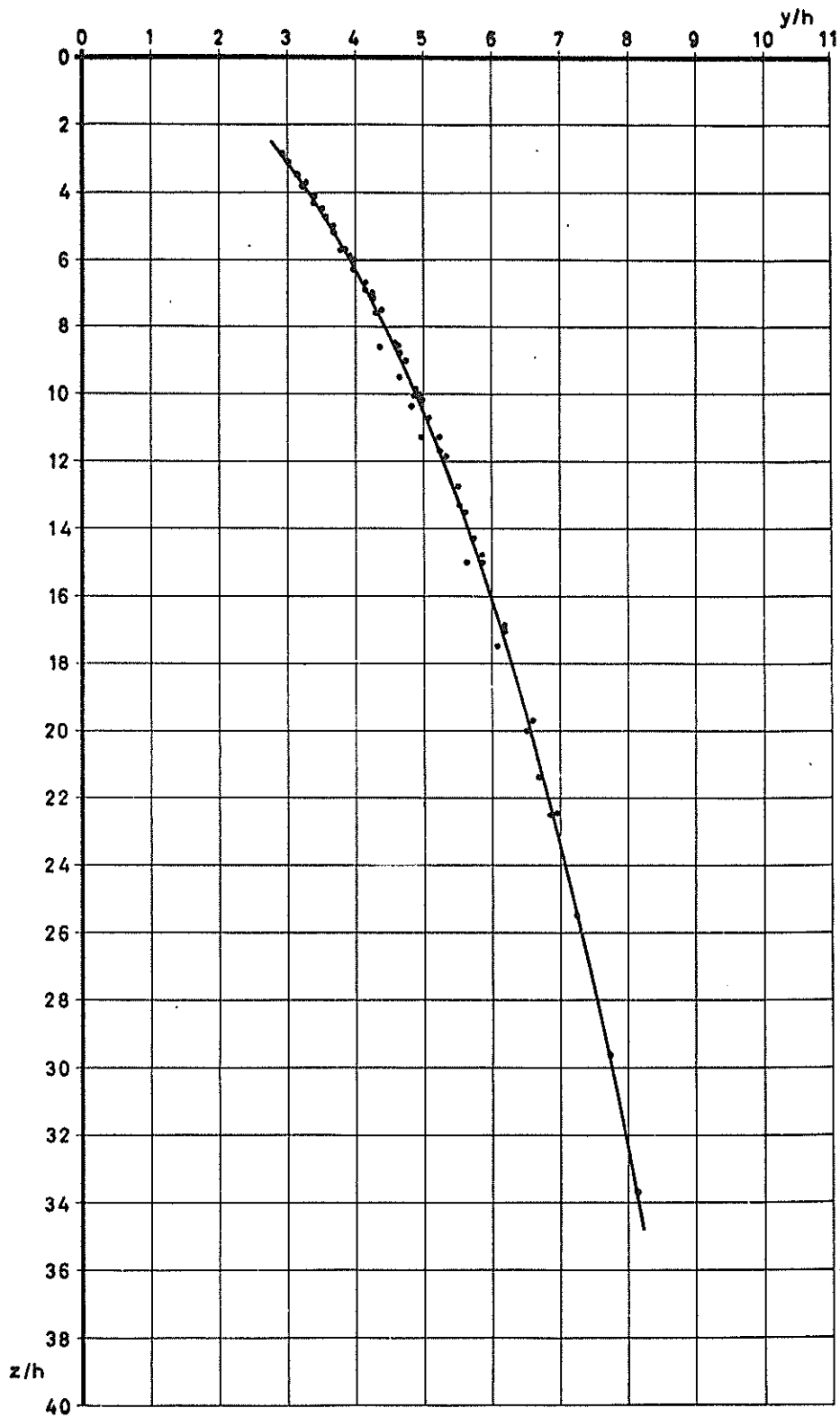


Fig.24—Alcances das lâminas descarregadas (face superior) medidos em queda livre. (Valores adimensionais)

Estes resultados referem-se à face superior da lâmina porque são as distâncias entre esta face e os muros das bacias de dissipação-restituição que, neste trabalho e tendo em atenção o objectivo em vista, se pretendem obter.

A aplicação destes valores na prática terá um campo muito restrito, porque só em relativamente poucos casos a soleira descarregadora será "normal" e sendo-o para o caudal máximo, não o será para todos os restantes. Com efeito, interessa essencialmente que ao longo do desenvolvimento do descarregador a soleira tenha formas tais que a linha de alcances, medidos para valores de z correspondentes à intersecção da lâmina com a encosta, seja o mais possível contínua, porque só assim será possível obter boas condições de restituição. Para o dimensionamento dessas soleiras, tendo em atenção um determinado alcance desejado, poderá o projectista recorrer à publicação do Eng. A. Lencastre, citada com o número [2] na lista bibliográfica.

Os valores apresentados na referida publicação referem-se à face inferior da lâmina, mas têm aplicação no caso presente. De facto, a partir de determinado valor de z , a espessura da lâmina não influencia o resultado. Se a lâmina é equipotencial, o que só poderá ocorrer em modelo reduzido, a sua espessura é diminuta e deixa de ter significado em face do rigor com que habitualmente se efectuam as medições; se a lâmina apresenta um grande grau de desenvolvimento da turbulência, a sua espessura aumenta mas, devido às perdas de carga no ar, o seu alcance vem diminuindo, havendo uma certa compensação entre estes dois factores, no que se refere à aplicação dos resultados obtidos neste estudo. Por outro lado, comparando os resultados obtidos pelo signatário, com uma soleira delgada, para a face superior da lâmina, com os valores obtidos por Blaisdell [18]⁽¹⁾

(1)- Ao sistema de eixos yo_z considerado pelo signatário, corresponde nesta obra o sistema de eixos xoy.

com uma soleira igual mas para a face inferior, verifica-se que eles não diferem, para os valores de z que ao presente trabalho interessam.

8.1.2 - Distância entre os muros e as lâminas descarregadas (e)

Com vista à elaboração dos resultados referentes a este parâmetro preparou-se o Quadro VI, no qual se apresentam os respectivos registos, agrupados de maneira a pôr em evidência os diferentes factores que o condicionam, como sejam: a carga sobre a soleira (h), a relação entre o caudal descarregado até à secção em estudo e o caudal unitário descarregado ($\frac{Q_m}{Q_0}$), o tipo de muro, a inclinação da encosta (I) e a queda (H).

A fim de tornar possível o agrupamento conveniente de todos estes parâmetros na apresentação dos resultados relativos à distância dos muros à lâmina descarregada (e) foi necessário analisar a influência que sobre ela exerce cada um dos referidos parâmetros. Dado, no entanto, que os registos efectuados dizem respeito à distância dos muros ao plano xoz (coincidente, como já se disse, com a face de montante do descarregador) e assim constam do citado quadro, prepararam-se os quadros e figuras necessários a essa análise tendo-se recorrido aos alcances das lâminas descarregadas (Fig. 23 e 24).

Houve no entanto a preocupação de reduzir ao mínimo indispensável o número de quadros e figuras apresentados, os quais são uma pequena fracção do material que foi necessário trabalhar, o que aliás é habitual em trabalhos de investigação.

Influência da carga sobre a soleira (h)

Apresentam-se na Fig. 25 os resultados correspondentes aos valores de h iguais a 2 e 5 cm, que se consideram significativos da gama de valores ensaiados.

Constata-se, como regra geral, que a distância dos muros à lâmina

QUADRO VI

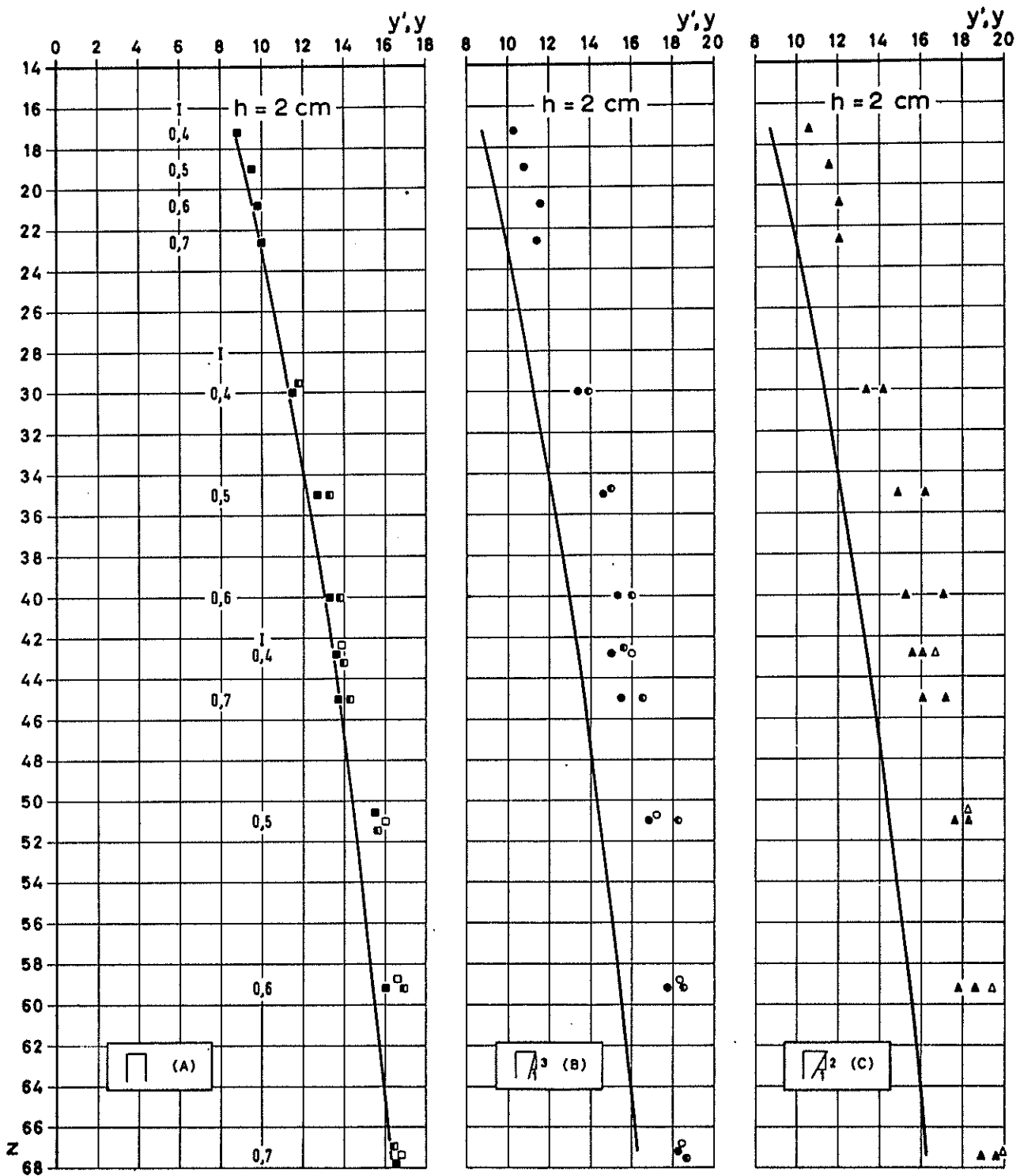
Distâncias dos muros à face de montante do descarregador (eixo dos xx),
medidas na base dos muros

I	H	Muro Vertical (A)			Muro inclinado a 3:1 (B)			Muro inclinado a 2:1 (C)		
		Qm/Qo								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
h = 2										
0,4	17,2	8,8	-	-	10,3	-	-	10,6	-	-
0,5	19,0	9,5	-	-	10,8	-	-	11,6	-	-
0,6	20,8	9,8	-	-	11,6	-	-	12,1	-	-
0,7	22,6	10,0	-	-	11,4	-	-	12,1	-	-
0,4	30,0	11,5	11,8	-	13,4	13,9	-	13,4	14,2	-
0,5	35,0	12,7	13,3	-	14,6	15,0	-	14,9	16,2	-
0,6	40,0	13,3	13,8	-	15,3	16,0	-	15,3	17,1	-
0,4	42,8	13,6	14,0	13,9	15,0	15,6	16,0	15,6	16,1	16,7
0,7	45,0	13,7	14,3	-	15,5	16,5	-	16,1	17,2	-
0,5	51,0	15,5	15,6	16,0	16,8	18,2	17,2	17,6	18,3	18,3
0,6	59,2	16,0	16,9	16,6	17,7	18,5	18,3	17,8	18,6	19,4
0,7	67,4	16,5	16,4	16,8	18,2	18,6	18,4	18,9	19,6	19,9
h = 3										
0,4	17,2	11,3	-	-	13,7	-	-	13,7	-	-
0,5	19,0	11,9	-	-	13,6	-	-	15,2	-	-
0,6	20,8	12,1	-	-	15,8	-	-	15,5	-	-
0,7	22,6	12,8	-	-	14,9	-	-	15,9	-	-
0,4	30,0	14,8	15,1	-	17,1	18,1	-	17,6	18,4	-
0,5	35,0	16,1	16,4	-	18,8	19,5	-	18,9	20,8	-
0,6	40,0	16,9	17,4	-	19,4	22,0	-	19,7	22,0	-
0,4	42,8	17,5	17,7	18,1	19,4	20,7	21,3	20,0	21,1	21,8
0,7	45,0	17,8	18,0	-	20,6	19,8	-	20,4	22,5	-
0,5	51,0	19,2	19,1	20,4	22,1	24,3	23,2	22,5	23,3	23,6
0,6	59,2	20,6	21,3	21,3	22,5	24,2	25,8	23,3	24,7	24,6
0,7	67,4	21,5	21,5	21,3	23,6	24,8	22,8	24,9	24,8	25,6
h = 4										
0,4	17,2	13,0	-	-	16,2	-	-	16,7	-	-
0,5	19,0	13,7	-	-	17,4	-	-	17,6	-	-
0,6	20,8	14,4	-	-	18,7	-	-	22,5	-	-
0,7	22,6	14,8	-	-	17,9	-	-	19,1	-	-
0,4	30,0	17,1	17,3	-	20,4	21,0	-	21,4	22,0	-
0,5	35,0	18,7	18,8	-	22,4	24,8	-	22,8	25,6	-

QUADRO VI (Cont.)

Distâncias dos muros à face de montante do descarregador (eixo dos xx),
medidas na base dos muros

I	H/f	Muro Vertical (A)			Muro inclinado a 3:1 (B)			Muro inclinado a 2:1 (C)		
		Qm/Qo								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
h = 4 (cont.)										
0,6	40,0	20,0	20,6	-	23,3	25,9	-	23,9	26,9	-
0,4	42,8	20,5	20,7	20,7	23,0	24,6	24,5	24,5	25,3	26,3
0,7	45,0	20,8	20,9	-	23,5	24,3	-	24,7	27,3	-
0,5	51,0	22,4	22,7	22,3	26,4	28,5	28,1	26,9	28,2	30,0
0,6	59,2	25,6	24,9	26,1	26,5	29,3	29,0	27,6	29,2	30,0
0,7	67,4	25,0	25,1	25,1	27,9	29,4	28,3	29,1	30,0	30,5
h = 5										
0,4	17,2	14,4	-	-	17,2	-	-	19,1	-	-
0,5	19,0	15,6	-	-	20,0	-	-	20,5	-	-
0,6	20,8	16,0	-	-	21,0	-	-	22,9	-	-
0,7	22,6	16,6	-	-	20,0	-	-	23,4	-	-
0,4	30,0	19,1	19,2	-	22,7	23,3	-	24,0	25,0	-
0,5	35,0	21,0	21,1	-	25,8	28,5	-	27,3	28,9	-
0,6	40,0	22,3	23,3	-	26,3	28,8	-	27,4	31,2	-
0,4	42,8	23,0	23,2	23,1	25,9	28,0	27,8	27,8	29,1	30,3
0,7	45,0	23,3	23,3	-	26,4	27,3	-	28,2	30,8	-
0,5	51,0	25,2	25,8	26,1	29,8	33,2	32,7	32,3	34,2	32,8
0,6	59,2	27,4	28,0	28,5	30,9	33,1	33,1	31,2	33,9	34,3
0,7	67,4	28,5	28,5	28,2	31,7	33,3	32,7	34,2	33,6	34,5
h = 6										
0,4	17,2	-	-	-	19,7	-	-	21,1	-	-
0,5	19,0	17,6	-	-	22,0	-	-	23,7	-	-
0,6	20,8	-	-	-	22,6	-	-	25,2	-	-
0,7	22,6	-	-	-	23,1	-	-	26,0	-	-
0,4	30,0	-	-	-	25,2	25,6	-	26,5	27,5	-
0,5	35,0	23,6	23,4	-	28,2	30,5	-	29,2	33,2	-
0,6	40,0	24,8	-	-	29,8	31,4	-	30,9	34,7	-
0,4	42,8	-	-	-	28,9	32,3	30,6	31,4	31,8	33,1
0,7	45,0	25,7	-	-	31,0	30,3	-	31,8	35,3	-
0,5	51,0	27,9	28,9	28,0	33,0	35,2	31,5	34,9	36,4	38,0
0,6	59,2	30,0	31,3	-	34,1	37,7	36,8	35,0	38,9	38,3
0,7	67,4	31,3	31,2	-	35,4	38,4	34,9	38,1	39,3	38,7

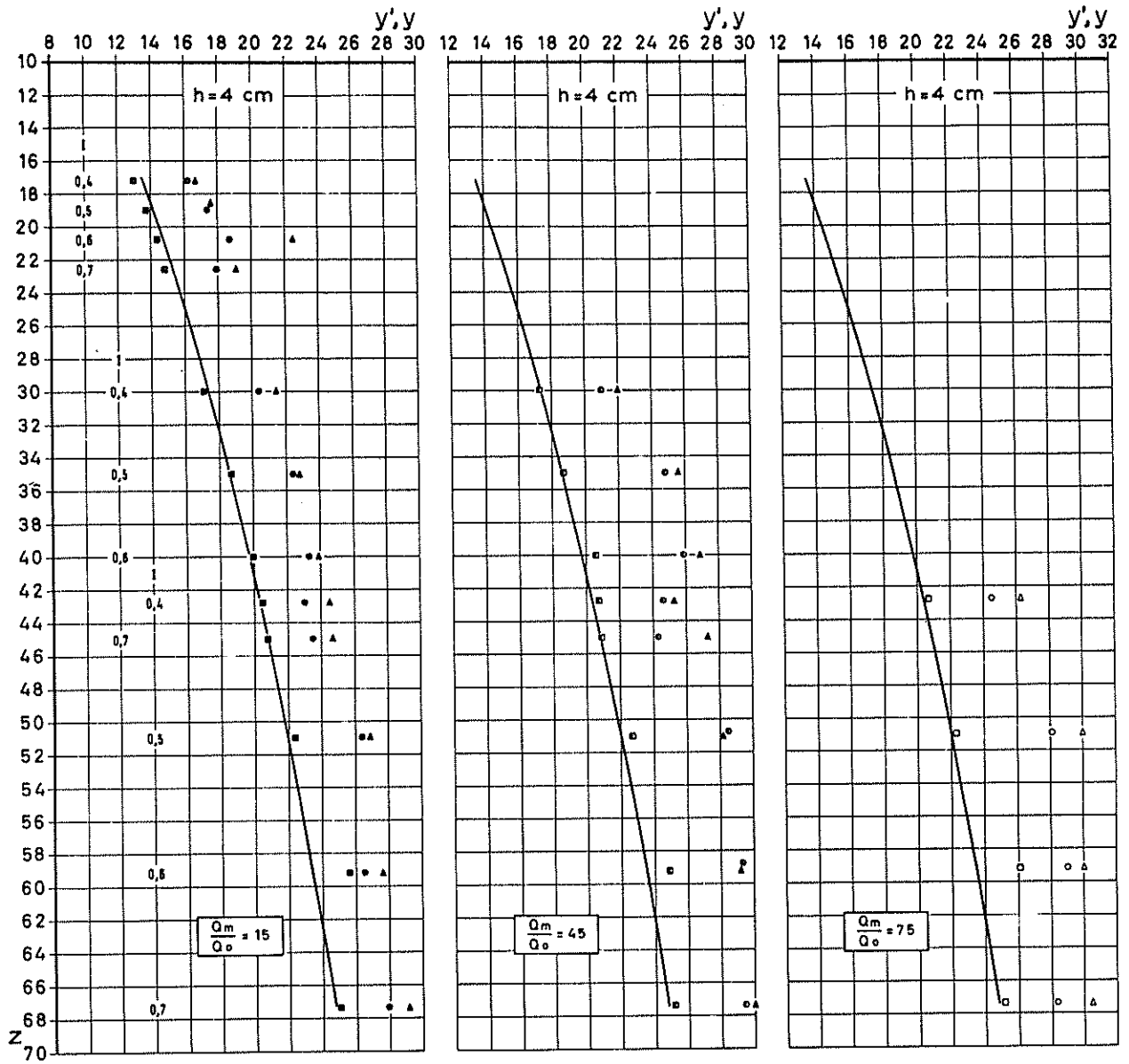


(Q_m/Q_o)

15 45 75

Muro vertical (A)	■	□	○
Muro inclinado a 3:1 (B)	●	⊙	○
Muro inclinado a 2:1 (C)	▲	△	△

Fig. 26 - Distâncias dos muros à lâmina descarregada
(influência de Q_m/Q_o)



		(Q _m /Q _o)		
		15	45	75
□	Muro vertical (A)	■	●	○
▤	Muro inclinado a 3:1 (B)	●	●	○
▥	Muro inclinado a 2:1 (C)	▲	▲	△

Fig. 27—Distâncias dos muros à lâmina descarregada
(influência do tipo de muro)

Influência da inclinação das encostas ($I = \text{tg } \beta$)

Com o fim de averiguar da influência deste parâmetro e aproveitando já à apresentação final dos resultados, preparou-se o Quadro VIII em que os valores de y (distâncias do muro ao eixo dos xx) e os de H estão divididos pelos correspondentes valores de h . A partir deste quadro e dos alcances das lâminas descarregadas (nº 8.1.1) preparou-se a Fig. 29 que mostra não ter o parâmetro I influência sensível e sistemática no valor de e . Esta figura apenas apresenta três dos nove casos analisados por se considerarem suficientes ao fim em vista, já que se incluíram os três tipos de muros e os três valores da relação $\frac{Q_m}{Q_0}$. Deste modo, repete-se, se procurou evitar a acumulação de elementos que, embora necessários à elaboração e interpretação dos resultados não tornariam mais clara a apresentação destes.

Influência da queda (H)

Ainda com base no Quadro VIII e nos alcances das lâminas descarregadas elaborou-se a Fig. 30, que apresenta todos os casos estudados, embora, para não a tornar confusa, se tenham suprimido os pontos representativos das medições efectuadas. No entanto, e para se ter uma ideia da dispersão das medições apresentam-se, na Fig. 31, os resultados obtidos para $\frac{Q_m}{Q_0} = 45$ com os três tipos diferentes de muro. Notar que esta figura confirma a lei de variação de e com o tipo de muro, já evidenciada na Fig. 27.

A Fig. 30 mostra que a influência de H é relativamente pequena. Inicialmente o valor de e cresce com H para começar a decrescer a partir de determinada altura.

QUADRO VIII

Distâncias dos muros à face de montante do descarregador (eixo dos xx),
 medidas na base dos muros
 (Valores adimensionais)

I	H/h	Muro Vertical (A)			Muro inclinado A 3:1 (B)			Muro inclinado A 2:1 (C)		
		Qm/Qo								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
Y/h (h = 2 cm)										
0,4	8,60	4,40	-	-	5,15	-	-	5,30	-	-
0,5	9,50	4,75	-	-	5,40	-	-	5,80	-	-
0,6	10,40	4,90	-	-	5,80	-	-	6,05	-	-
0,7	11,30	5,00	-	-	5,70	-	-	6,05	-	-
0,4	15,00	5,75	5,90	-	6,70	6,95	-	6,70	7,10	-
0,5	17,50	6,35	6,65	-	7,30	7,50	-	7,45	8,10	-
0,6	20,00	6,65	6,90	-	7,65	8,00	-	7,65	8,55	-
0,4	21,40	6,80	7,00	6,95	7,50	7,80	8,00	7,80	8,05	8,35
0,7	22,50	6,85	7,15	-	7,75	8,25	-	8,05	8,60	-
0,5	25,50	7,75	7,80	8,00	8,40	9,10	8,60	8,80	9,15	9,15
0,6	29,60	8,00	8,45	8,30	8,85	9,25	9,15	8,90	9,30	9,70
0,7	33,70	8,25	8,20	8,40	9,10	9,30	9,20	9,45	9,80	9,95
Y/h (h = 3 cm)										
0,4	5,73	3,77	-	-	4,57	-	-	4,57	-	-
0,5	6,33	3,97	-	-	4,53	-	-	5,07	-	-
0,6	6,93	4,03	-	-	5,27	-	-	5,17	-	-
0,7	7,53	4,27	-	-	4,97	-	-	5,30	-	-
0,4	10,00	4,93	5,03	-	5,70	6,03	-	5,87	6,13	-
0,5	11,67	5,37	5,47	-	6,27	6,50	-	6,30	6,93	-
0,6	13,33	5,63	5,80	-	6,47	7,33	-	6,57	7,33	-
0,4	14,27	5,83	5,90	6,03	6,47	6,90	7,10	6,67	7,03	7,27
0,7	15,00	5,93	6,00	-	6,87	6,60	-	6,80	7,50	-
0,5	17,00	6,40	6,37	6,80	7,37	8,10	7,73	7,50	7,77	7,87
0,6	19,73	6,87	7,10	7,10	7,50	8,07	8,60	7,77	8,23	8,20
0,7	22,47	7,17	7,17	7,10	7,87	8,27	7,60	8,30	8,27	8,53
Y/h (h = 4 cm)										
0,4	4,30	3,25	-	-	4,05	-	-	4,18	-	-
0,5	4,75	3,43	-	-	4,35	-	-	4,40	-	-
0,6	5,20	3,60	-	-	4,68	-	-	5,63	-	-
0,7	5,65	3,70	-	-	4,48	-	-	4,78	-	-
0,4	7,50	4,28	4,33	-	5,10	5,25	-	5,35	5,50	-
0,5	8,75	4,68	4,70	-	5,60	6,20	-	5,70	6,40	-

QUADRO VIII(Cont.)

Distâncias dos muros à face de montante do descarregador (eixo dos xx),
 medidas na base dos muros
 (Valores adimensionais)

I	H/h	Muro Vertical (A)			Muro inclinado a 3:1 (B)			Muro inclinado a 2:1 (C)		
		Q_m/Q_0								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
Y/h (h = 4 cm) cont.										
0,6	10,00	5,00	5,15	-	5,83	6,48	-	5,98	6,73	-
0,4	10,70	5,13	5,18	5,18	5,75	6,15	6,13	6,13	6,33	6,58
0,7	11,25	5,20	5,23	-	5,88	6,08	-	6,18	6,83	-
0,5	12,75	5,60	5,68	5,58	6,60	7,13	7,03	6,73	7,05	7,50
0,6	14,80	6,40	6,23	6,53	6,63	7,33	7,25	6,90	7,30	7,50
0,7	16,85	6,25	6,28	6,28	6,98	7,35	7,08	7,28	7,50	7,63
Y/h (h = 5 cm)										
0,4	3,44	2,88	-	-	3,44	-	-	3,82	-	-
0,5	3,80	3,12	-	-	4,00	-	-	4,10	-	-
0,6	4,16	3,20	-	-	4,20	-	-	4,58	-	-
0,7	4,52	3,32	-	-	4,00	-	-	4,68	-	-
0,4	6,00	3,82	3,84	-	4,54	4,66	-	4,80	5,00	-
0,5	7,00	4,20	4,22	-	5,16	5,70	-	5,46	5,78	-
0,6	8,00	4,46	4,66	-	5,26	5,76	-	5,48	6,24	-
0,4	8,56	4,60	4,64	4,62	5,18	5,60	5,56	5,56	5,82	6,06
0,7	9,00	4,66	4,66	-	5,28	5,46	-	5,64	6,16	-
0,5	10,10	5,04	5,16	5,22	5,96	6,64	6,54	6,46	6,84	6,56
0,6	11,84	5,48	5,60	5,70	6,18	6,62	6,62	6,24	6,78	6,86
0,7	13,48	5,70	5,70	5,64	6,34	6,66	6,54	6,84	6,72	6,90
Y/h (h = 6 cm)										
0,4	2,87	-	-	-	3,28	-	-	3,52	-	-
0,5	3,17	2,93	-	-	3,67	-	-	3,95	-	-
0,6	3,47	-	-	-	3,77	-	-	4,20	-	-
0,7	3,77	-	-	-	3,85	-	-	4,33	-	-
0,4	5,00	-	-	-	4,20	4,27	-	4,42	4,58	-
0,5	5,83	3,93	3,90	-	4,70	5,08	-	4,87	5,53	-
0,6	6,67	4,13	-	-	4,97	5,23	-	5,15	5,78	-
0,4	7,13	-	-	-	4,48	5,38	5,10	5,23	5,30	5,52
0,7	7,50	4,28	-	-	5,17	5,05	-	5,30	5,88	-
0,5	8,50	4,65	4,82	4,67	5,50	5,87	5,25	5,82	6,07	6,33
0,6	9,87	5,00	5,22	-	5,68	6,28	6,13	5,83	6,48	6,38
0,7	11,23	5,22	5,20	-	5,90	6,40	5,82	6,35	6,55	6,45

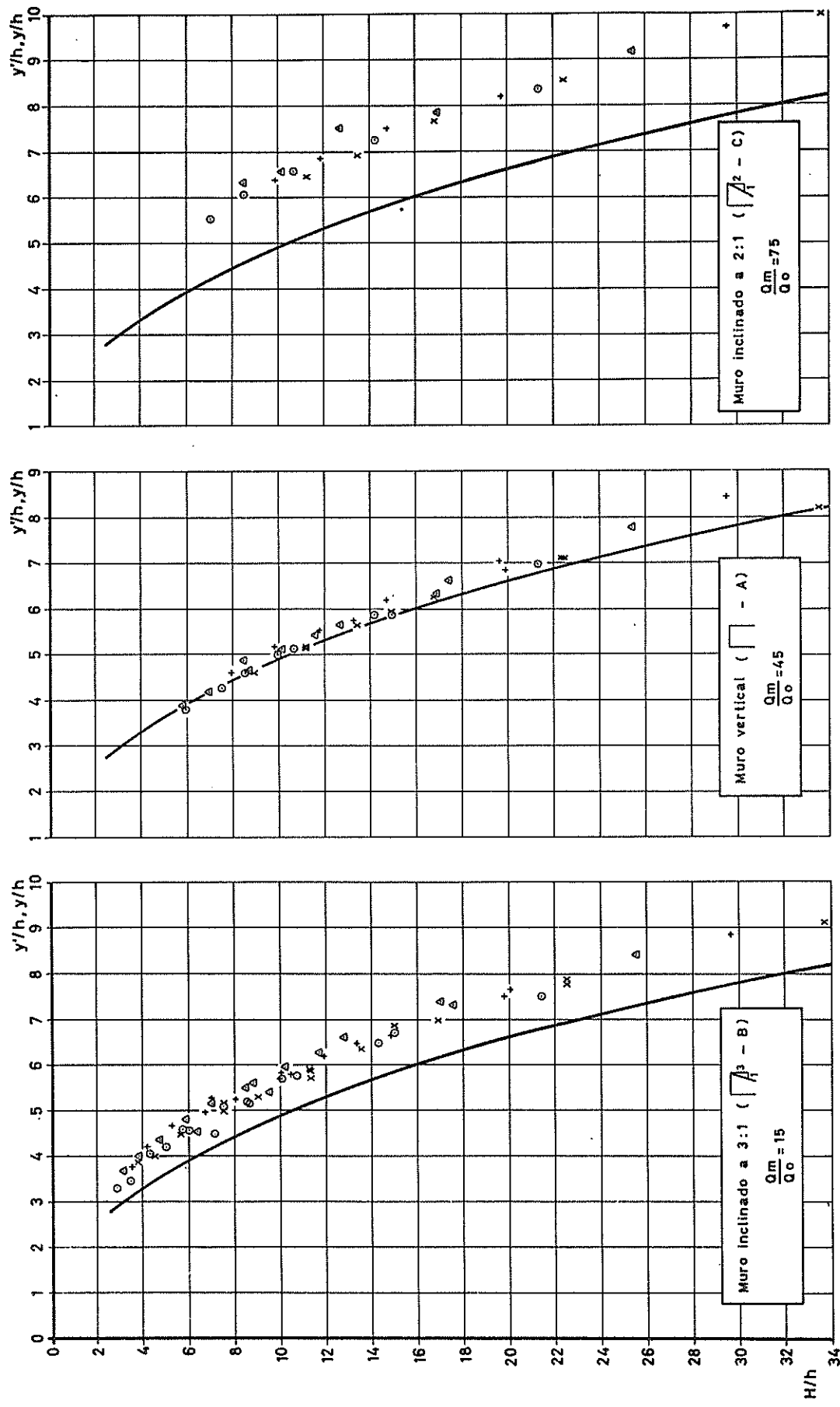


Fig. 29 — Distâncias dos muros à lâmina descarregada (valores adimensionais)
(Notar a não influência de I)

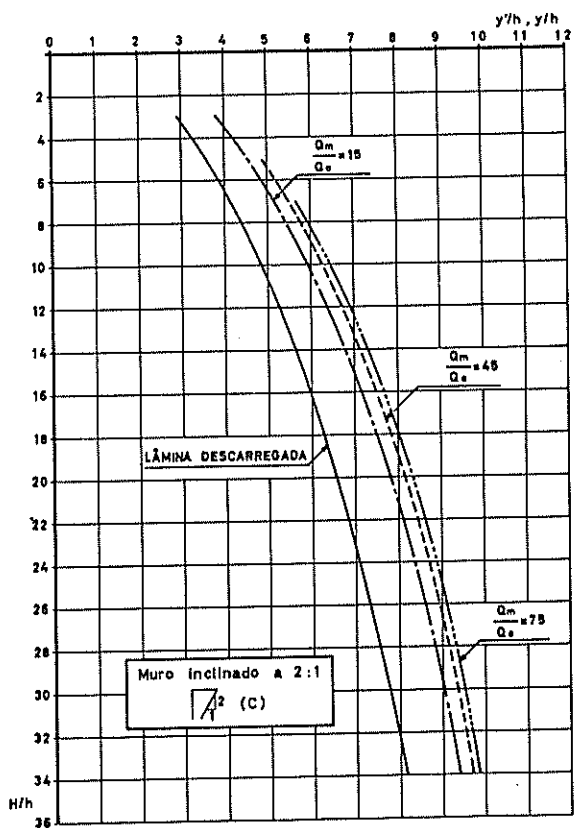
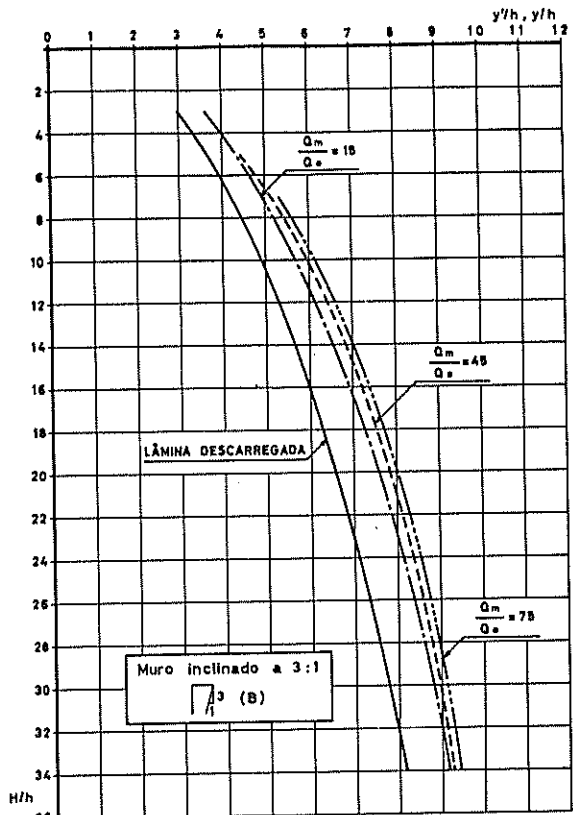
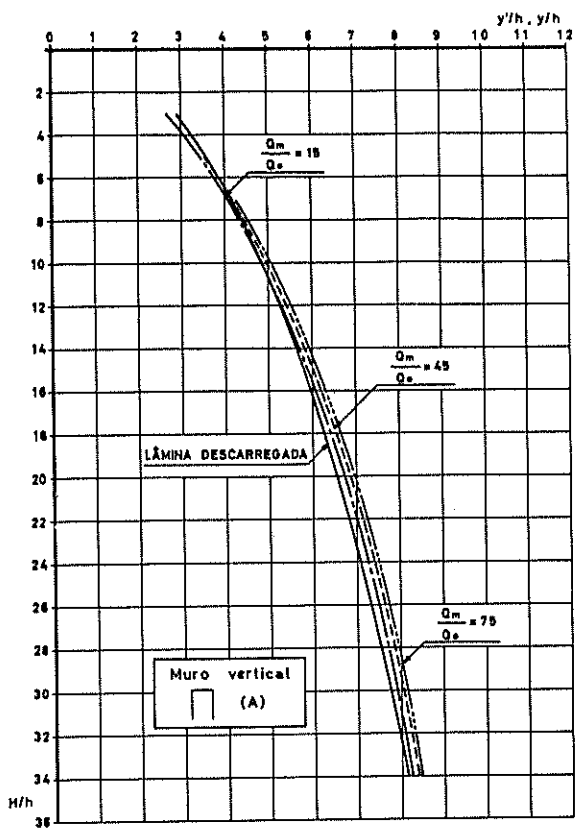
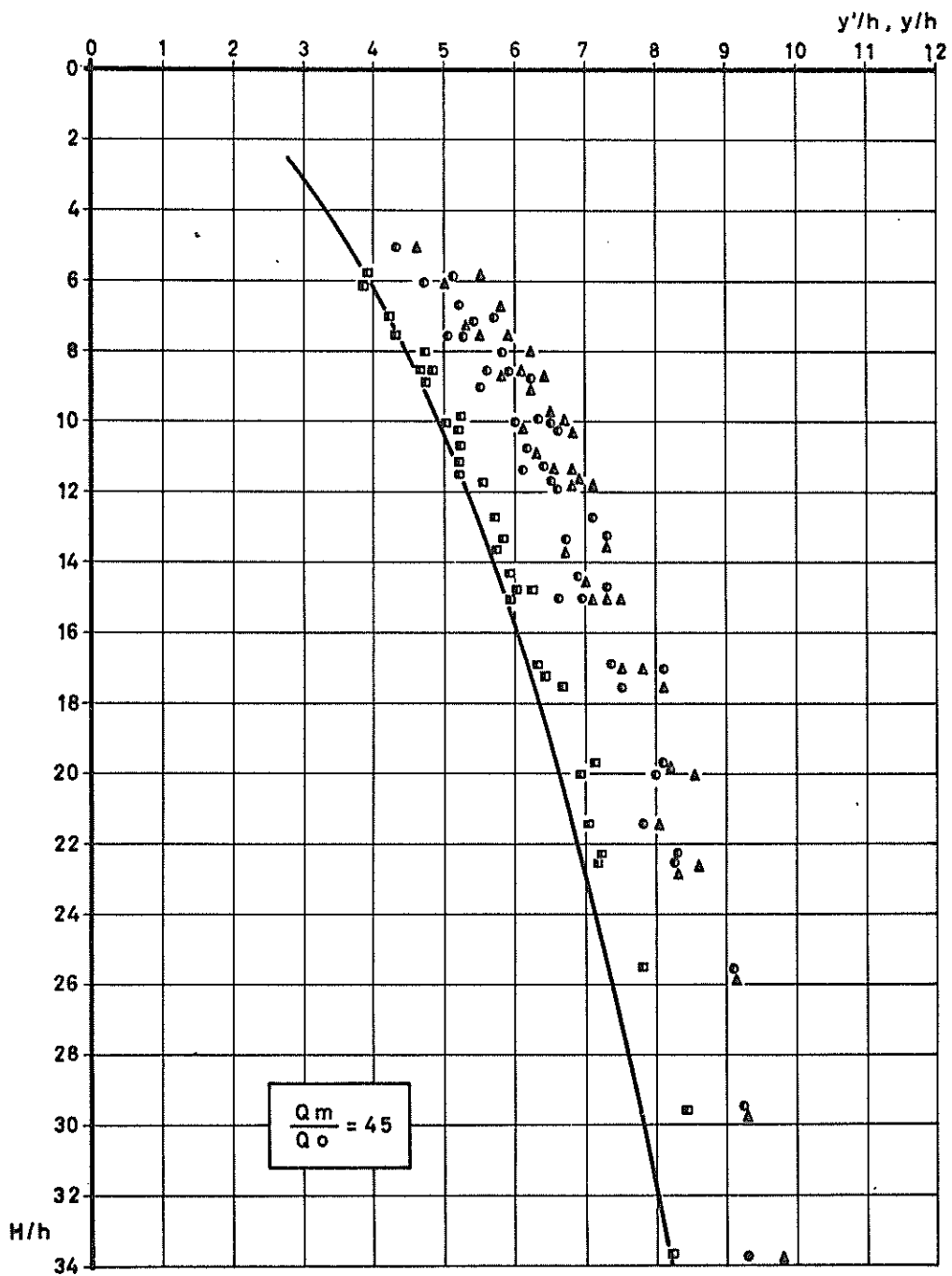


Fig.30 - Distâncias dos muros à lâmina descarregada (valores adimensionais)



Muro vertical (A)	■
Muro inclinado a 3:1 (B)	○
Muro inclinado a 2:1 (C)	△

Fig. 31—Distâncias dos muros à lâmina descarregada
(valores adimensionais)

Aspecto da dispersão dos valores obtidos
(Notar a influência do tipo do muro)

Finalmente, tendo em atenção o exposto e com a finalidade de facilitar a utilização dos resultados deste trabalho elaboraram-se o Quadro IX e a Fig. 32. O quadro foi obtido a partir de leituras feitas directamente sobre a Fig. 31, subtraindo-se aos valores de \underline{y} , referentes aos muros, os correspondentes valores de \underline{y}' , referentes às lâminas descarregadas.

8.1.3 - Altura dos muros (\underline{d})

Tal como se fez para as distâncias \underline{e} entre os muros e as lâminas descarregadas, analisar-se-á a influência dos diversos factores (\underline{h} , $\frac{Q_m}{Q_o}$, tipo de muro, \underline{I} e \underline{H}) neste parâmetro.

Como os valores deste parâmetro foram obtidos directamente dos ensaios, a sua análise será possível a partir dos registos numéricos, desde que se agrupem convenientemente, o que se fez no Quadro X.

Verifica-se que os valores de \underline{d} crescem com \underline{h} , decrescem quando a relação $\frac{Q_m}{Q_o}$ cresce e também ao passar-se do tipo de muro A para o tipo B e para o tipo C e são praticamente independentes dos parâmetros \underline{I} e \underline{H} .

De acordo com estas leis e procurando simplificar a utilização dos resultados, agruparam-se os diferentes parâmetros como consta do Quadro XI e elaboraram-se, com base nele, os gráficos que constam da Fig. 33. Consideraram-se os valores médios de \underline{d} , resultantes da média dos valores obtidos para os diferentes valores de \underline{I} e \underline{H} ensaiados.

8.1.4 - Inclinação dos muros ($\underline{i} = \text{tg } \underline{\alpha}$)

Anàlogamente ao que se fez para a análise da influência dos diferentes parâmetros na altura dos muros, também neste caso a conveniente ordenação dos registos numéricos obtidos dos ensaios permite tirar conclusões.

QUADRO IX

Distâncias dos muros às lâminas descarregadas
(valores adimensionais)

H/h	l/h								
	Muro vertical (A)			Muro a 3/1 (B)			Muro a 2/1 (C)		
	Q _m /Q _o								
	15	45	75	15	45	75	15	45	75
2									
4	-0,38			1,34			1,84		
6	-0,2	0,00		1,42	1,76		1,96	2,62	
8	-0,06	0,18	0,38	1,48	1,98	2,34	2,06	2,76	3,10
10	0,00	0,22	0,40	1,58	2,14	2,48	2,12	2,80	3,16
12	0,10	0,36	0,55	1,64	2,22	2,60	2,20	2,88	3,26
14	0,20	0,40	0,62	1,78	2,38	2,72	2,30	2,98	3,34
16	0,24	0,50	0,72	1,88	2,44	2,80	2,40	3,08	3,42
18	0,32	0,60	0,80	1,98	2,54	2,86	2,50	3,14	3,50
20	0,38	0,62	0,84	2,04	2,58	2,92	2,56	3,20	3,58
22	0,40	0,68	0,88	2,10	2,60	2,94	2,60	3,26	3,60
24	0,42	0,72	0,92	2,12	2,60	2,92	2,60	3,28	3,60
26	0,40	0,68	0,88	2,14	2,58	2,88	2,60	3,26	3,60
28	0,36	0,64	0,84	2,14	2,48	2,80	2,60	3,22	3,56
30	0,34	0,60	0,80	2,08	2,40	2,74	2,58	3,20	3,54
32	0,26	0,56	0,76	2,06	2,34	2,64	2,54	3,16	3,46
34	0,20	0,46	0,66	2,02	2,24	2,58	2,46	3,10	3,40

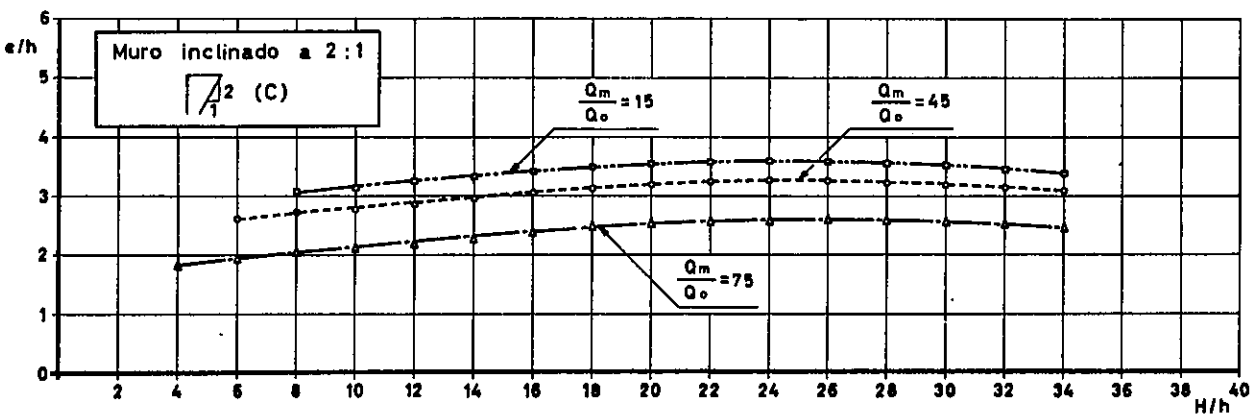
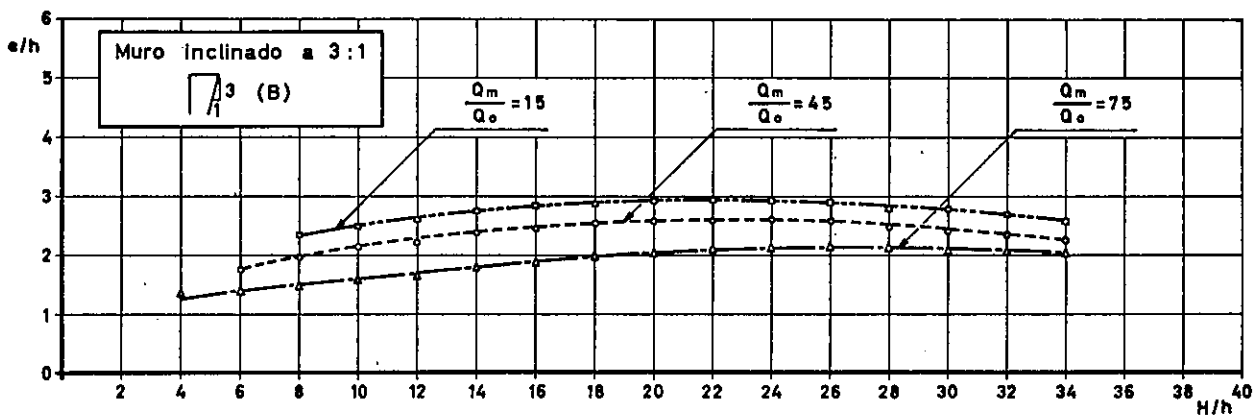
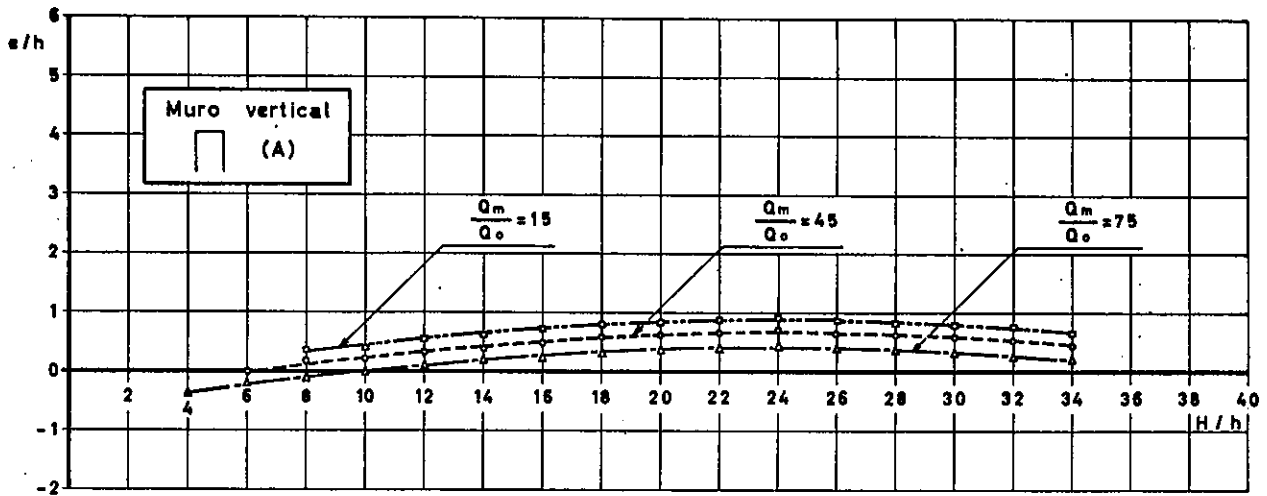


Fig. 32 - Distâncias dos muros à lâmina descarregada
(valores adimensionais)

$$e/h = f(H/h)$$

QUADRO X
Alturas dos muros (d)

I	H	Muro vertical (A)			Muro inclinado a 3:1 (B)			Muro inclinado a 2:1 (C)		
		Qm/Qo								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
d (h = 2 cm)										
0,4	17,2	2	-	-	2	-	-	2	-	-
0,5	19,0	2	-	-	2	-	-	2	-	-
0,6	20,8	2	-	-	2	-	-	2	-	-
0,7	22,6	3	-	-	2	-	-	2	-	-
0,4	30,0	2	3	-	2	3	-	2	2	-
0,5	35,0	3	3	-	2	3	-	2	2	-
0,6	40,0	2	3	-	2	2	-	2	2	-
0,4	42,8	2	3	4	2	2	3	2	2	3
0,7	45,0	3	4	-	3	2	-	2	2	-
0,5	51,0	3	4	4	2	2	3	2	2	3
0,6	59,2	2	2	3	2	2	2	2	2	2
0,7	67,4	3	4	5	3	3	3	2	2	3
d (h = 3 cm)										
0,4	17,2	3	-	-	3	-	-	2	-	-
0,5	19,0	3	-	-	3	-	-	2	-	-
0,6	20,8	3	-	-	3	-	-	2	-	-
0,7	22,6	3	-	-	3	-	-	3	-	-
0,4	30,0	3	3	-	2	4	-	2	3	-
0,5	35,0	4	4	-	3	4	-	2	3	-
0,6	40,0	3	4	-	2	3	-	2	3	-
0,4	42,8	3	4	4	3	3	4	2	3	4
0,7	45,0	4	5	-	3	4	-	2	3	-
0,5	51,0	3	4	5	3	3	4	3	3	3
0,6	59,2	3	3	4	2	3	3	2	3	3
0,7	67,4	4	5	5	3	4	5	3	3	4
d (h = 4 cm)										
0,4	17,2	3	-	-	4	-	-	3	-	-
0,5	19,0	5	-	-	4	-	-	3	-	-
0,6	20,8	5	-	-	3	-	-	3	-	-
0,7	22,6	4	-	-	4	-	-	4	-	-
0,4	30,0	4	4	-	4	5	-	3	4	-
0,5	35,0	4	5	-	3	5	-	3	4	-

QUADRO X (Cont.)

Alturas dos muros (d)

I	H	Muro vertical (A)			Muro inclinado a 3:1 (B)			Muro inclinado a 2:1 (C)		
		Q _m /Q _o								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
d (h = 4 cm) cont.										
0,6	40,0	3	5	-	3	4	-	3	4	-
0,4	42,8	4	5	5	4	5	5	3	3	5
0,7	45,0	4	5	-	4	5	-	3	5	-
0,5	51,0	4	5	5	4	4	5	4	4	4
0,6	59,2	4	4	5	3	3	4	3	3	4
0,7	67,4	4	6	6	4	4	6	3	4	5
d (h = 5 cm)										
0,4	17,2	4	-	-	5	-	-	4	-	-
0,5	19,0	5	-	-	5	-	-	4	-	-
0,6	20,8	6	-	-	4	-	-	4	-	-
0,7	22,6	6	-	-	4	-	-	5	-	-
0,4	30,0	5	5	-	5	6	-	3	5	-
0,5	35,0	5	5	-	4	6	-	4	5	-
0,6	40,0	4	6	-	4	5	-	3	5	-
0,4	42,8	5	6	6	5	6	6	4	4	6
0,7	45,0	5	6	-	5	5	-	4	5	-
0,5	51,0	5	6	6	5	5	6	5	5	5
0,6	59,2	5	5	6	3	4	5	3	4	5
0,7	67,4	5	6	6	5	6	6	4	5	6
d (h = 6 cm)										
0,4	17,2		-	-	5	-	-	5	-	-
0,5	19,0	6	-	-	6	-	-	5	-	-
0,6	20,8		-	-	5	-	-	5	-	-
0,7	22,6		-	-	5	-	-	6	-	-
0,4	30,0			-	6	6	-	4	6	-
0,5	35,0	6	6	-	5	6	-	5	6	-
0,6	40,0	5		-	4	6	-	4	6	-
0,4	42,8				6	6	6	5	5	6
0,7	45,0	6		-	6	6	-	5	6	-
0,5	51,0	6	6	6	6	6	6	6	6	6
0,6	59,2	6	5		4	5	6	4	5	6
0,7	67,4	6	6		6	6	6	5	6	6

QUADRO XI

Alturas dos muros
(Valores adimensionais)

$$\frac{d}{L} = f \left(\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}} \right)$$

h	Muro vertical (A)											
	Q_m/Q_0											
	15				45				75			
	d méd.	$\frac{d \text{ méd.}}{L}$	$Q \times 10^{-3}$	$\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}}$	d méd.	$\frac{d \text{ méd.}}{L}$	$Q \times 10^{-3}$	$\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}}$	d méd.	$\frac{d \text{ méd.}}{L}$	$Q \times 10^{-3}$	$\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}}$
0,02	0,024	0,027	0,93	0,27	0,032	0,036	2,79	0,82	0,040	0,044	4,65	1,37
0,03	0,032	0,036	1,73	0,51	0,040	0,044	5,19	1,52	0,045	0,050	8,65	2,54
0,04	0,040	0,044	2,66	0,78	0,049	0,054	7,98	2,34	0,052	0,058	13,30	3,91
0,05	0,050	0,056	3,72	1,09	0,056	0,062	11,16	3,28	0,060	0,067	18,60	5,47
0,06	0,059	0,066	4,88	1,43	0,058	0,064	14,64	4,30	0,060	0,067	24,40	7,17

h	Muro inclinado a 3:1 (B)											
	Q_m/Q_0											
	15				45				75			
	d méd.	$\frac{d \text{ méd.}}{L}$	$Q \times 10^{-3}$	$\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}}$	d méd.	$\frac{d \text{ méd.}}{L}$	$Q \times 10^{-3}$	$\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}}$	d méd.	$\frac{d \text{ méd.}}{L}$	$Q \times 10^{-3}$	$\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}}$
0,02	0,022	0,024	0,93	0,27	0,024	0,027	2,79	0,82	0,028	0,031	4,65	1,37
0,03	0,028	0,031	1,73	0,51	0,035	0,039	5,19	1,52	0,040	0,044	8,65	2,54
0,04	0,037	0,041	2,66	0,78	0,044	0,049	7,98	2,34	0,050	0,056	13,30	3,91
0,05	0,045	0,050	3,72	1,09	0,054	0,060	11,16	3,28	0,058	0,064	18,60	5,47
0,06	0,053	0,059	4,88	1,43	0,059	0,066	14,64	4,30	0,060	0,067	24,40	7,17

h	Muro inclinado a 2:1 (C)											
	Q_m/Q_0											
	15				45				75			
	d méd.	$\frac{d \text{ méd.}}{L}$	$Q \times 10^{-3}$	$\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}}$	d méd.	$\frac{d \text{ méd.}}{L}$	$Q \times 10^{-3}$	$\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}}$	d méd.	$\frac{d \text{ méd.}}{L}$	$Q \times 10^{-3}$	$\frac{Q \times 10^{-3}}{\sqrt{2g} L^{5/2}}$
0,02	0,020	0,022	0,93	0,27	0,020	0,022	2,79	0,82	0,028	0,031	4,65	1,37
0,03	0,022	0,024	1,73	0,51	0,030	0,033	5,19	1,52	0,035	0,039	8,65	2,54
0,04	0,032	0,036	2,66	0,78	0,039	0,043	7,98	2,34	0,045	0,050	13,30	3,91
0,05	0,039	0,043	3,72	1,09	0,048	0,053	11,16	3,28	0,055	0,061	18,60	5,47
0,06	0,049	0,054	4,88	1,43	0,058	0,064	14,64	4,30	0,060	0,067	24,40	7,17

$L = 0,9 \text{ m}; \quad L^{5/2} = 0,7684$

$Q = \mu L \sqrt{2g} \quad L^{3/2}$, com $L = 0,15 \text{ m}$ ($\frac{Q_m}{Q_0} = 15$); $0,45 \text{ m}$ ($\frac{Q_m}{Q_0} = 45$); $0,75 \text{ m}$ ($\frac{Q_m}{Q_0} = 75$)

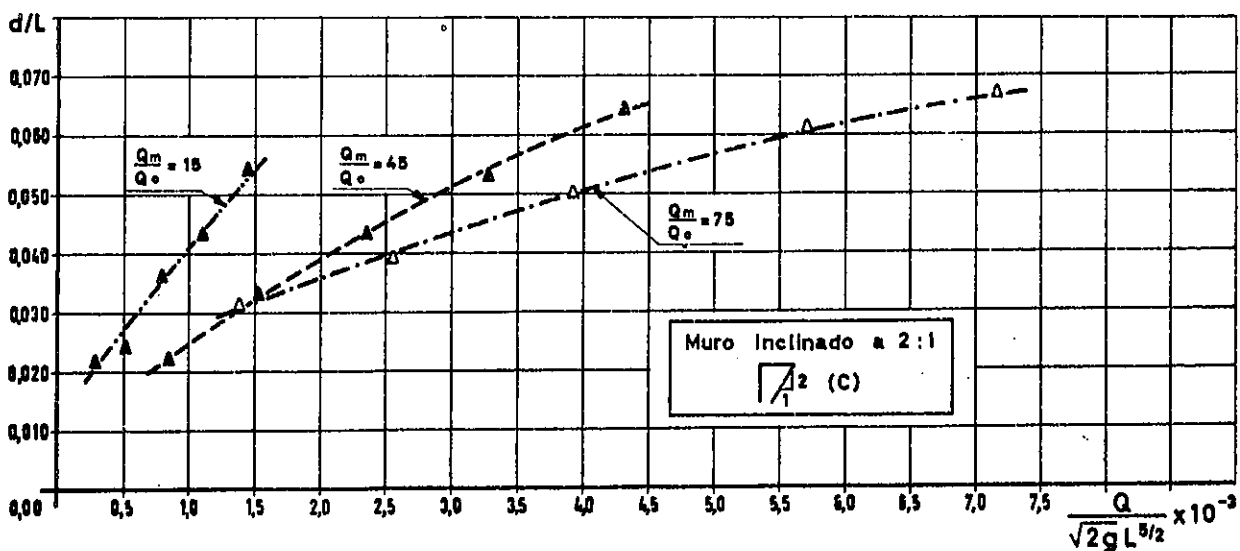
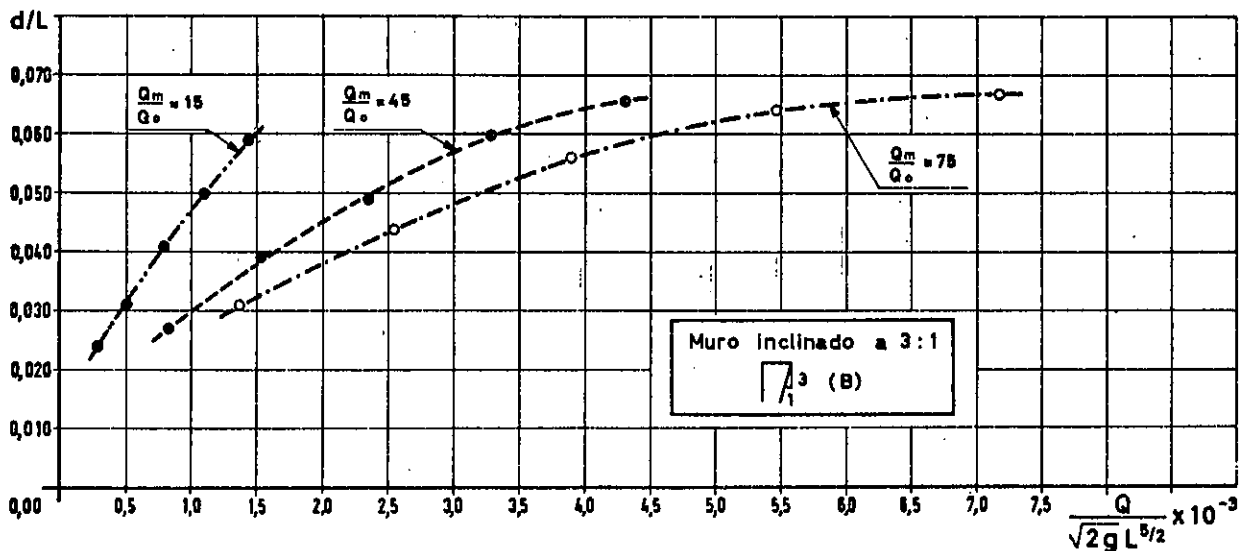
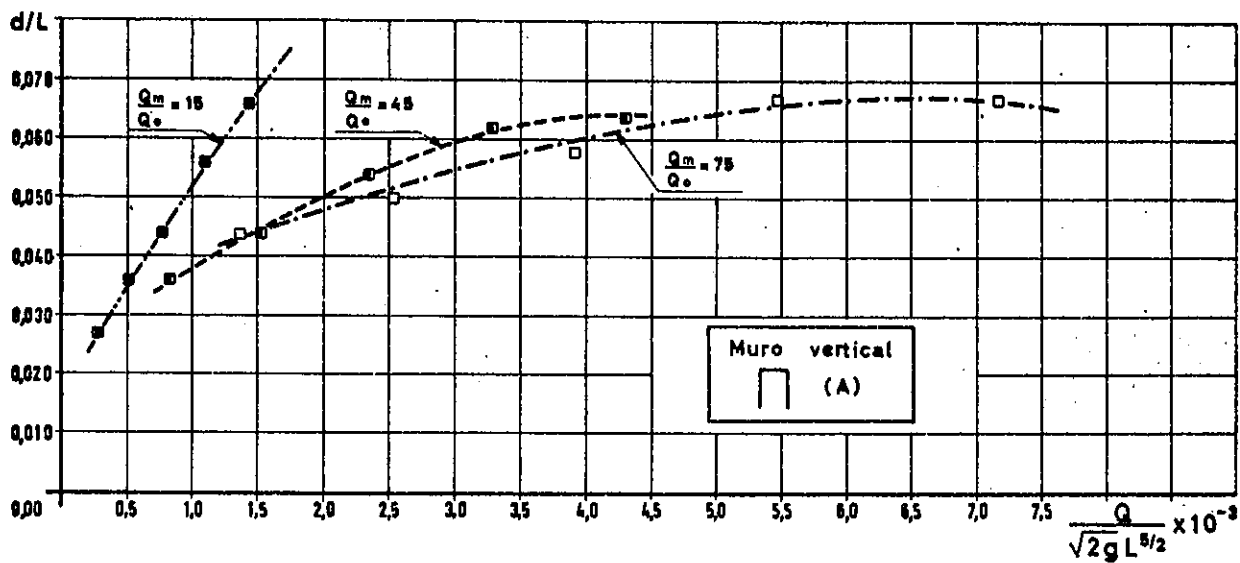


Fig.33 - Alturas dos muros (d) - valores adimensionais

$$d/L = f\left(\frac{Q}{\sqrt{2gL^{5/2}}}\right)$$

Com efeito observando o Quadro XII pode verificar-se que a inclinação dos muros (medida, como já se disse, num plano horizontal e em relação à soleira descarregadora) aumenta com \underline{h} , com \underline{I} e ao passar-se do tipo de muro A para o tipo B e para o tipo C e diminui quando a relação $\frac{Q_m}{Q_0}$ e o valor de \underline{H} aumentam.

Se em vez de se considerarem os valores de \underline{i} se considerarem os valores de $\sqrt{\frac{\underline{i}}{\underline{I}}}$ (Quadro XIII) verifica-se que são agora ligeiramente decrescentes quando \underline{I} aumenta. Esta variação de $\sqrt{\frac{\underline{i}}{\underline{I}}}$ é tal que se julga aceitável tomar em cada vão os valores médios dos valores correspondentes às quatro encostas ensaiadas ($\underline{I} = 0,4 ; 0,5 ; 0,6$ e $0,7$).

Deste modo os diferentes parâmetros poderão ser agrupados como consta do Quadro XIV e os resultados apresentados em gráficos de fácil utilização (Fig.34).

8.1.5 - Eficiência das bacias

Como se disse no n.º 7.2 não foi possível, devido a avaria no analisador panorâmico, obter os espectros de potência e os valores quadráticos médios programados.

A análise da eficiência das bacias terá portanto de ser feita apenas com o auxílio dos registos das flutuações de pressão.

Cada registo compõe-se de três partes:

- A primeira contém todo o fenómeno, podendo portanto dar indicações sobre o valor médio.

- As outras duas contém apenas as flutuações de pressão, sem o valor médio (componente contínua do fenómeno electrónico analógico) e tem uma ampliação 2,5 vezes maior. A primeira destas duas foi registada com uma velocidade do papel de $8,4 \text{ mm s}^{-1}$ e a segunda com a velocidade de

QUADRO XII

Inclinações dos muros em relação à soleira descarregadora ($i = t_g \alpha$)

(medidas sobre um plano horizontal)

I	H	Muro vertical (A)			Muro inclinado a 3:1 (B)			Muro inclinado a 2:1 (C)		
		Q_m/Q_0								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
$i \quad (h = 2 \text{ cm})$										
0,4	17,2	0,110	-	-	0,130	-	-	0,140	-	-
0,5	19,0	0,145	-	-	0,185	-	-	0,200	-	-
0,6	20,8	0,150	-	-	0,225	-	-	0,210	-	-
0,7	22,6	0,165	-	-	0,210	-	-	0,215	-	-
0,4	30,0	0,080	0,075	-	0,090	0,090	-	0,100	0,100	-
0,5	35,0	0,095	0,080	-	0,200	0,075	-	0,160	0,085	-
0,6	40,0	0,110	0,110	-	0,165	0,085	-	0,170	0,110	-
0,4	42,8	0,070	0,080	0,055	0,080	0,060	0,040	0,090	0,070	0,050
0,7	45,0	0,110	0,110	-	0,160	0,105	-	0,150	0,105	-
0,5	51,0	0,070	0,075	0,075	0,150	0,040	0,050	0,170	0,060	0,050
0,6	59,2	0,100	0,110	0,075	0,130	0,040	0,060	0,140	0,060	0,040
0,7	67,4	0,100	0,065	0,040	0,120	0,045	0,020	0,140	0,080	0,070
$i \quad (h = 3 \text{ cm})$										
0,4	17,2	0,150	-	-	0,165	-	-	0,150	-	-
0,5	19,0	0,175	-	-	0,230	-	-	0,240	-	-
0,6	20,8	0,190	-	-	0,300	-	-	0,300	-	-
0,7	22,6	0,210	-	-	0,210	-	-	0,255	-	-
0,4	30,0	0,115	0,105	-	0,125	0,110	-	0,145	0,130	-
0,5	35,0	0,100	0,125	-	0,235	0,155	-	0,220	0,125	-
0,6	40,0	0,150	0,135	-	0,200	0,135	-	0,240	0,130	-
0,4	42,8	0,090	0,085	0,095	0,115	0,100	0,080	0,120	0,070	0,080
0,7	45,0	0,135	0,110	-	0,220	0,100	-	0,220	0,150	-
0,5	51,0	0,100	0,100	0,120	0,180	0,110	0,070	0,200	0,070	0,050
0,6	59,2	0,135	0,130	0,110	0,175	0,100	0,100	0,190	0,100	0,065
0,7	67,4	0,125	0,110	0,095	0,190	0,035	0,090	0,230	0,080	0,040
$i \quad (h = 4 \text{ cm})$										
0,4	17,2	0,145	-	-	0,170	-	-	0,180	-	-
0,5	19,0	0,210	-	-	0,315	-	-	0,315	-	-
0,6	20,8	0,215	-	-	0,390	-	-	0,330	-	-
0,7	22,6	0,245	-	-	0,280	-	-	0,345	-	-
0,4	30,0	0,130	0,125	-	0,150	0,130	-	0,155	0,150	-
0,5	35,0	0,140	0,110	-	0,265	0,170	-	0,265	0,200	-

QUADRO XII (Continuação)

Inclinações dos muros em relação à soleira descarregadora ($i = t \cdot g \alpha$)
(medidas sobre um plano horizontal)

I	H	Muro vertical (A)			Muro inclinado a 3:1 (B)			Muro inclinado a 3:1 (C)		
		Q_m/Q_0								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
i (h = 4 cm) cont.										
0,6	40,0	0,165	0,190	-	0,240	0,135	-	0,280	0,140	-
0,4	42,8	0,100	0,095	0,100	0,160	0,120	0,100	0,170	0,100	0,110
0,7	45,0	0,170	0,135	-	0,270	0,135	-	0,320	0,180	-
0,5	51,0	0,120	0,110	0,100	0,220	0,135	0,050	0,280	0,100	0,085
0,6	59,2	0,150	0,140	0,170	0,190	0,145	0,060	0,220	0,100	0,060
0,7	67,4	0,145	0,110	0,120	0,270	0,120	0,115	0,300	0,050	0,025
i (h = 5 cm)										
0,4	17,2	0,170	-	-	0,220	-	-	0,180	-	-
0,5	19,0	0,190	-	-	0,350	-	-	0,370	-	-
0,6	20,8	0,290	-	-	0,370	-	-	0,410	-	-
0,7	22,6	0,250	-	-	0,275	-	-	0,320	-	-
0,4	30,0	0,140	0,140	-	0,185	0,170	-	0,180	0,190	-
0,5	35,0	0,155	0,150	-	0,345	0,200	-	0,340	0,190	-
0,6	40,0	0,180	0,190	-	0,290	0,150	-	0,360	0,155	-
0,4	42,8	0,125	0,105	0,110	0,140	0,155	0,135	0,210	0,140	0,145
0,7	45,0	0,170	0,165	-	0,295	0,185	-	0,345	0,135	-
0,5	51,0	0,140	0,140	0,160	0,250	0,145	0,070	0,360	0,140	0,090
0,6	59,2	0,180	0,170	0,150	0,230	0,160	0,110	0,270	0,090	0,050
0,7	67,4	0,170	0,155	0,125	0,280	0,165	0,150	0,370	0,055	0,100
i (h = 6 cm)										
0,4	17,2		-	-	0,200	-	-	0,220	-	-
0,5	19,0	0,230	-	-	0,340	-	-	0,410	-	-
0,6	20,8		-	-	0,350	-	-	0,445	-	-
0,7	22,6		-	-	0,310	-	-	0,430	-	-
0,4	30,0			-	0,250	0,175	-	0,200	0,185	-
0,5	35,0	0,170	0,145	-	0,340	0,200	-	0,330	0,225	-
0,6	40,0	0,220		-	0,350	0,190	-	0,380	0,175	-
0,4	42,8				0,140	0,200	0,160	0,220	0,135	0,155
0,7	45,0	0,185		-	0,380	0,145	-	0,400	0,185	-
0,5	51,0	0,150	0,170	0,140	0,310	0,140	0,150	0,350	0,150	0,100
0,6	59,2	0,200	0,190		0,270	0,170	0,165	0,300	0,130	0,050
0,7	67,4	0,170	0,155		0,315	0,160	0,145	0,365	0,095	0,040

QUADRO XIII

Inclinação dos muros

$$\left(\sqrt{\frac{i}{I}}\right)$$

I	H/L	Muro vertical (A)			Muro inclinado a 3:1 (B)			Muro inclinado a 2:1 (C)		
		Qm/Qo								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
$\sqrt{i/I}$ (h = 2 cm)										
0,4	0,191	0,524	-	-	0,570	-	-	0,591	-	-
0,5	0,211	0,538	-	-	0,608	-	-	0,632	-	-
0,6	0,231	0,500	-	-	0,612	-	-	0,591	-	-
0,7	0,251	0,485	-	-	0,547	-	-	0,554	-	-
0,4	0,333	0,448	0,443	-	0,474	0,474	-	0,500	0,500	-
0,5	0,389	0,441	0,400	-	0,632	0,387	-	0,565	0,412	-
0,6	0,444	0,427	0,427	-	0,524	0,376	-	0,532	0,427	-
0,4	0,476	0,418	0,448	0,370	0,448	0,387	0,316	0,474	0,418	0,353
0,7	0,500	0,396	0,396	-	0,478	0,387	-	0,462	0,387	-
0,5	0,567	0,374	0,387	0,387	0,547	0,282	0,316	0,583	0,346	0,316
0,6	0,658	0,408	0,427	0,353	0,465	0,258	0,316	0,482	0,316	0,258
0,7	0,749	0,378	0,304	0,238	0,413	0,254	0,170	0,448	0,337	0,316
$\sqrt{i/I}$ (h = 3 cm)										
0,4	0,191	0,612	-	-	0,642	-	-	0,612	-	-
0,5	0,211	0,591	-	-	0,678	-	-	0,692	-	-
0,6	0,231	0,563	-	-	0,707	-	-	0,707	-	-
0,7	0,251	0,547	-	-	0,547	-	-	0,603	-	-
0,4	0,333	0,536	0,512	-	0,559	0,524	-	0,602	0,570	-
0,5	0,389	0,448	0,500	-	0,685	0,556	-	0,663	0,500	-
0,6	0,444	0,500	0,474	-	0,577	0,474	-	0,632	0,465	-
0,4	0,476	0,474	0,460	0,487	0,536	0,500	0,448	0,547	0,418	0,448
0,7	0,500	0,439	0,396	-	0,560	0,378	-	0,560	0,462	-
0,5	0,567	0,448	0,448	0,489	0,600	0,469	0,374	0,632	0,342	0,316
0,6	0,658	0,474	0,465	0,427	0,540	0,408	0,408	0,563	0,408	0,328
0,7	0,749	0,423	0,396	0,368	0,520	0,223	0,359	0,573	0,337	0,238
$\sqrt{i/I}$ (h = 4 cm)										
0,4	0,191	0,602	-	-	0,651	-	-	0,670	-	-
0,5	0,211	0,648	-	-	0,793	-	-	0,793	-	-
0,6	0,231	0,598	-	-	0,806	-	-	0,741	-	-
0,7	0,251	0,591	-	-	0,632	-	-	0,702	-	-
0,4	0,333	0,570	0,559	-	0,612	0,570	-	0,622	0,612	-
0,5	0,389	0,529	0,469	-	0,728	0,583	-	0,728	0,632	-

QUADRO XIII (Cont.)

Inclinação dos muros

$$\left(\sqrt{\frac{1}{I}}\right)$$

I	H/L	Muro vertical (A)			Muro inclinado a 3:1(B)			Muro inclinado a 3:1 (C)		
		Qm/Qo								
		15	45	75	15	45	75	15	45	75
$\sqrt{1/I}$ (h = 4 cm) Cont.										
0,6	0,444	0,524	0,563	-	0,632	0,474	-	0,683	0,482	-
0,4	0,476	0,500	0,487	0,500	0,632	0,547	0,500	0,671	0,500	0,524
0,7	0,500	0,493	0,439	-	0,621	0,439	-	0,676	0,506	-
0,5	0,567	0,489	0,469	0,448	0,663	0,519	0,316	0,748	0,448	0,412
0,6	0,658	0,500	0,482	0,532	0,563	0,491	0,316	0,605	0,408	0,316
0,7	0,749	0,454	0,396	0,413	0,621	0,413	0,491	0,654	0,266	0,189
$\sqrt{1/I}$ (h = 5 cm)										
0,4	0,191	0,651	-	-	0,741	-	-	0,670	-	-
0,5	0,211	0,616	-	-	0,836	-	-	0,860	-	-
0,6	0,231	0,694	-	-	0,785	-	-	0,826	-	-
0,7	0,251	0,597	-	-	0,626	-	-	0,676	-	-
0,4	0,333	0,591	0,591	-	0,681	0,651	-	0,670	0,681	-
0,5	0,389	0,556	0,547	-	0,830	0,632	-	0,824	0,616	-
0,6	0,444	0,547	0,563	0,524	0,694	0,500	-	0,774	0,507	-
0,4	0,476	0,559	0,512	-	0,591	0,622	0,439	0,724	0,591	0,602
0,7	0,500	0,493	0,485	-	0,648	0,513	-	0,702	0,439	-
0,5	0,567	0,529	0,529	0,565	0,707	0,538	0,374	0,848	0,529	0,424
0,6	0,658	0,547	0,532	0,500	0,618	0,516	0,427	0,670	0,387	0,288
0,7	0,749	0,493	0,470	0,443	0,632	0,485	0,462	0,727	0,281	0,379
$\sqrt{1/I}$ (h = 6 cm)										
0,4	0,191	-	-	-	0,707	-	-	0,741	-	-
0,5	0,211	0,678	-	-	0,824	-	-	0,905	-	-
0,6	0,231	-	-	-	0,762	-	-	0,861	-	-
0,7	0,251	-	-	-	0,665	-	-	0,783	-	-
0,4	0,333	-	-	-	0,790	0,661	-	0,707	0,681	-
0,5	0,389	0,583	0,538	-	0,824	0,632	-	0,812	0,670	-
0,6	0,444	0,605	-	-	0,762	0,563	-	0,796	0,560	-
0,4	0,476	-	-	-	0,591	0,707	0,632	0,741	0,580	0,622
0,7	0,500	0,513	-	-	0,736	0,454	-	0,755	0,513	-
0,5	0,567	0,547	0,583	0,529	0,787	0,529	0,547	0,836	0,547	0,448
0,6	0,658	0,577	0,563	-	0,670	0,532	0,524	0,707	0,465	0,288
0,7	0,749	0,493	0,470	-	0,670	0,478	0,454	0,721	0,368	0,238

QUADRO XIV

Inclinações dos muros (valores adimensionais)

$$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}} = f \left(\frac{Q}{\sqrt{2g} L^{5/2}} \right)$$

f	Muro vertical (A)						Muro inclinado a 3:1 (B)						Muro inclinado a 2:1 (C)					
	15		45		75		15		45		75		15		45		75	
	$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}}$	$\frac{\sqrt{2g} L^{5/2}}{Q}$	$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}}$	$\frac{\sqrt{2g} L^{5/2}}{Q}$	$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}}$	$\frac{\sqrt{2g} L^{5/2}}{Q}$	$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}}$	$\frac{\sqrt{2g} L^{5/2}}{Q}$	$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}}$	$\frac{\sqrt{2g} L^{5/2}}{Q}$	$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}}$	$\frac{\sqrt{2g} L^{5/2}}{Q}$	$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}}$	$\frac{\sqrt{2g} L^{5/2}}{Q}$	$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}}$	$\frac{\sqrt{2g} L^{5/2}}{Q}$	$\sqrt{\frac{I \text{ méd.}}{I}}$	$\frac{\sqrt{2g} L^{5/2}}{Q}$
	h = 2 cm																	
0,211	0,512	-	-	0,82	1,37	0,585	0,27	-	0,408	0,82	1,37	0,593	0,27	-	0,433	0,82	-	0,313
0,417	0,428	0,416	0,392	0,82	1,37	0,531	0,471	-	0,408	0,82	1,37	0,516	0,300	-	0,433	0,82	-	0,313
0,612	0,394	0,392	0,337	0,82	1,37	0,471	0,337	-	0,300	0,82	1,37	0,500	0,300	-	0,356	0,82	-	0,313
	h = 3 cm																	
0,211	0,578	-	-	6,75	11,26	0,546	2,25	-	0,487	6,75	11,26	0,655	2,25	-	0,501	6,75	-	0,340
0,417	0,481	0,470	0,442	6,75	11,26	0,597	0,443	-	0,487	6,75	11,26	0,615	0,414	-	0,501	6,75	-	0,340
0,612	0,455	0,442	0,443	6,75	11,26	0,553	0,443	-	0,414	6,75	11,26	0,580	0,414	-	0,580	6,75	-	0,340
	h = 4 cm																	
0,211	0,610	-	-	10,38	17,31	0,725	3,46	-	0,520	10,38	17,31	0,728	3,46	-	0,562	10,38	-	0,380
0,417	0,529	0,508	0,458	10,38	17,31	0,650	0,621	-	0,520	10,38	17,31	0,678	0,496	-	0,562	10,38	-	0,380
0,612	0,486	0,458	0,473	10,38	17,31	0,621	0,473	-	0,496	10,38	17,31	0,667	0,496	-	0,414	10,38	-	0,380
	h = 5 cm																	
0,211	0,640	-	-	14,52	24,21	0,752	4,84	-	0,578	14,52	24,21	0,763	4,84	-	0,571	14,52	-	0,438
0,417	0,547	0,546	0,511	14,52	24,21	0,751	0,638	-	0,578	14,52	24,21	0,745	0,543	-	0,571	14,52	-	0,438
0,612	0,532	0,511	0,508	14,52	24,21	0,638	0,508	-	0,543	14,52	24,21	0,745	0,543	-	0,463	14,52	-	0,438
	h = 6 cm																	
0,211	0,678	-	-	19,05	31,75	0,742	6,35	-	0,583	19,05	31,75	0,825	6,35	-	0,605	19,05	-	0,426
0,417	0,567	0,538	0,539	19,05	31,75	0,779	0,683	-	0,583	19,05	31,75	0,768	0,568	-	0,605	19,05	-	0,426
0,612	0,539	0,539	0,529	19,05	31,75	0,683	0,529	-	0,568	19,05	31,75	0,753	0,568	-	0,498	19,05	-	0,426

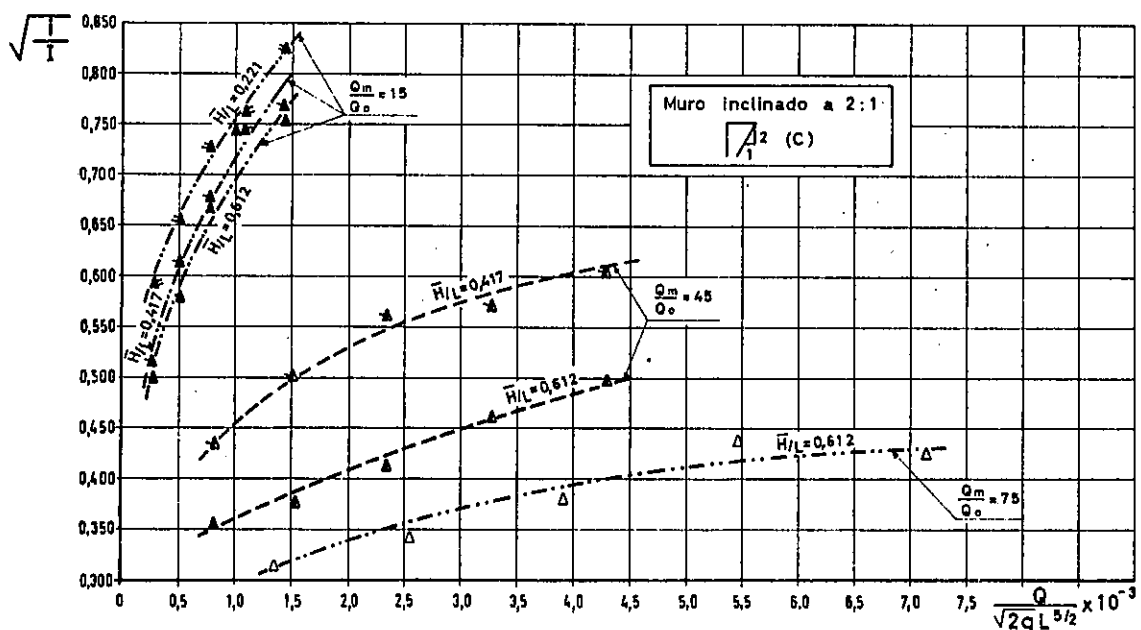
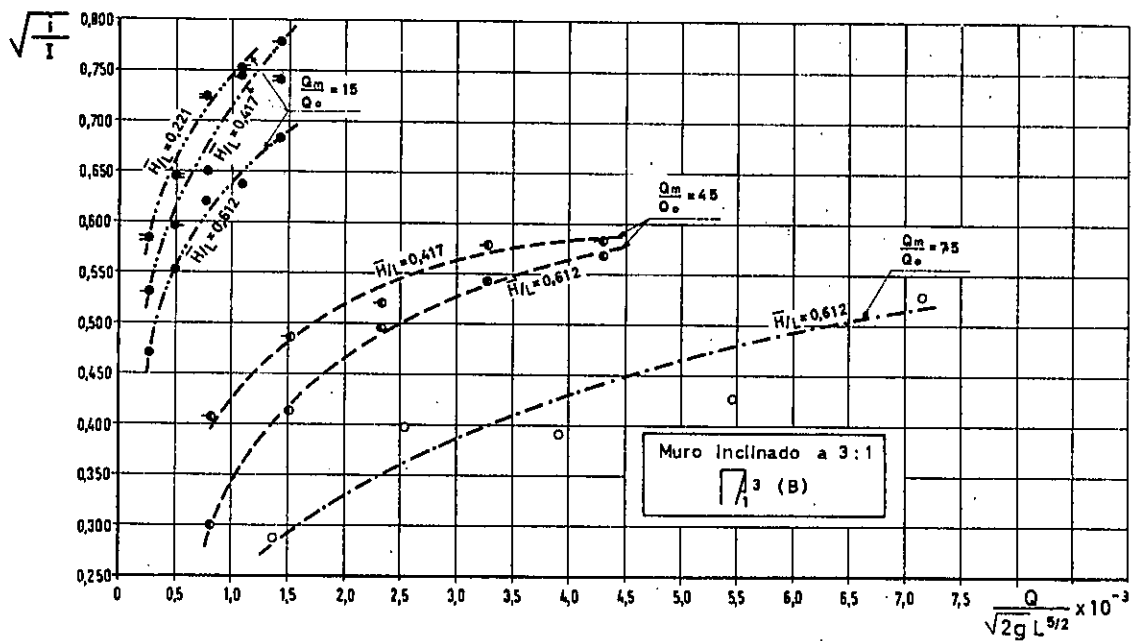
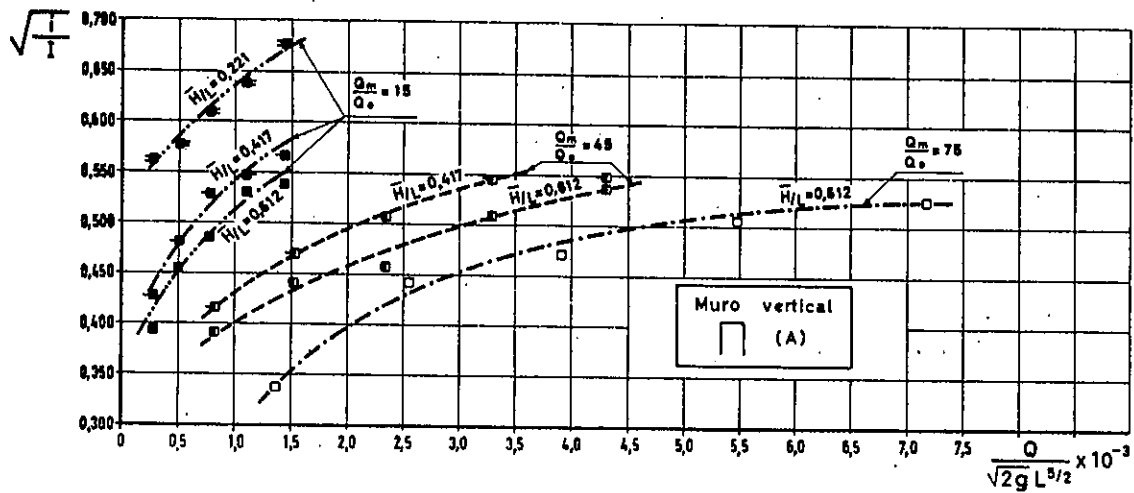


Fig. 34- Inclinções (\perp) dos muros em relação à soleira descarregadora, medidas sobre um plano horizontal (valores adimensionais).

$$\sqrt{\frac{i}{I}} = f\left(\frac{Q}{\sqrt{2g}L^{3/2}}\right)$$

212 mm s⁻¹, logo 25 vezes maior do que a primeira.

Comparando os registos efectuados sem os muros e com os diferentes tipos de muro, pode observar-se o seguinte:

- No 1.º vão apenas se nota a influência dos muros para o caudal máximo (o correspondente registo com o muro vertical não se apresenta porque o muro ficava sobre a célula, o que quer dizer que interceptava a lâmina).

Aliás, no primeiro vão, devido à pequena queda, a intercepção da lâmina descarregada com a encosta não se faz segundo uma linha recta, como sucede, praticamente, nos outros vãos. Por este facto e porque nos ensaios se utilizaram troços rectilíneos de muros, foi sempre relativamente mais difícil obter resultados análogos aos que se obtiveram para os outros vãos.

Não se nota, mesmo para os muros inclinados, sensível redução do valor médio das pressões, nem mesmo para o caudal máximo, o que pode-se justificar pelo valor relativamente pequeno da queda. No protótipo, tal facto não se verificará porque a queda, por menor que seja, terá sempre um valor incomparavelmente maior do que na instalação experimental.

- Nos 2.º e 3.º vãos verifica-se que a influência dos muros atinge não só o caudal máximo, mas também os caudais menores, embora para o mesmo valor ensaiado seja já relativamente pequena.

A diferença de comportamento do muro vertical em relação aos muros inclinados pode constatar-se pela redução do valor médio da pressão que se verifica com os últimos, sobretudo para os maiores caudais.

- Certas anomalias aparentes que os registos mostram devem-se ao facto de, em certos casos, a lâmina não ficar bem centrada na célula, o que se procurou evitar, mas nem sempre se conseguiu, devido às oscilações de

massa do circuito hidráulico utilizado.

Logo que for possível, procurar-se-á obter os espectros de potência e os valores quadráticos médios para então se poder fazer uma análise mais segura da eficiência das bacias para os caudais referidos.

8.2 - Interpretação dos resultados

Com base no exposto no n.º 3.2.1 e na observação dos ensaios julga-se ser válida a justificação dos resultados obtidos, que a seguir se apresenta.

Entre o muro e a lâmina descarregada constituiu-se um canal coletor, através do qual se processa a restituição. Quanto maior for o caudal escoado no canal maior terá que ser a secção deste.

Os parâmetros que definem a secção do canal são precisamente os valores de e , d e i. Com efeito e representa a largura do canal na secção considerada, d a altura do canal também na secção considerada e i representa a variação da largura ao longo do vão a que diz respeito. O aumento ou a diminuição simultânea de todos estes parâmetros não deixa dúvidas sobre o conseqüente aumento ou diminuição da secção, o mesmo não se podendo concluir, à priori, quando as suas variações têm sentidos contrários.

Quando aumenta a carga sobre o descarregador, ou seja o caudal descarregado, constata-se aumentos simultâneos de e , d e i , logo da secção do canal, o que está de acordo com o que se disse.

Se se analisarem as variações de e , d e i quando o parâmetro que varia é a relação $\frac{Q_m}{Q_0}$, verifica-se que a primeira é crescente e as duas últimas decrescentes, quando $\frac{Q_m}{Q_0}$ cresce. Constatam-se assim duas tendências na variação da secção, podendo conduzir ao seu aumento ou diminuição, conforme a preponderância dos parâmetros que actuam num ou noutro sentido. O aumento da relação $\frac{Q_m}{Q_0}$, mantendo-se o caudal descarregado por

unidade de comprimento, traduz por um lado um aumento do caudal que passa na secção, por outro lado um aumento da quantidade de movimento do escoamento no início do canal. Estes dois factores originam respectivamente o aumento e a diminuição da secção, o que está de acordo com os resultados obtidos. O factor mais preponderante é que fixará a variação efectiva em cada caso.

A análise da variação da secção com o tipo de muro, mantendo constantes os restantes parâmetros condicionadores do fenómeno conduz à seguinte situação: ao passar-se do tipo de muro A para o B e para o C aumentam os valores de e e i e diminuiu o de d. A situação é aparentemente análogo à anterior, mas a análise dos resultados mostra imediatamente que há aumento de secção ao passar-se do muro A para os muros B e C, devido a influência preponderante do parâmetro e não sendo já evidente que isso aconteça quando se passa do muro B para o C.

A razão do aumento da secção ao passar-se do muro A para os muros B e C filia-se nos processos de actuação, essencialmente diferentes, dos dois tipos de muro, vertical e inclinado. O primeiro, para ser eficiente, necessita ficar próximo da lâmina, daí vindo que a inclinação (i) será menor que nos outros casos. Pela mesma razão a altura terá de ser maior, até porque terá de conter o ressalto que tem tendência a formar-se.

Quanto aos tipos B e C precisam de ficar relativamente afastados da lâmina, para que a parte desta que é deflectida pelo muro e vai interceptar a lâmina descarregada, possa ser novamente recebida no canal com vista à restituição.

O modo de funcionamento do muro A provoca ainda um aumento da parte da lâmina deflectida para montante, o que não é aconselhável, como atrás se referiu. Entre os muros B e C, tendo comportamento igualmente satisfatório, deverão ser razões económicas que determinarão a sua escolha, pa-

recendo, à priori, que a vantagem se inclinará para o tipo B.

A inclinação da encosta (I) parece não ter influência sensível nos valores de e e d e é relativamente pequena no valor de i.

O parâmetro H não influenciou, como se viu, o valor de d ; quanto aos valores de i e e constatou-se que o primeiro diminuiu quando H aumenta e o segundo começa por aumentar para diminuir perto do fim do canal. Esta diminuição será menos devida ao aumento de H do que ao modo como se processa o escoamento no canal colector. Com efeito, segundo Maione [14], num canal colector com secção constante e aumento linear do caudal, constata-se uma diminuição da altura do escoamento a partir de 0,8-0,9 L do canal. Como esta secção se situa sempre no 3.º vão e, em cada caso, a altura do muro é constante ao longo do vão, a redução da secção do escoamento processar-se-ia na largura do canal.

Por outro lado, ao aumentar a queda, e isto independentemente de se tratar do princípio ou do fim do canal colector, ocorrem dois fenómenos que podem ter acção contrária na variação da secção (o aumento da energia e o aumento da turbulência na base da lâmina), que poderão justificar as variações de e e i.

Sem se ter pretendido dissecar o assunto em todos os seus aspectos, até porque se crê não ser fácil fazê-lo no estado actual do conhecimento sobre o assunto tratado neste trabalho, pensa-se que o fenómeno foi suficientemente estudado com vista à utilização dos resultados obtidos. Esta utilização será particularmente útil a nível de anteprojecto, embora se pense que possa vir a sê-lo também a nível de projecto para obras de pequena importância, sobretudo à medida que o assunto for sendo mais estudado, tal como se definiu no objectivo do trabalho.

9 - CONCLUSÕES

9.1 - Estudos efectuados

A preocupação que sempre norteou este trabalho foi a de produzir algo de útil. Esta preocupação começou por estar presente logo na escolha do tema e na concretização do objectivo visado, para ser ele ainda a presidir à programação dos ensaios e à fixação dos valores dos parâmetros a ensaiar. Não foi também esquecida na maneira como os resultados obtidos foram elaborados, pois se teve sempre em mente a aplicação desses mesmos resultados, de modo a torná-la fácil e cómoda.

Os gráficos das figuras 32, 33 e 34 sintetizam os resultados principais deste estudo. Através deles é possível efectuar o dimensionamento de bacias de dissipação e restituição nas encostas, para descarregadores de lâmina livre sobre todo o coroamento de barragens, na parte visada pelo presente trabalho que, como na devida altura se estabeleceu, foi a de definição da bacia na parte de jusante da lâmina.

Como a instalação utilizada apenas poderá representar esquemáticamente as obras reais deste tipo, houve a preocupação de confirmar até que ponto os resultados obtidos seriam válidos quando aplicados nessas mesmas obras, às quais efectivamente eles se destinam. Com esse fim fez-se a sua aplicação num caso concreto, o descarregador da barragem de Girabolhos, em ensaio neste Laboratório.

Desta aplicação dá-se conta no Anexo III, podendo afirmar-se que foi excedida a previsão mais optimista. Com efeito a forma projectada apresenta um comportamento melhor do que a forma a que os ensaios, numa fase já adiantada, permitiram chegar.

Embora não fazendo parte do objectivo concreto deste estudo, a figura 24 fornece elementos sobre o alcance da face superior de lâminas líquidas em queda livre, com soleiras delgadas.

9.2 - Programação de novos estudos

Tal como se disse no Cap. 3 não foi objectivo deste trabalho, nem o poderia ser, esgotar todo o assunto referente à dissipação-restituição nas encostas com descarregadores de lâmina livre sobre todo o coroamento de barragens. Dentro dos condicionamentos e possibilidades existentes no Laboratório procurou-se limitar o estudo de maneira a que pudesse, efectiva e útilmente, ser realizado.

Este facto não obstou no entanto a que se analisasse o problema no seu conjunto, não só com vista a integrar convenientemente no todo a parte estudada, mas ainda com vista a programação de novos estudos que haverá toda a vantagem venham a ser efectuados.

Duma maneira esquemática poderão definir-se os estudos a realizar como se segue:

- Definição da parte de montante da bacia

Tanto quanto a experiência do signatário lhe permite manifestar a sua opinião, julga-se que a solução deverá ser orientada na pesquisa de formas e posição de pequenos muros (esporões) de tal modo que fiquem o menos possível sob a acção directa das lâminas para caudais inferiores ao máximo e possam interceptar a parte da lâmina deflectida para montante, de maneira a que a sua restituição possa ser interessada na dissipação da lâmina descarregada no talvegue.

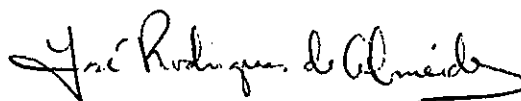
- Concordância entre as bacias das encostas e a bacia do talvegue

O objectivo destas concordâncias deverá ser o de se conseguir que, para toda a gama de caudais descarregados, a restituição nas bacias das encostas vá contribuir sempre para a dissipação na zona do talvegue. Desse modo será possível reduzir o custo da bacia central, sobre a qual é des

carregada, normalmente, a maior percentagem do caudal evacuado.

Se este trabalho puder ser útil para um melhor conhecimento neste ramo da Hidráulica, considera-se o signatário compensado do esforço realizado.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Março de 1965



JOSÉ RODRIGUES DE ALMEIDA
Engenheiro Estagiário para
Especialista

BIBLIOGRAFIA

- 1 - Abecasis, F.M.M. - Soleiras descarregadoras. Alguns problemas especiais. L.N.E.C., Memória N.º. 175. Lisboa, 1961.
- 2 - Lencastre, A. - Descarregadores de lâmina livre. Bases para o seu dimensionamento. L.N.E.C., Memória N.º. 174. Lisboa, 1961.
- 3 - Hydraulic Design Criteria - U.S. Army Engineer Waterways -
- Corps of Engineers.
- 4 - Smith, G.L. - Influence of graded gravel riprap-armorplate in control of scour. Colorado State University. Fort-Collins, Colorado.
- 5 - Ywagaki, Y. and Duckstein, L.K. - Analytical study of the mechanics of scour for two and three-dimensional jet.
Colorado and M. College. Fort Collins, Colorado.
- 6 - Schoklitsh, A. - Amortiguación de la energía cinética en la hidráulica. Técnica, Vol. I, N.º. 1. Tucumán, Diciembre, 1950.
- 7 - Moore, W.L. - Energy loss at the base of a free overfall - Proceedings A.S.C.E., Vol. 67, N.º. 9. November, 1941.
- 8 - Doddiah, M.D. and others - Scour from jets. A.I.R.H., 1953.
- 9 - Hom-ma, M. - An experimental study on water fall - Proceedings Minnesota International Hydraulics Convention. September, 1953.
- 10 - Indri, E. - Ricerche sulle erosioni di alveo provocate da vena sfiorante de una diga ad arco. L'Energia Elettrica, N.º. 8, 1962.
- 11 - Li, W. - Criteria for similitude of scour below hydraulic structures. AIRH, 1955.

- 12 - Hydraulic Design of Stilling Basins and Bucket Energy Dissipators - Bureau of Reclamation. Denver, September, 1958.
- 13 - Maione, U. - Canali con portata uniformemente crescente. Memorie e studi dell' Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche - Milano, 1963.
- 14 - Maione, U. - Contributo sperimentali allo studio delle correnti con portata uniformemente crescente - Memorie e studi dell' Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche - Milano, 1963.
- 15 - Sassoli, F. - Canali collettori laterali a fonte pendenza. L'Energia Elettrica, N^o. 1, 1959.
- 16 - Leclaire, A. - Déviation d'un jet liquide par une plaque normale à son axe - La Houille Blanche, 1950, N^o.6.
- 17 - Rouse, H.-Seven Exploratory Studies in Hydraulics. Journal of Hydraulics Division. Proceedings of A.S.C.E., Vol. 82, N^o. HY4, August 1956.
- 18 - Blaisdell, F.W. - Equation of the free-falling nappe- Proceedings of A.S.C.E., Vol 80, Sep. N^o. 482. August, 1954.

ANEXO I

REGISTOS NUMÉRICOS OBTIDOS NOS ENSAIOS

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,4 \dots$

TIPO DE MURO-  (A)

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1 = 8$	$x_2 = 28$	l_{1-2}	$x_{1-2} = 18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
17,2	2	7,7	9,9	0,110	8,8	8,9	2	1
	3	9,8	12,8	0,150	11,3	11,5	3	
	4	11,6	14,5	0,145	13,0	13,8	3	
	5	12,7	16,1	0,170	14,4	15,6	4	
	6					17,6		
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3 = 40$	$x_4 = 60$	l_{3-4}	$x_{3-4} = 50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
30,0	2	11,0	12,5	0,075	11,8	11,4	3	3
	3	14,0	16,1	0,105	15,1	14,6	3	
	4	16,0	18,5	0,125	17,3	17,4	4	
	5	17,8	20,6	0,140	19,2	19,9	5	
	6					21,8		
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5 = 72$	$x_6 = 92$	l_{5-6}	$x_{5-6} = 82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
42,8	2	13,3	14,4	0,055	13,9	13,8	4	5
	3	17,2	18,9	0,095	18,1	17,4	4	
	4	19,7	21,7	0,100	20,7	20,4	5	
	5	22,0	24,2	0,110	23,1	23,3	6	
	6					26,1		

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,4 \dots$

TIPO DE MURO- (A)

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
30,0	2	10,7	12,3	0,080	11,5	11,4	2	1
	3	13,6	15,9	0,115	14,8	14,6	3	
	4	15,8	18,4	0,130	17,1	17,4	4	
	5	17,7	20,5	0,140	19,1	19,9	5	
	6					21,8		
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
42,8	2	13,2	14,8	0,080	14,0	13,8	3	3
	3	16,9	18,6	0,085	17,7	17,4	4	
	4	19,8	21,7	0,095	20,7	20,4	5	
	5	22,1	24,2	0,105	23,2	23,3	6	
	6					26,1		
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
42,8	2	12,9	14,3	0,070	13,6	13,8	2	1
	3	16,6	18,4	0,090	17,5	17,4	3	
	4	19,5	21,5	0,100	20,5	20,4	4	
	5	21,7	24,2	0,125	23,0	23,3	5	
	6					26,1		

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,34 \dots$

TIPO DE MURO- $\sqrt{A^3}$ (B)

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1 = 8$	$x_2 = 28$	l_{1-2}	$x_{1-2} = 18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
17,2	2	9,0	11,6	0,130	10,3	8,9	2	1
	3	12,0	15,3	0,165	13,7	11,5	3	
	4	14,50	17,9	0,170	16,2	13,8	4	
	5	15,0	19,4	0,220	17,2	15,6	5	
	6	17,7	21,7	0,200	19,7	17,6	5	
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3 = 40$	$x_4 = 60$	l_{3-4}	$x_{3-4} = 50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
30,0	2	13,0	14,8	0,090	13,9	11,4	3	3
	3	17,0	19,2	0,110	18,1	14,6	4	
	4	19,7	22,3	0,130	21,0	17,4	5	
	5	21,6	25,0	0,170	23,3	19,9	6	
	6	23,8	27,3	0,175	25,6	21,8	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5 = 72$	$x_6 = 92$	l_{5-6}	$x_{5-6} = 82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
42,8	2	15,6	16,4	0,040	16,0	13,8	3	5
	3	20,5	22,1	0,080	21,3	17,4	4	
	4	23,5	25,5	0,100	24,5	20,4	5	
	5	26,5	29,2	0,135	27,8	23,3	6	
	6	29,0	32,2	0,160	30,6	26,1	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,4 \dots$

TIPO DE MURO- \square^3 (B)

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
30,0	2	12,5	14,3	0,090	13,4	11,4	2	1
	3	15,8	18,3	0,125	17,1	14,6	2	
	4	18,9	21,9	0,150	20,4	17,4	4	
	5	20,8	24,5	0,185	22,7	19,9	5	
	6	22,7	27,7	0,250	25,2	21,8	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
42,8	2	15,0	16,2	0,060	15,6	13,8	2	3
	3	19,7	21,7	0,100	20,7	17,4	3	
	4	23,4	25,8	0,120	24,6	20,4	5	
	5	26,5	29,6	0,155	28,0	23,3	6	
	6	30,3	34,3	0,200	32,3	26,1	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
42,8	2	14,2	15,8	0,080	15,0	13,8	2	1
	3	18,2	20,5	0,115	19,4	17,4	3	
	4	21,4	24,6	0,160	23,0	20,4	4	
	5	24,5	27,3	0,140	25,9	23,3	5	
	6	27,5	30,3	0,140	28,9	26,1	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,4 \dots$

TIPO DE MURO- $\sqrt{A^2}$ (C)

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1 = 8$	$x_2 = 28$	l_{1-2}	$x_{1-2} = 18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
17,2	2	9,2	12,0	0,140	10,6	8,9	2	1
	3	12,2	15,2	0,150	13,7	11,5	2	
	4	14,9	18,5	0,180	16,7	13,8	3	
	5	17,3	20,9	0,180	19,1	15,6	4	
	6	18,9	23,3	0,220	21,1	17,6	5	
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3 = 40$	$x_4 = 60$	l_{3-4}	$x_{3-4} = 50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
30,0	2	13,2	15,2	0,100	14,2	11,4	2	3
	3	17,1	19,7	0,130	18,4	14,6	3	
	4	20,5	23,5	0,150	22,0	17,4	4	
	5	23,1	26,9	0,190	25,0	19,9	5	
	6	25,7	29,4	0,185	27,5	21,8	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5 = 72$	$x_6 = 92$	l_{5-6}	$x_{5-6} = 82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
42,8	2	16,2	17,2	0,050	16,7	13,8	3	5
	3	21,0	22,6	0,080	21,8	17,4	4	
	4	25,2	27,4	0,110	26,3	20,4	5	
	5	28,8	31,7	0,145	30,3	23,3	6	
	6	31,5	34,6	0,155	33,1	26,1	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = 0,4$

TIPO DE MURO- $\frac{A^2}{L}$ (C).....

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
30,0	2	12,4	14,4	0,100	13,4	11,4	2	1
	3	16,1	19,0	0,145	17,6	14,6	2	
	4	19,8	22,9	0,155	21,4	17,4	3	
	5	22,2	25,8	0,180	24,0	19,9	3	
	6	24,5	28,5	0,200	26,5	21,8	4	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
42,8	2	15,4	16,8	0,070	16,1	13,8	2	3
	3	20,4	21,8	0,070	21,1	17,4	3	
	4	24,3	26,3	0,100	25,3	20,4	3	
	5	27,7	30,5	0,140	29,1	23,3	4	
	6	30,4	33,1	0,135	31,8	26,1	5	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
42,8	2	14,7	16,5	0,090	15,6	13,8	2	1
	3	18,8	21,2	0,120	20,0	17,4	2	
	4	22,8	26,2	0,170	24,5	20,4	3	
	5	25,7	29,9	0,210	27,8	23,3	4	
	6	29,2	33,6	0,220	31,4	26,1	5	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = 0,5$

TIPO DE MURO- (A)

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
35,0	2	11,8	13,7	0,095	12,7	12,4	3	1
	3	15,1	17,1	0,100	16,1	15,7	4	
	4	17,3	20,1	0,140	18,7	18,8	4	
	5	19,5	22,6	0,155	21,0	21,4	5	
	6	21,9	25,3	0,170	23,6	23,5	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
51,0	2	14,8	16,3	0,075	15,6	14,9	4	3
	3	18,1	20,1	0,100	19,1	19,0	4	
	4	21,6	23,8	0,110	22,7	22,3	5	
	5	24,4	27,2	0,140	25,8	25,4	6	
	6	27,2	30,6	0,170	28,9	28,2	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
51,0	2	14,8	16,2	0,070	15,5	14,9	3	1
	3	18,2	20,2	0,100	19,2	19,0	3	
	4	21,2	23,6	0,120	22,4	22,3	4	
	5	23,8	26,6	0,140	25,2	25,4	5	
	6	26,4	29,4	0,150	27,9	28,2	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $tg \alpha = \dots 0,5 \dots$

TIPO DE MURO- $\square A^3$ (B)

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1 = 8$	$x_2 = 28$	i_{1-2}	$x_{1-2} = 18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
19,0	2	8,9	12,6	0,185	10,8	9,4	2	1
	3	11,3	15,9	0,230	13,6	11,9	3	
	4	14,2	20,5	0,315	17,4	14,3	4	
	5	16,5	23,5	0,350	20,0	16,0	5	
	6	18,6	25,4	0,340	22,0	17,7	6	
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3 = 40$	$x_4 = 60$	i_{3-4}	$x_{3-4} = 50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
35,0	2	14,3	15,8	0,075	15,0	12,4	3	3
	3	18,0	21,1	0,155	19,5	16,4	4	
	4	23,1	26,5	0,170	24,8	18,8	5	
	5	26,5	30,5	0,200	28,5	21,4	6	
	6	28,5	32,5	0,200	30,5	23,5	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5 = 72$	$x_6 = 92$	i_{5-6}	$x_{5-6} = 82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
51,0	2	16,7	17,7	0,050	17,2	14,9	3	5
	3	22,5	23,9	0,070	23,2	19,0	4	
	4	27,6	28,6	0,050	28,1	22,3	5	
	5	32,0	33,4	0,070	32,7	25,4	6	
	6	30,0	33,0	0,150	31,5	28,2	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $tg \alpha = \dots 0,5 \dots$

TIPO DE MURO- \square (B)


\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
35,0	2	12,6	16,6	0,200	14,6	12,4	2	1
	3	16,5	21,2	0,235	18,8	15,7	3	
	4	19,8	25,1	0,265	22,4	18,8	3	
	5	22,4	29,3	0,345	25,8	21,4	4	
	6	24,8	31,6	0,340	28,2	23,5	5	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
51,0	2	17,8	18,6	0,040	18,2	14,9	2	3
	3	23,2	25,4	0,110	24,3	19,0	3	
	4	27,2	29,9	0,135	28,5	22,3	4	
	5	31,8	34,7	0,145	33,2	25,4	5	
	6	33,8	36,6	0,140	35,2	28,2	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
51,0	2	15,3	18,3	0,150	16,8	14,9	2	1
	3	20,3	23,9	0,180	22,1	19,0	3	
	4	24,2	28,6	0,220	26,4	22,3	4	
	5	27,3	32,3	0,250	29,8	25,4	5	
	6	29,9	36,1	0,310	33,0	28,2	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,5 \dots$

TIPO DE MURO- $\sqrt{A^2}$ (C)

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1=8$	$x_2=28$	i_{1-2}	$x_{1-2}=18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
19,0	2	9,6	13,6	0,200	11,6	9,4	2	1
	3	12,8	17,6	0,240	15,2	12,1	2	
	4	14,5	20,8	0,315	17,6	14,3	3	
	5	16,8	24,2	0,370	20,5	16,0	4	
	6	19,6	27,8	0,410	23,7	17,7	5	
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
35,0	2	15,4	17,1	0,085	16,2	12,4	2	3
	3	19,6	22,1	0,125	20,8	15,7	3	
	4	23,6	27,6	0,200	25,6	18,8	4	
	5	27,0	30,8	0,190	28,9	21,4	5	
	6	31,0	35,5	0,225	33,2	23,5	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
51,0	2	17,8	18,8	0,050	18,3	14,9	3	5
	3	23,1	24,1	0,050	23,6	19,0	3	
	4	29,1	30,8	0,085	30,0	22,3	4	
	5	31,9	33,7	0,090	32,8	25,4	5	
	6	37,0	39,0	0,100	38,0	28,2	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $tg \alpha = \dots 0,5 \dots$

TIPO DE MURO-  (C)

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
35,0	2	13,3	16,5	0,160	14,9	12,4	2	1
	3	16,7	21,1	0,220	18,9	15,7	2	
	4	20,2	25,5	0,265	22,8	18,8	3	
	5	23,9	30,7	0,340	27,3	21,4	4	
	6	25,9	32,5	0,330	29,2	23,5	5	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
51,0	2	17,7	18,9	0,060	18,3	14,9	2	3
	3	22,6	24,0	0,070	23,3	19,0	3	
	4	27,2	29,2	0,100	28,2	22,3	4	
	5	32,8	35,6	0,140	34,2	25,4	5	
	6	34,9	37,9	0,150	36,4	28,2	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
51,0	2	15,9	19,3	0,170	17,6	14,9	2	1
	3	20,5	24,5	0,200	22,5	19,0	3	
	4	24,1	29,7	0,280	26,9	22,3	4	
	5	28,7	35,9	0,360	32,3	25,4	5	
	6	31,4	38,4	0,350	34,9	28,2	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $tg \alpha = 0,6$

TIPO DE MURO- (A).....

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1=8$	$x_2=28$	i_{1-2}	$x_{1-2}=18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
20,8	2	8,3	11,3	0,150	9,8	9,6	2	1
	3	10,2	14,0	0,190	12,1	12,3	3	
	4	12,2	16,5	0,215	14,4	14,7	5	
	5	13,1	18,9	0,290	16,0	16,6	6	
	6							
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
40,0	2	12,7	14,9	0,110	13,8	13,1	3	3
	3	16,0	18,7	0,135	17,4	16,7	4	
	4	18,7	22,5	0,190	20,6	19,6	5	
	5	21,4	25,2	0,190	23,3	22,3	6	
	6							
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
59,2	2	15,9	17,4	0,075	16,6	15,9	3	5
	3	20,2	22,4	0,110	21,3	20,3	4	
	4	24,4	27,8	0,170	26,1	23,7	5	
	5	27,0	30,0	0,150	28,5	26,9	6	
	6							

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = 0,6$

TIPO DE MURO- (A)

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
40,0	2	12,1	14,4	0,110	13,3	13,1	2	1
	3	15,4	18,4	0,150	16,9	16,7	3	
	4	18,4	21,7	0,165	20,0	19,6	3	
	5	20,5	24,1	0,180	22,3	22,3	4	
	6	22,6	27,0	0,220	24,8	24,6	5	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
59,2	2	15,8	18,0	0,110	16,9	15,9	2	3
	3	20,0	22,6	0,130	21,3	20,3	3	
	4	23,5	26,3	0,140	24,9	23,7	4	
	5	26,3	29,7	0,170	28,0	26,9	5	
	6	29,4	33,6	0,190	31,3	29,6	5	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
59,2	2	15,0	17,0	0,100	16,0	15,9	2	1
	3	19,3	22,0	0,135	20,6	20,3	3	
	4	22,6	24,1	0,150	25,6	23,7	4	
	5	25,6	29,2	0,180	27,4	26,9	5	
	6	28,0	32,0	0,200	30,0	29,6	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $tg \alpha = \dots 0,6 \dots$

TIPO DE MURO- \square^3 (B) $\dots \dots \dots$

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1 = 8$	$x_2 = 28$	i_{1-2}	$x_{1-2} = 18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
20,8	2	9,3	13,8	0,225	11,6	9,6	2	1
	3	12,8	18,8	0,300	15,8	12,3	3	
	4	14,8	22,6	0,390	18,7	14,7	3	
	5	17,3	24,7	0,370	21,0	16,6	4	
	6	19,1	26,1	0,350	22,6	18,7	5	
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3 = 40$	$x_4 = 60$	i_{3-4}	$x_{3-4} = 50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
40,0	2	15,2	16,9	0,085	16,0	13,1	2	3
	3	20,7	23,4	0,135	22,0	16,7	3	
	4	24,6	27,3	0,135	25,9	19,6	4	
	5	27,3	30,3	0,150	28,8	22,3	5	
	6	29,5	33,3	0,190	31,4	24,6	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5 = 72$	$x_6 = 92$	i_{5-6}	$x_{5-6} = 82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
59,2	2	17,7	18,9	0,060	18,3	15,9	2	5
	3	24,8	26,8	0,100	25,8	20,3	3	
	4	28,4	29,6	0,060	29,0	23,7	4	
	5	32,0	34,2	0,110	33,1	26,9	5	
	6	35,2	38,5	0,165	36,8	29,6	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,6 \dots$

TIPO DE MURO- $\square A^3$ (B) $\dots \dots \dots$

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
40,0	2	13,6	16,9	0,165	15,3	13,1	2	1
	3	17,4	21,4	0,200	19,4	16,7	2	
	4	20,9	25,7	0,240	23,3	19,6	3	
	5	23,4	29,2	0,290	26,3	22,3	4	
	6	26,3	33,3	0,350	29,8	24,6	4	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
59,2	2	18,1	18,9	0,040	18,5	15,9	2	3
	3	23,2	25,2	0,100	24,2	20,3	3	
	4	27,9	30,8	0,145	29,3	23,7	3	
	5	31,5	34,7	0,160	33,1	26,9	4	
	6	36,0	39,4	0,170	37,7	29,6	5	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
59,2	2	16,4	19,0	0,130	17,7	15,9	2	1
	3	20,8	24,3	0,175	22,5	20,3	2	
	4	24,6	28,4	0,190	26,5	23,7	3	
	5	28,6	33,2	0,230	30,9	26,9	3	
	6	31,4	36,8	0,270	34,1	29,6	4	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,6 \dots$

TIPO DE MURO- $\sqrt{A^2}$ (C)

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1 = 8$	$x_2 = 28$	l_{1-2}	$x_{1-2} = 18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
20,8	2	10,0	14,2	0,210	12,1	9,6	2	1
	3	12,5	18,5	0,300	15,5	12,3	2	
	4	15,9	19,2	0,330	22,5	14,7	3	
	5	18,8	27,0	0,410	22,9	16,6	4	
	6	20,7	29,6	0,445	25,2	18,7	5	
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3 = 40$	$x_4 = 60$	l_{3-4}	$x_{3-4} = 50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
40,0	2	16,0	18,2	0,110	17,1	13,1	2	3
	3	20,7	23,3	0,130	22,0	16,7	3	
	4	25,5	28,3	0,140	26,9	19,6	4	
	5	29,6	32,7	0,155	31,2	22,3	5	
	6	33,0	36,5	0,175	34,7	24,6	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5 = 72$	$x_6 = 92$	l_{5-6}	$x_{5-6} = 82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
59,2	2	19,0	19,8	0,040	19,4	15,9	2	5
	3	24,0	25,3	0,065	24,6	20,3	3	
	4	29,4	30,6	0,060	30,0	23,7	4	
	5	33,8	34,8	0,050	34,3	26,9	5	
	6	37,8	38,8	0,050	38,3	29,6	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,6 \dots$

TIPO DE MURO- $\square \frac{1}{2}$ (C) $\dots \dots \dots$

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
40,0	2	13,6	17,0	0,170	15,3	13,1	2	1
	3	17,3	22,1	0,240	19,7	16,7	2	
	4	21,1	26,7	0,280	23,9	19,6	3	
	5	23,8	31,0	0,360	27,4	22,3	3	
	6	27,1	34,7	0,380	30,9	24,6	4	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
59,2	2	18,0	19,2	0,060	18,6	15,9	2	3
	3	23,7	25,7	0,100	24,7	20,3	3	
	4	28,2	30,2	0,100	29,2	23,7	3	
	5	33,0	34,8	0,090	33,9	26,9	4	
	6	37,6	40,2	0,130	38,9	29,6	5	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
59,2	2	16,4	19,2	0,140	17,8	15,9	2	1
	3	21,4	25,2	0,190	23,3	20,3	2	
	4	25,4	29,8	0,220	27,6	23,7	3	
	5	28,5	33,9	0,270	31,2	26,9	3	
	6	32,0	38,0	0,300	35,0	29,6	4	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots\dots\dots 0,7\dots$

TIPO DE MURO- (A)

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1 = 8$	$x_2 = 28$	i_{1-2}	$x_{1-2} = 18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_o}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
22,6	2	8,3	11,6	0,165	10,0	9,6	3	1
	3	10,7	14,9	0,210	12,8	12,5	3	
	4	12,3	17,2	0,245	14,8	15,0	4	
	5	14,1	19,1	0,250	16,6	17,0	6	
	6					19,4		
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3 = 40$	$x_4 = 60$	i_{3-4}	$x_{3-4} = 50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_o}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
45,0	2	13,2	15,4	0,110	14,3	13,3	4	3
	3	16,7	18,9	0,110	18,0	17,3	5	
	4	19,5	22,2	0,135	20,9	20,4	5	
	5	21,6	24,9	0,165	23,3	23,0	6	
	6					25,6		
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5 = 72$	$x_6 = 92$	i_{5-6}	$x_{5-6} = 82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_o}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
67,4	2	16,4	17,2	0,040	16,8	16,2	5	5
	3	20,3	22,2	0,095	21,3	21,1	5	
	4	23,9	26,3	0,120	25,1	24,9	6	
	5	26,9	29,4	0,125	28,2	27,7	6	
	6					30,8		

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $tg \alpha = \dots 0,7 \dots$

TIPO DE MURO- (A)

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
45,0	2	12,6	14,8	0,110	13,7	13,3	3	1
	3	16,4	19,1	0,135	17,8	17,3	4	
	4	19,1	22,5	0,170	20,8	20,4	4	
	5	21,6	25,0	0,170	23,3	23,1	5	
	6	23,9	27,6	0,185	25,7	25,6	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
67,4	2	15,8	17,1	0,065	16,4	16,2	4	3
	3	20,4	22,6	0,110	21,5	21,1	5	
	4	24,0	26,2	0,110	25,1	24,9	6	
	5	27,0	30,1	0,155	28,5	27,8	6	
	6	29,7	32,8	0,155	31,2	30,8	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
67,4	2	15,5	17,5	0,100	16,5	16,2	3	1
	3	20,2	22,7	0,125	21,5	21,1	4	
	4	23,6	26,5	0,145	25,0	24,9	4	
	5	26,8	30,2	0,170	28,5	27,8	5	
	6	29,6	33,0	0,170	31,3	30,8	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,7 \dots$

TIPO DE MURO- \square^3 (B)

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1 = 8$	$x_2 = 28$	i_{1-2}	$x_{1-2} = 18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
22,6	2	9,3	13,5	0,210	11,4	9,6	2	1
	3	12,8	17,0	0,210	14,9	12,5	3	
	4	15,1	20,7	0,280	17,9	15,0	4	
	5	17,2	22,7	0,275	20,0	17,0	4	
	6	20,0	26,2	0,310	23,1	19,4	5	
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3 = 40$	$x_4 = 60$	i_{3-4}	$x_{3-4} = 50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
45,0	2	15,4	17,5	0,105	16,5	13,3	2	3
	3	18,8	20,8	0,100	19,8	17,3	4	
	4	22,9	25,6	0,135	24,3	20,4	5	
	5	25,4	29,1	0,185	27,3	23,0	5	
	6	28,9	31,8	0,145	30,3	25,6	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5 = 72$	$x_6 = 92$	i_{5-6}	$x_{5-6} = 82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
67,4	2	18,2	18,6	0,020	18,4	16,2	3	5
	3	21,9	23,7	0,090	22,8	21,1	5	
	4	27,1	29,4	0,115	28,3	24,9	6	
	5	31,2	34,2	0,150	32,7	27,7	6	
	6	33,5	36,4	0,145	34,9	30,8	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,7 \dots$

TIPO DE MURO- \square^3 (B)

\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_o}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
45,0	2	13,9	16,1	0,160	15,5	13,3	3	1
	3	18,4	22,8	0,220	20,6	17,3	3	
	4	20,8	26,2	0,270	23,5	20,4	4	
	5	23,4	29,3	0,295	26,4	23,0	5	
	6	27,2	34,8	0,380	31,0	25,6	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_o}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
67,4	2	18,2	19,1	0,045	18,6	16,2	3	3
	3	24,5	25,2	0,035	24,8	21,1	4	
	4	28,2	30,6	0,120	29,4	24,9	4	
	5	31,7	35,0	0,165	33,3	27,7	6	
	6	36,8	40,0	0,160	38,4	30,8	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_o}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
67,4	2	17,0	19,4	0,120	18,2	16,2	3	1
	3	21,7	25,5	0,190	23,6	21,1	3	
	4	25,2	30,6	0,270	27,9	24,9	4	
	5	28,9	34,5	0,280	31,7	27,7	5	
	6	32,3	38,6	0,315	35,4	30,8	6	

INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,7 \dots$

TIPO DE MURO- $\sqrt{A^2}$ (C)

\bar{H}_{1-2} (cm)	h (cm)	$x_1 = 8$	$x_2 = 28$	l_{1-2}	$x_{1-2} = 18$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_1 (cm)	y_2 (cm)		y_{1-2} (cm)	y'_{1-2} (cm)		
22,6	2	9,9	14,2	0,215	12,1	9,6	2	1
	3	13,4	18,5	0,255	15,9	12,5	3	
	4	15,6	22,5	0,345	19,1	15,0	4	
	5	20,2	26,6	0,320	23,4	17,0	5	
	6	21,7	30,3	0,430	26,0	19,4	6	
\bar{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3 = 40$	$x_4 = 60$	l_{3-4}	$x_{3-4} = 50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
45,0	2	16,1	18,2	0,105	17,2	13,3	2	3
	3	21,0	24,0	0,150	22,5	17,3	3	
	4	25,6	29,0	0,180	27,3	20,4	5	
	5	29,4	32,1	0,135	30,8	23,0	5	
	6	33,4	37,1	0,185	35,3	25,6	6	
\bar{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5 = 72$	$x_6 = 92$	l_{5-6}	$x_{5-6} = 82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
67,4	2	19,2	20,6	0,070	19,9	16,2	3	5
	3	25,2	26,0	0,040	25,6	21,1	4	
	4	30,2	30,7	0,025	30,5	24,9	5	
	5	33,5	35,5	0,100	34,5	27,7	6	
	6	38,3	39,1	0,040	38,7	30,8	6	

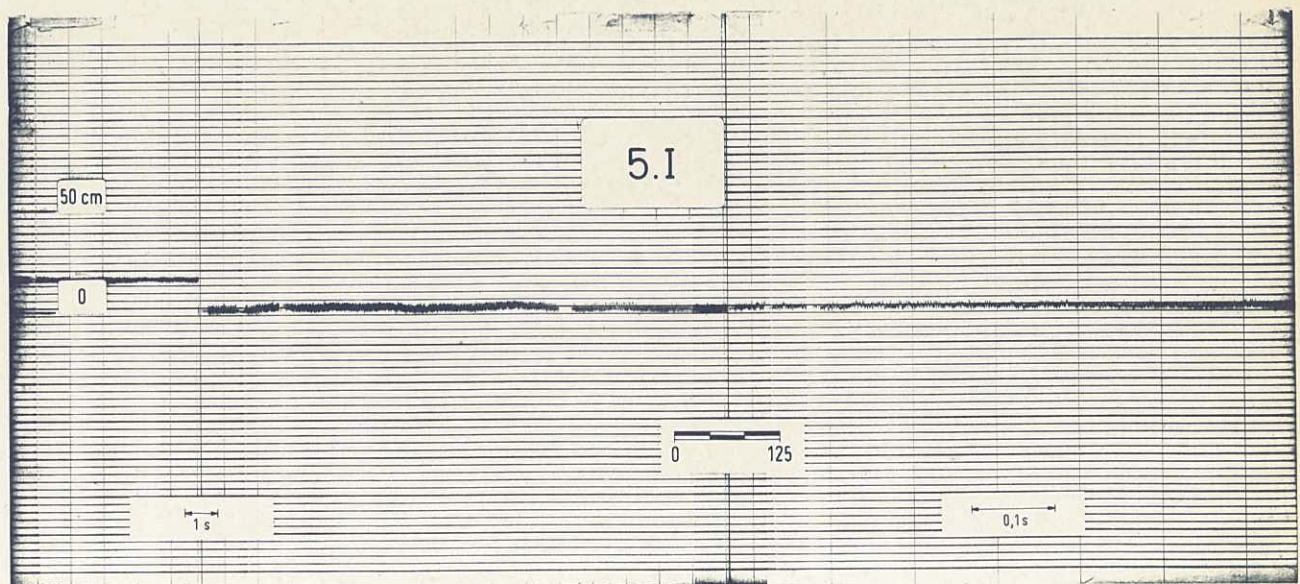
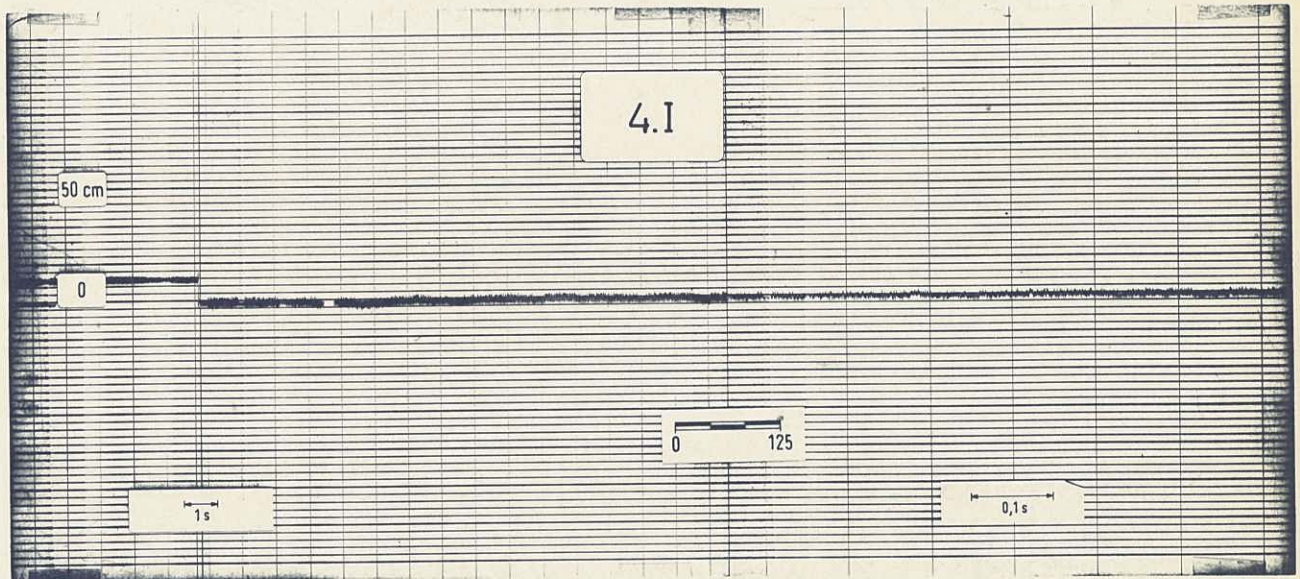
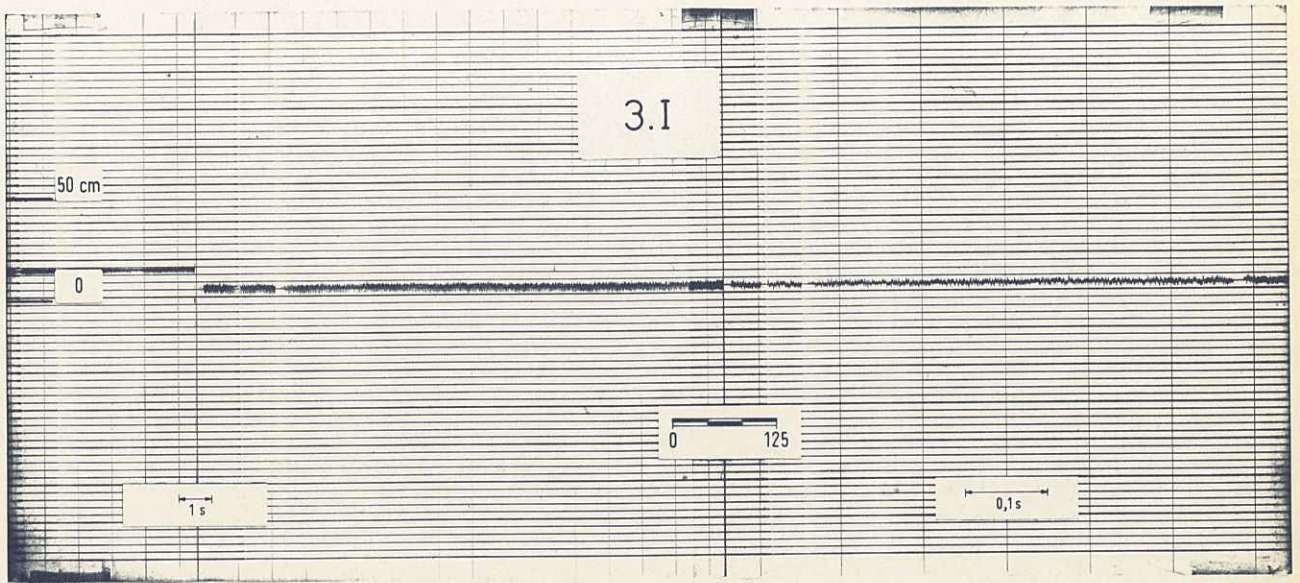
INCLINAÇÃO DA ENCOSTA- $\text{tg } \alpha = \dots 0,7 \dots$

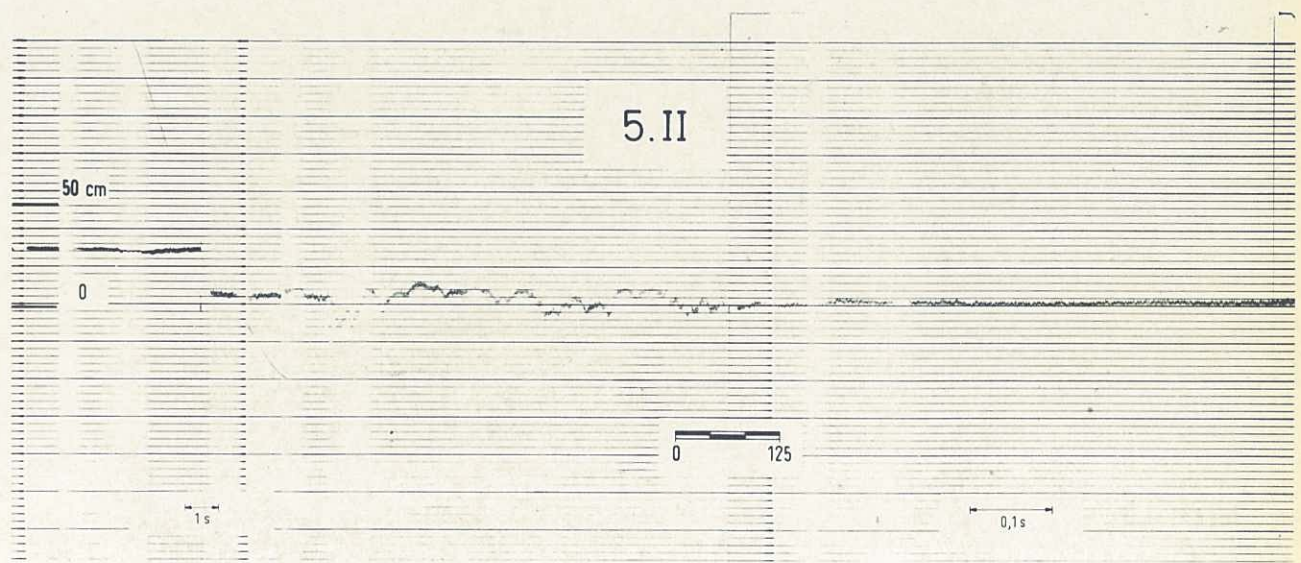
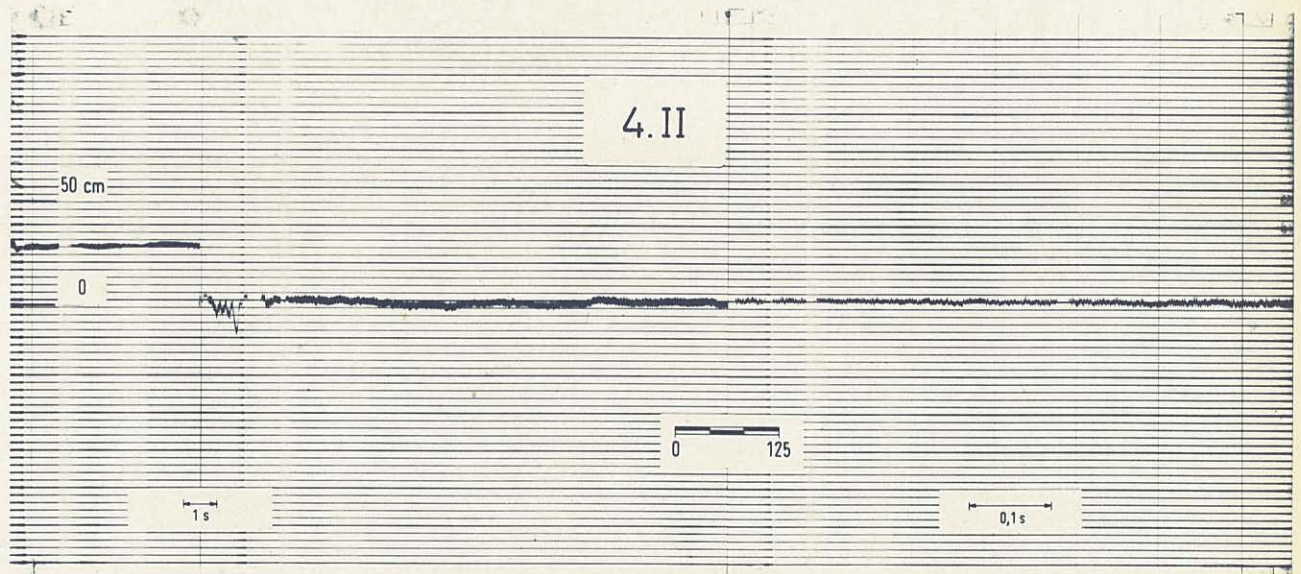
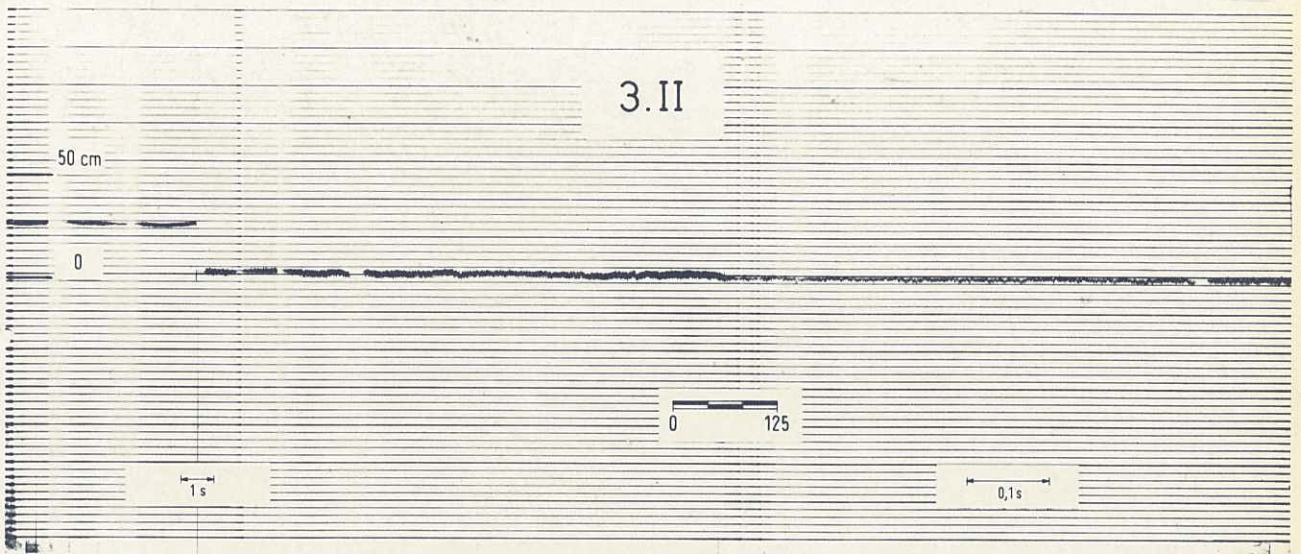
TIPO DE MURO- $\frac{1}{2}$ (C)

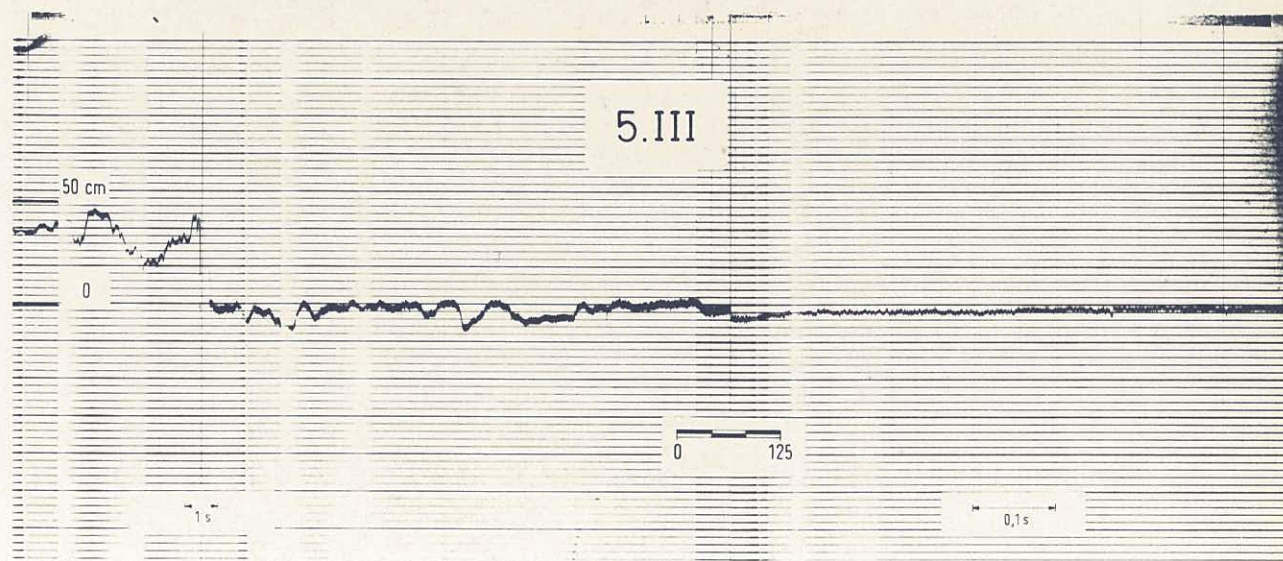
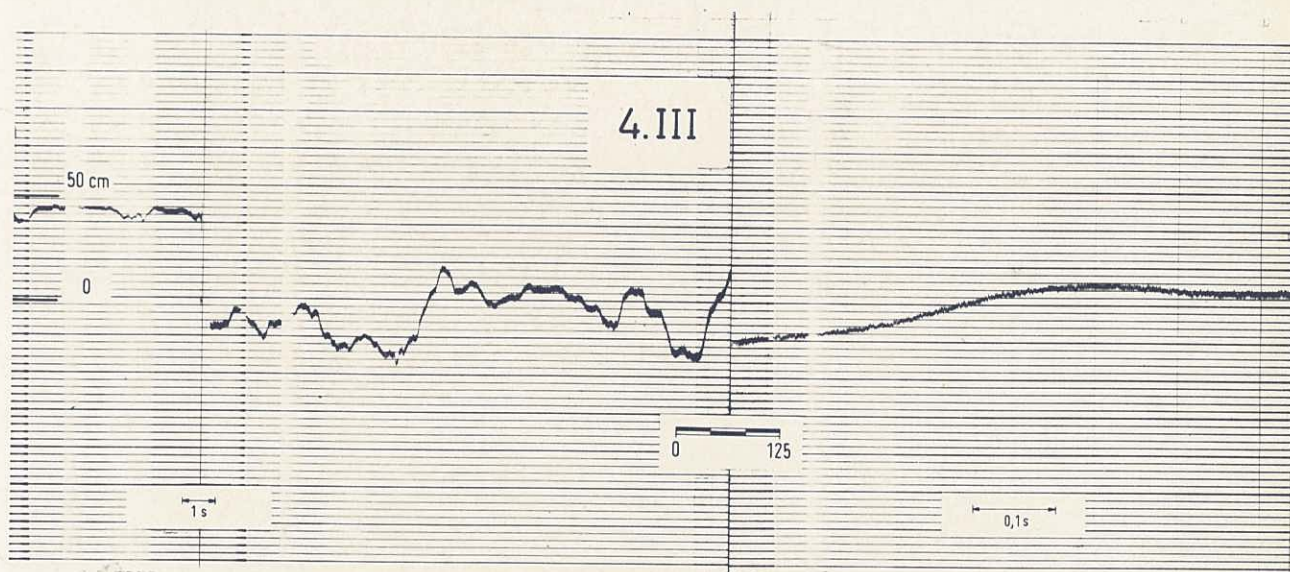
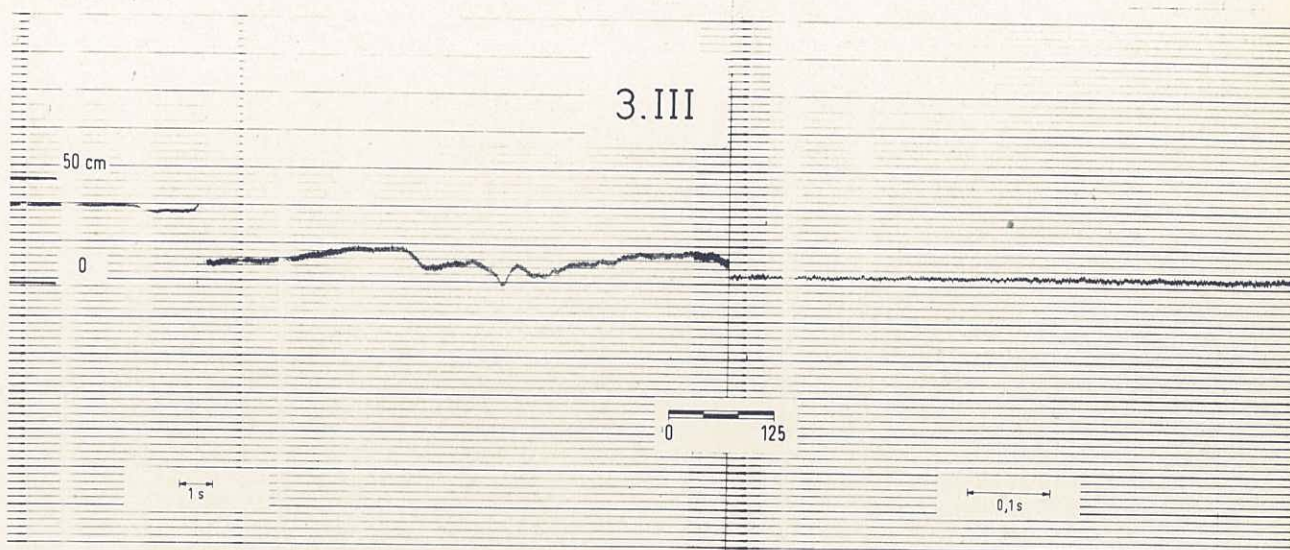
\overline{H}_{3-4} (cm)	h (cm)	$x_3=40$	$x_4=60$	i_{3-4}	$x_{3-4}=50$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_3 (cm)	y_4 (cm)		y_{3-4} (cm)	y'_{3-4} (cm)		
45,0	2	14,6	17,6	0,150	16,1	13,3	2	1
	3	18,2	22,6	0,220	20,4	17,3	2	
	4	21,5	27,9	0,320	24,7	20,4	3	
	5	24,7	31,6	0,345	28,2	23,0	4	
	6	27,8	35,8	0,400	31,8	25,6	5	
\overline{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
67,4	2	18,8	20,4	0,080	19,6	16,2	2	3
	3	24,0	25,6	0,080	24,8	21,1	3	
	4	29,5	30,5	0,050	30,0	24,9	4	
	5	33,0	34,1	0,055	33,6	27,7	5	
	6	38,3	40,2	0,095	39,3	30,8	6	
\overline{H}_{5-6} (cm)	h (cm)	$x_5=72$	$x_6=92$	i_{5-6}	$x_{5-6}=82$		d (cm)	$\frac{Q_m}{Q_0}$
		y_5 (cm)	y_6 (cm)		y_{5-6} (cm)	y'_{5-6} (cm)		
67,4	2	17,5	20,3	0,140	18,9	16,2	2	1
	3	22,6	27,2	0,230	24,9	21,1	3	
	4	26,1	32,1	0,300	29,1	24,9	3	
	5	30,5	37,9	0,370	34,2	27,7	4	
	6	34,4	41,7	0,365	38,1	30,8	5	

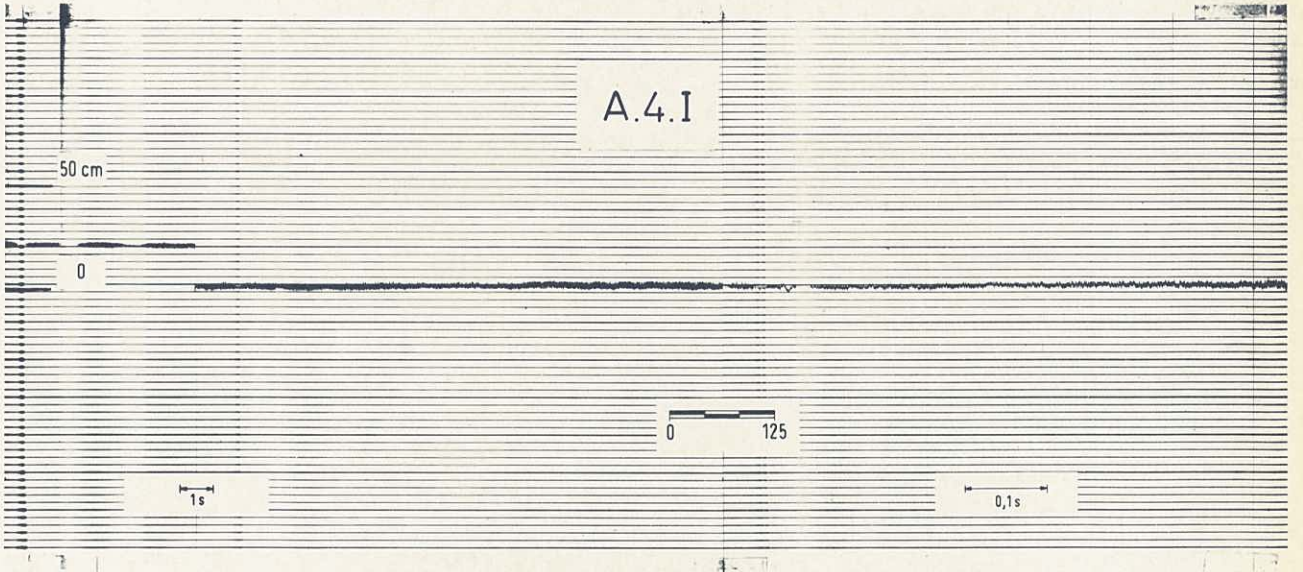
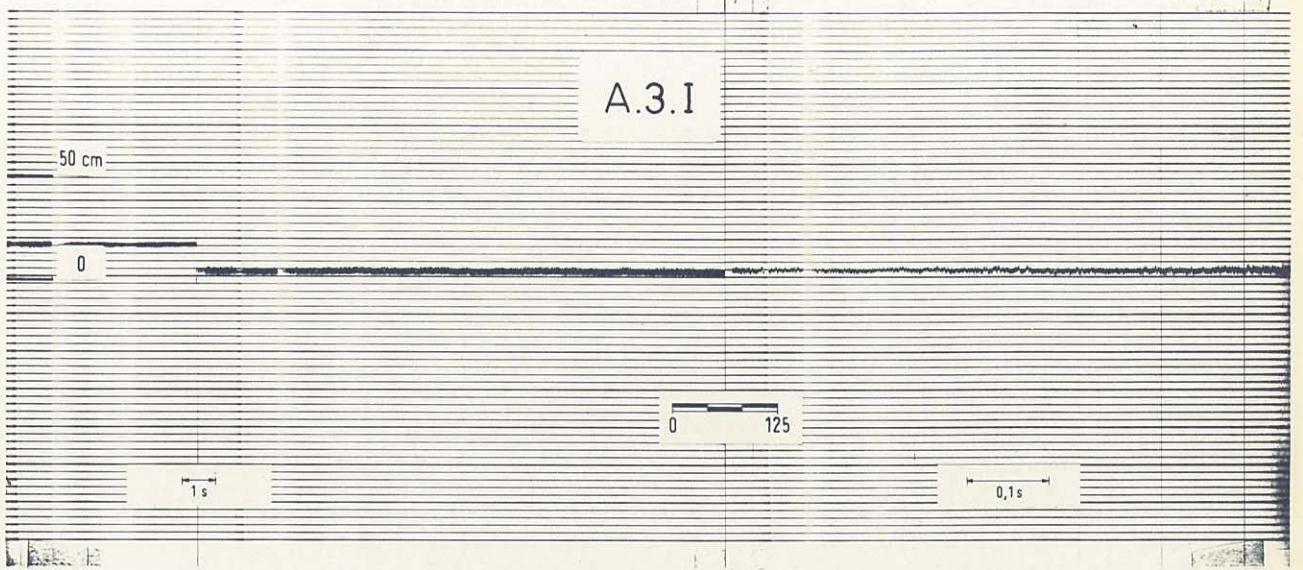
ANEXO II

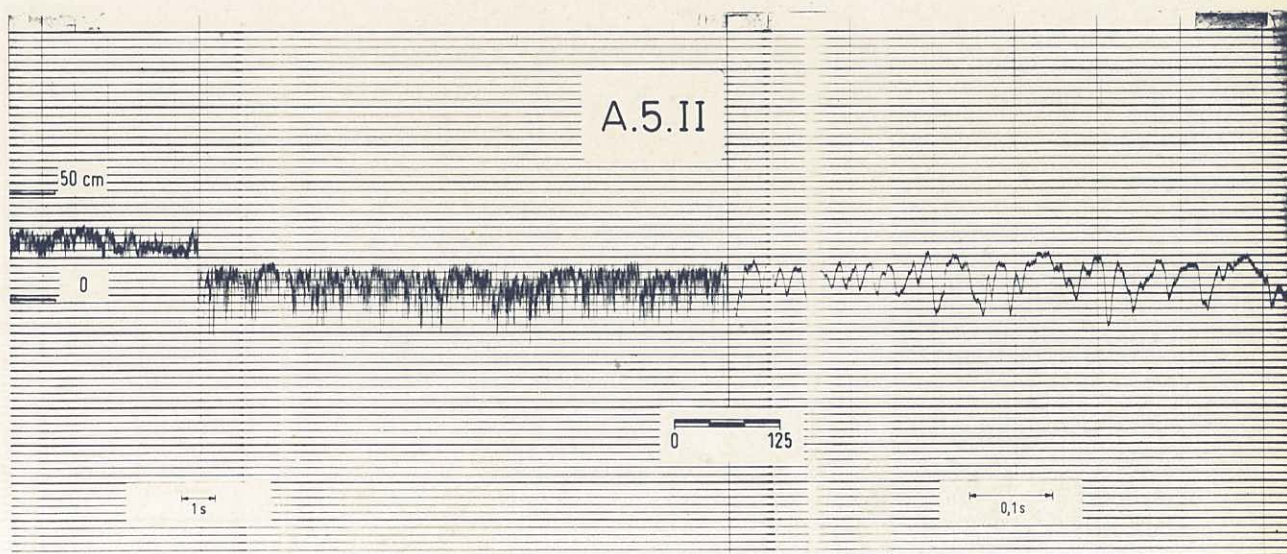
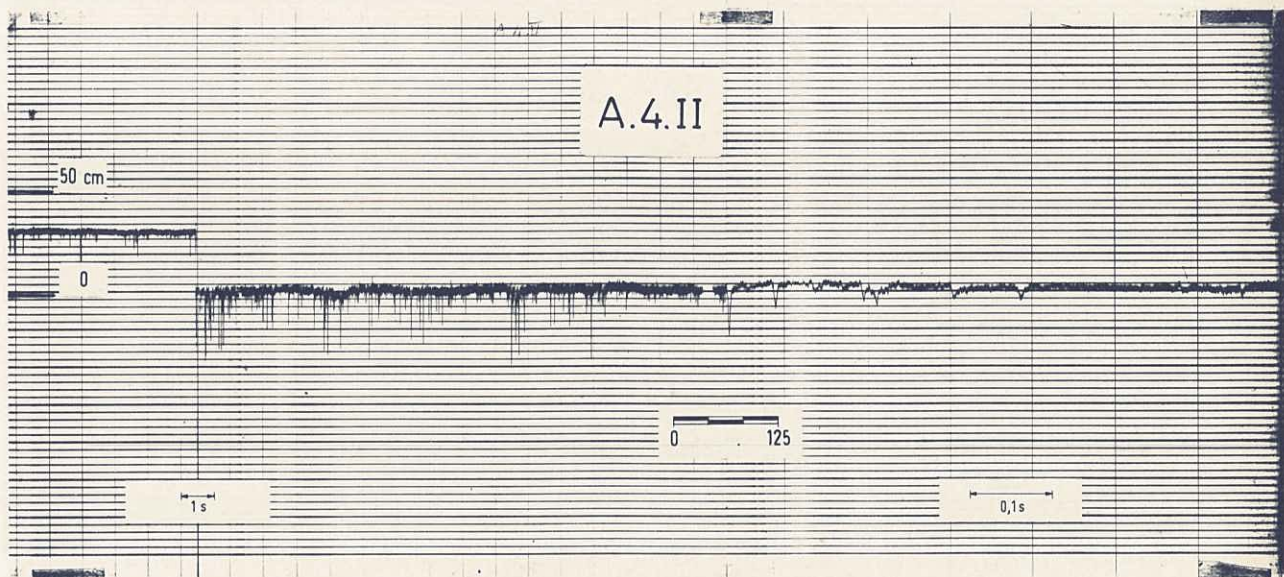
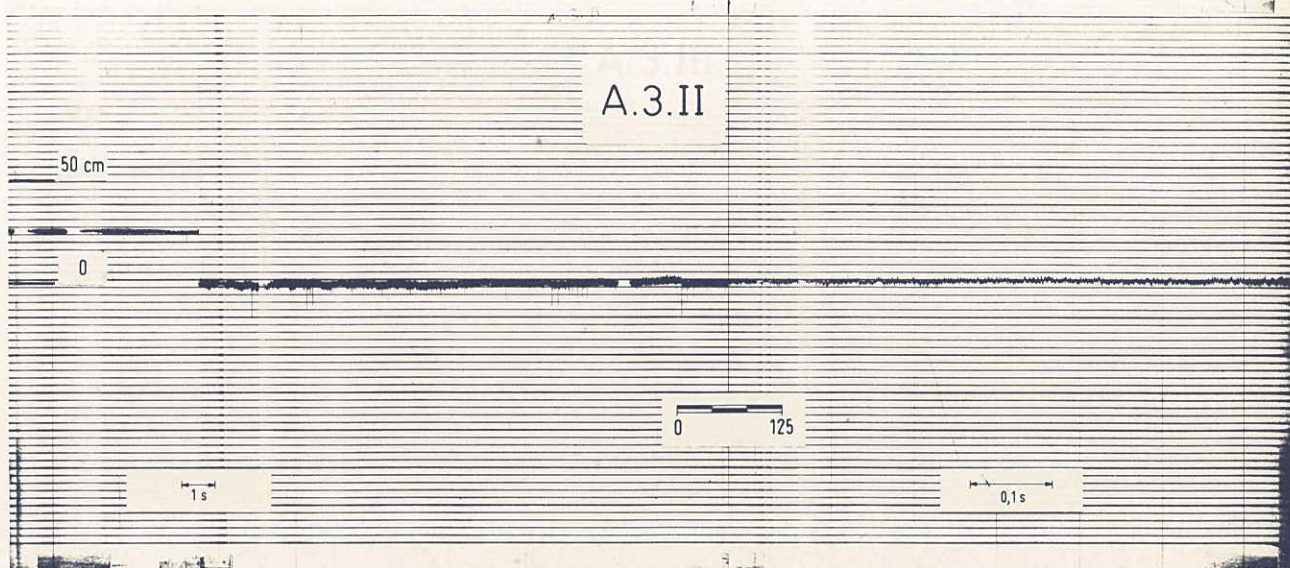
REGISTOS DAS FLUTUAÇÕES DE PRESSÃO

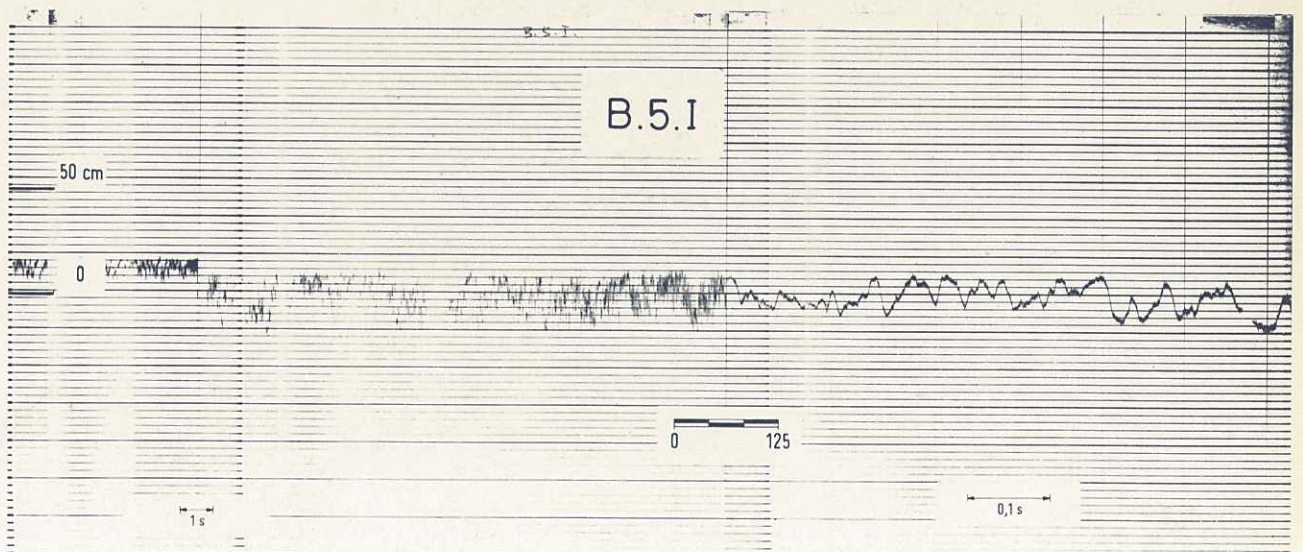
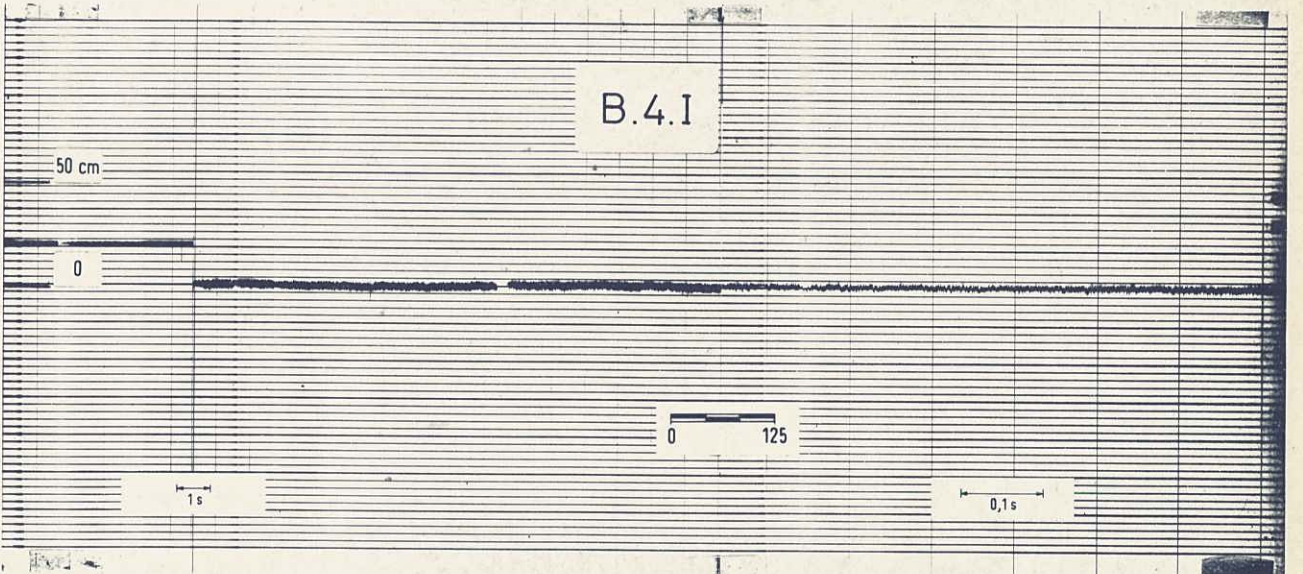
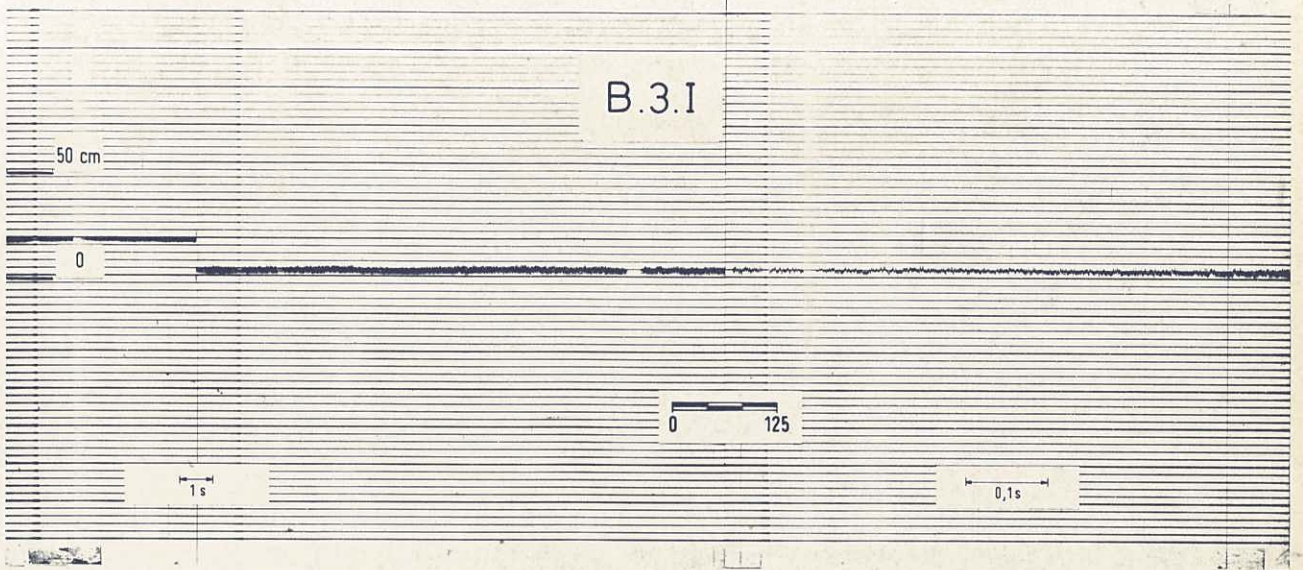


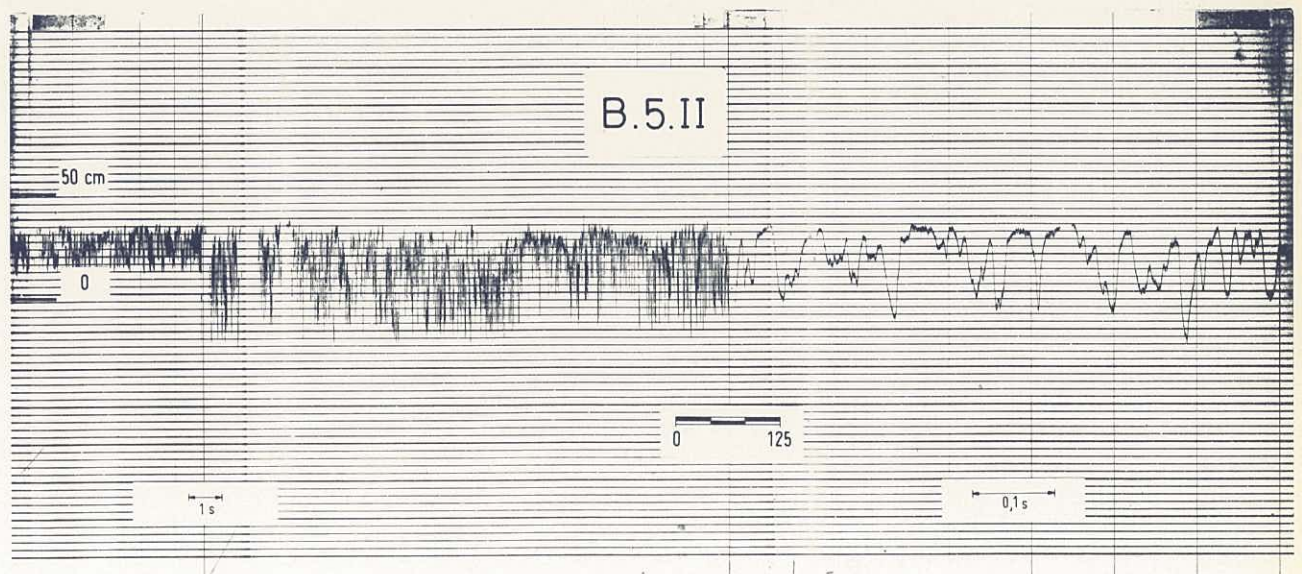
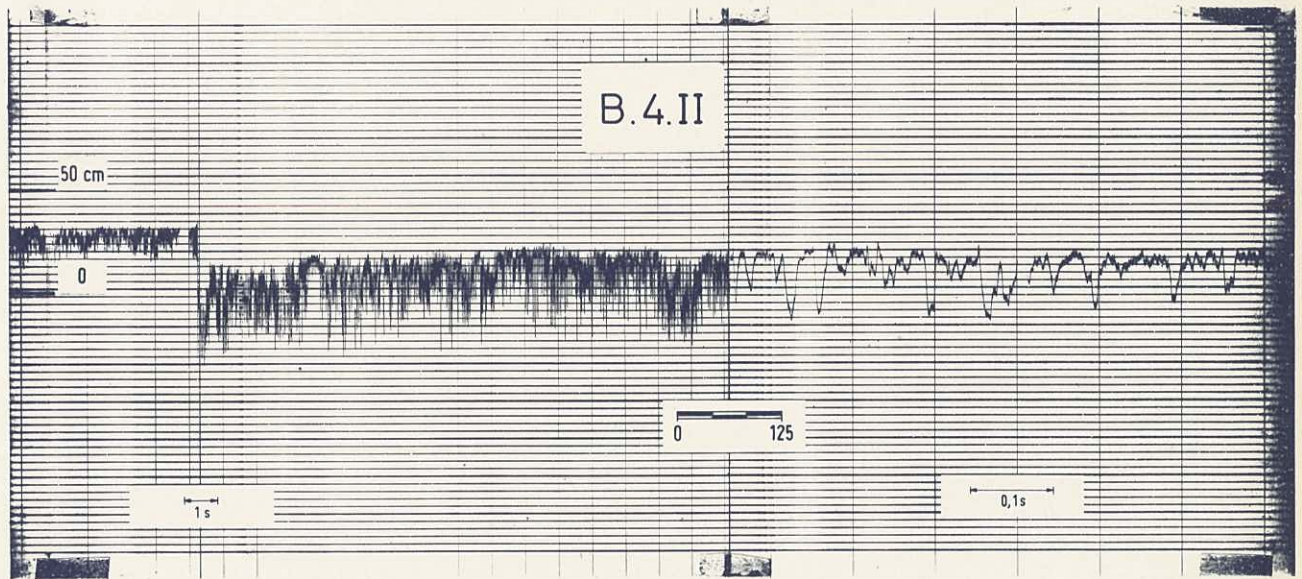
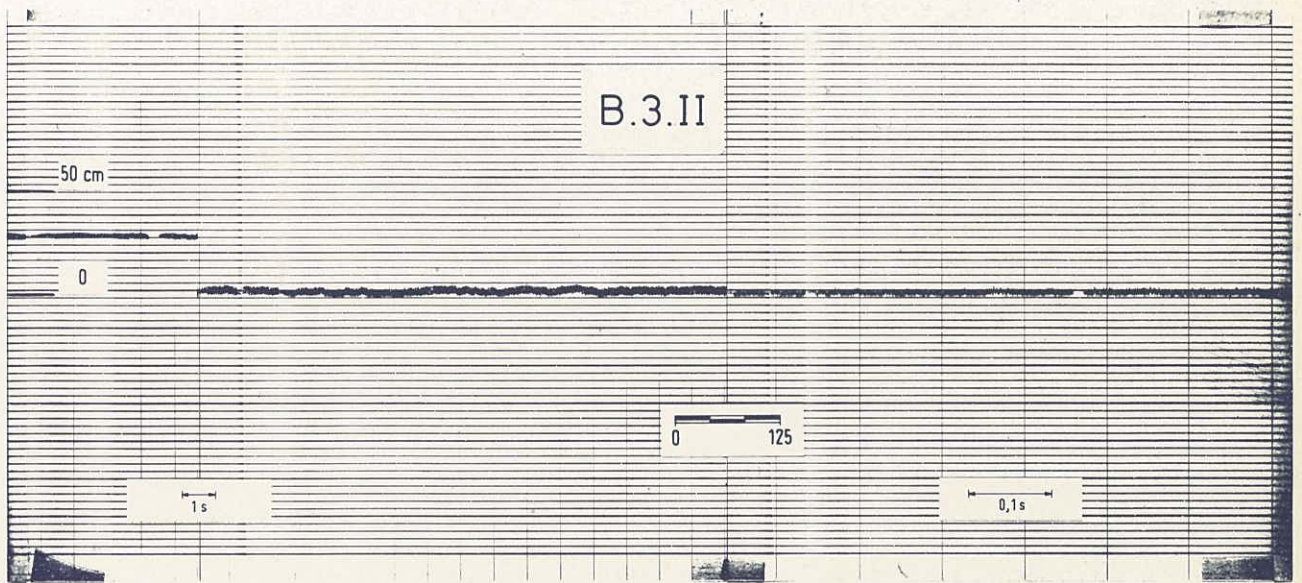


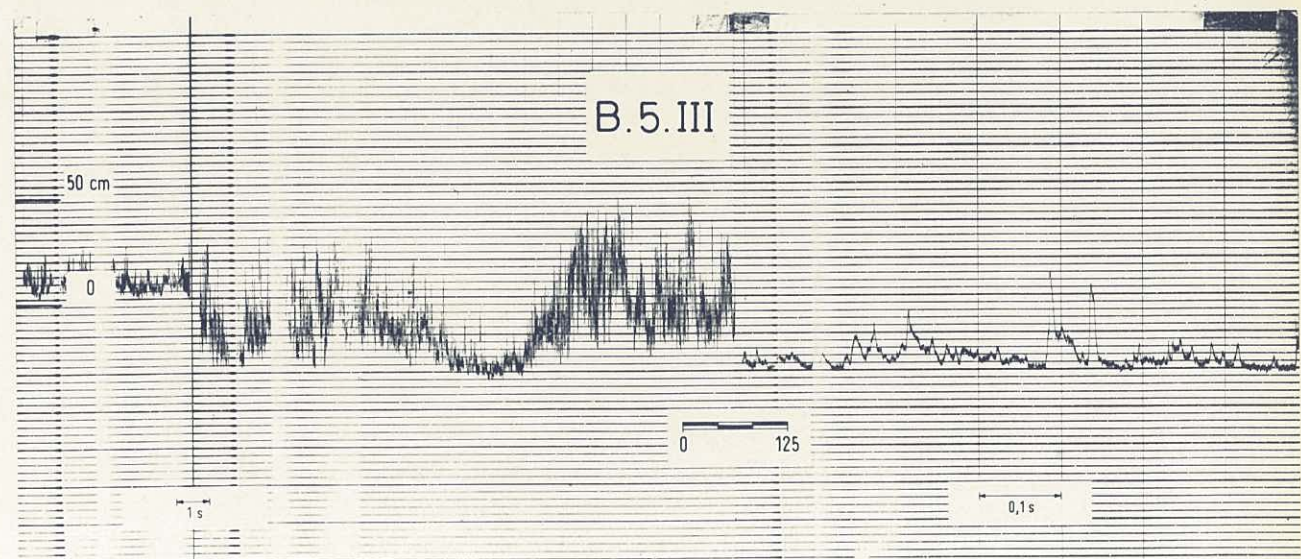
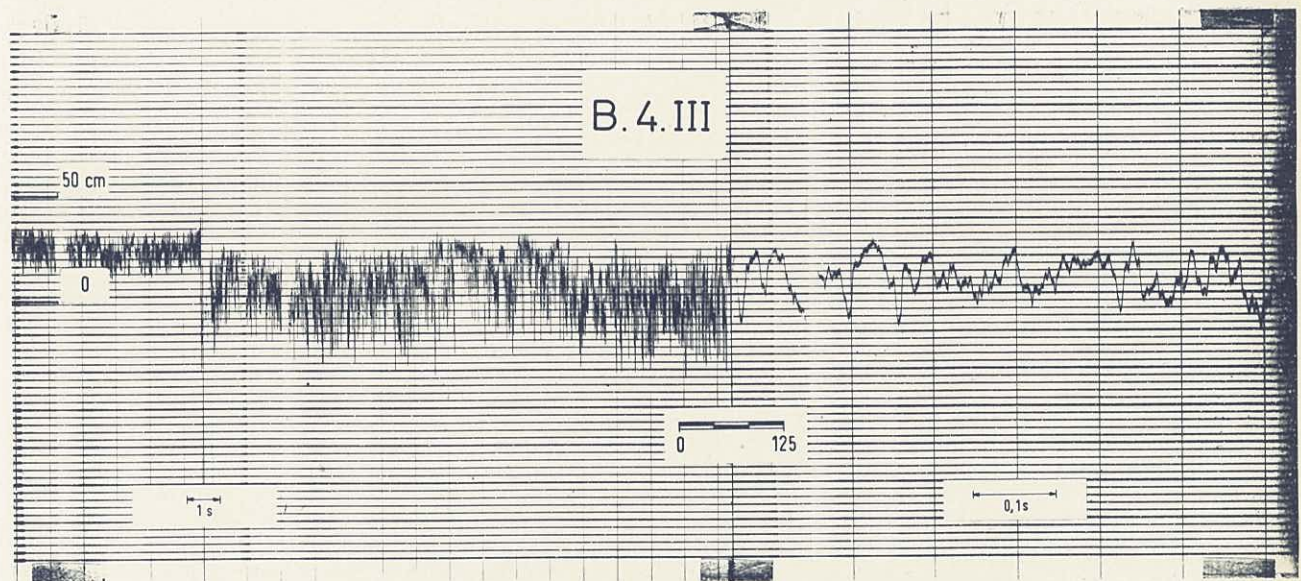
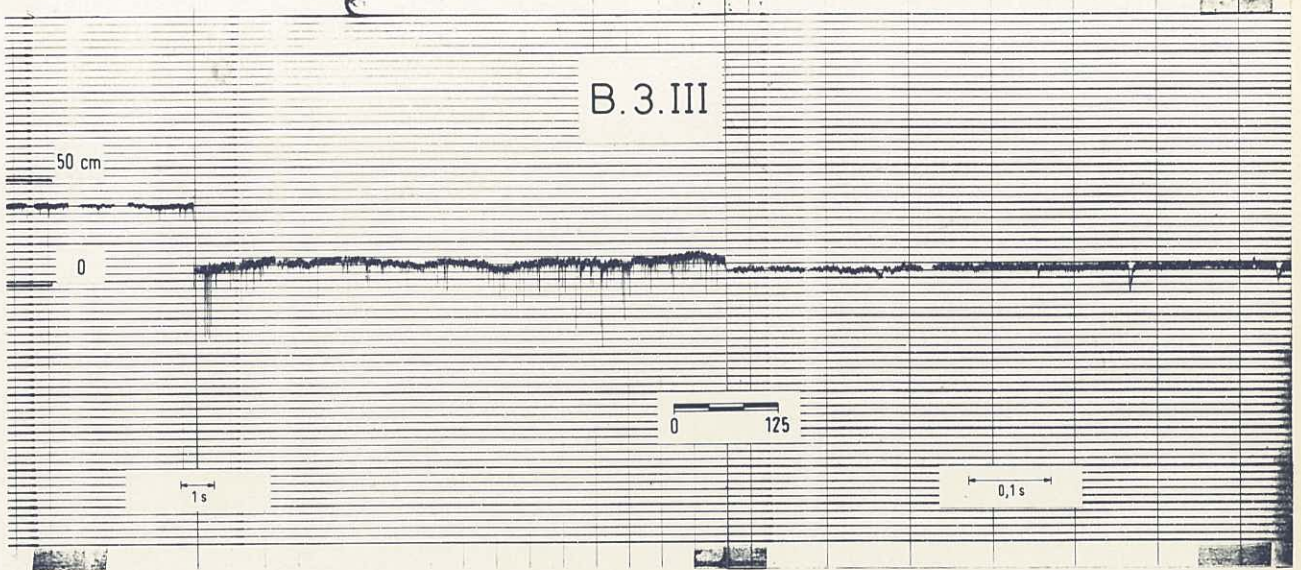


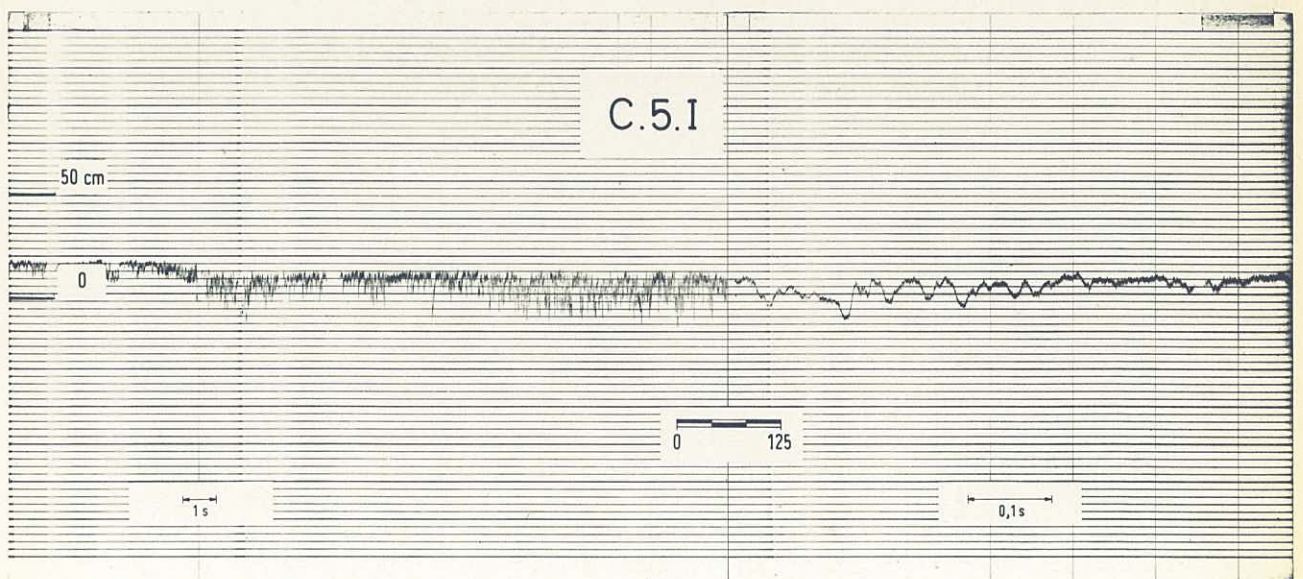
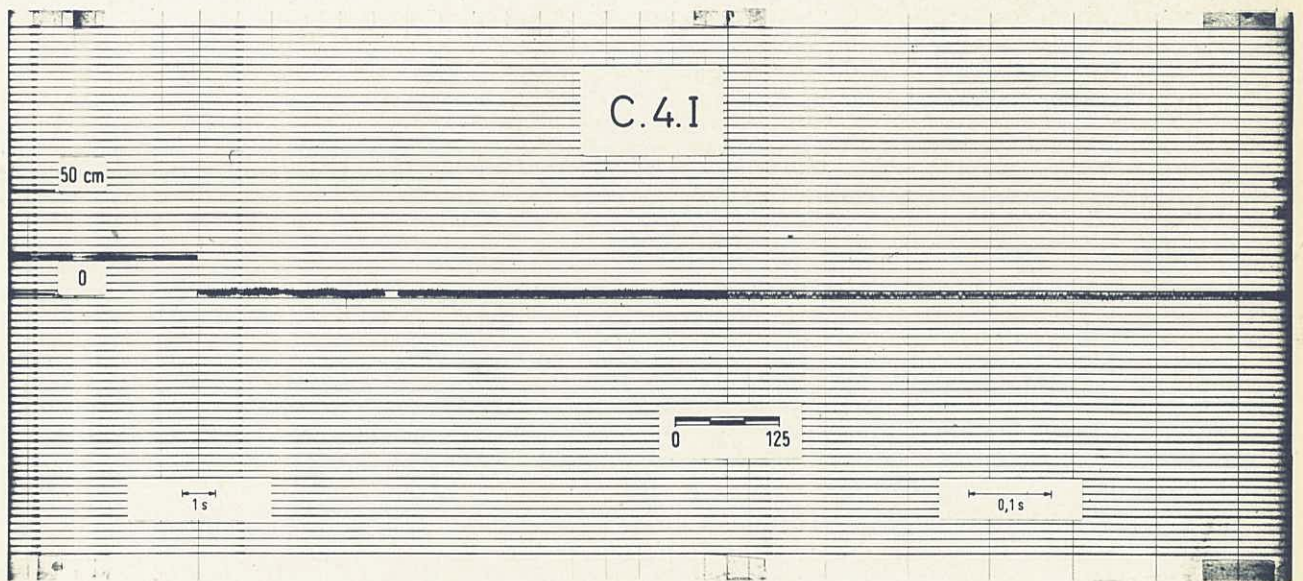
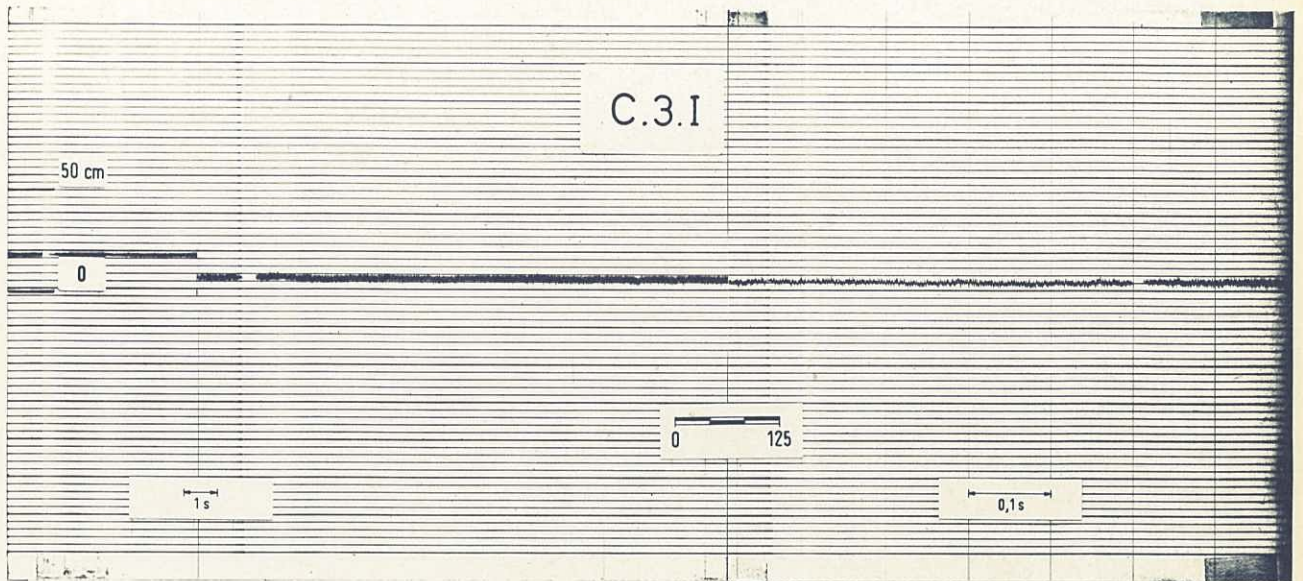


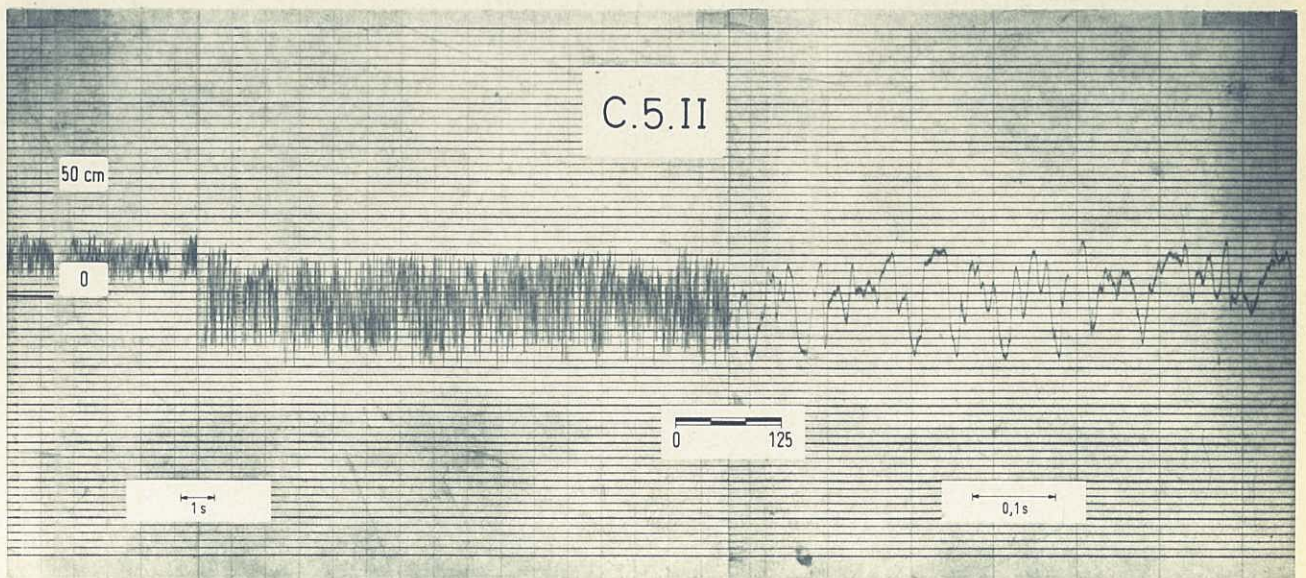
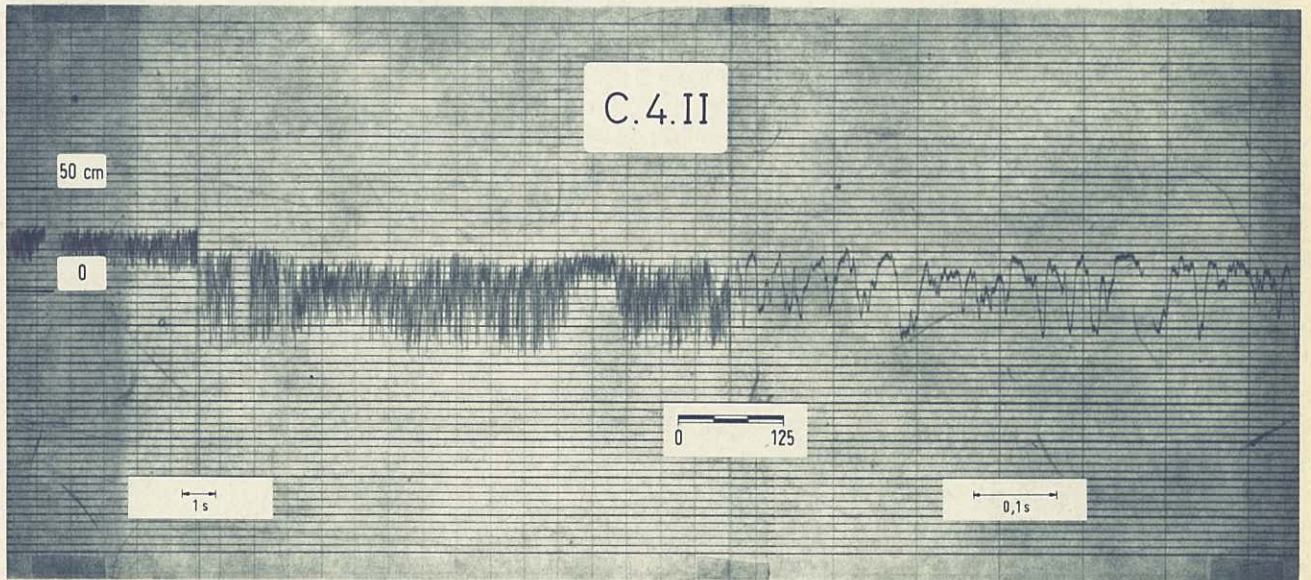
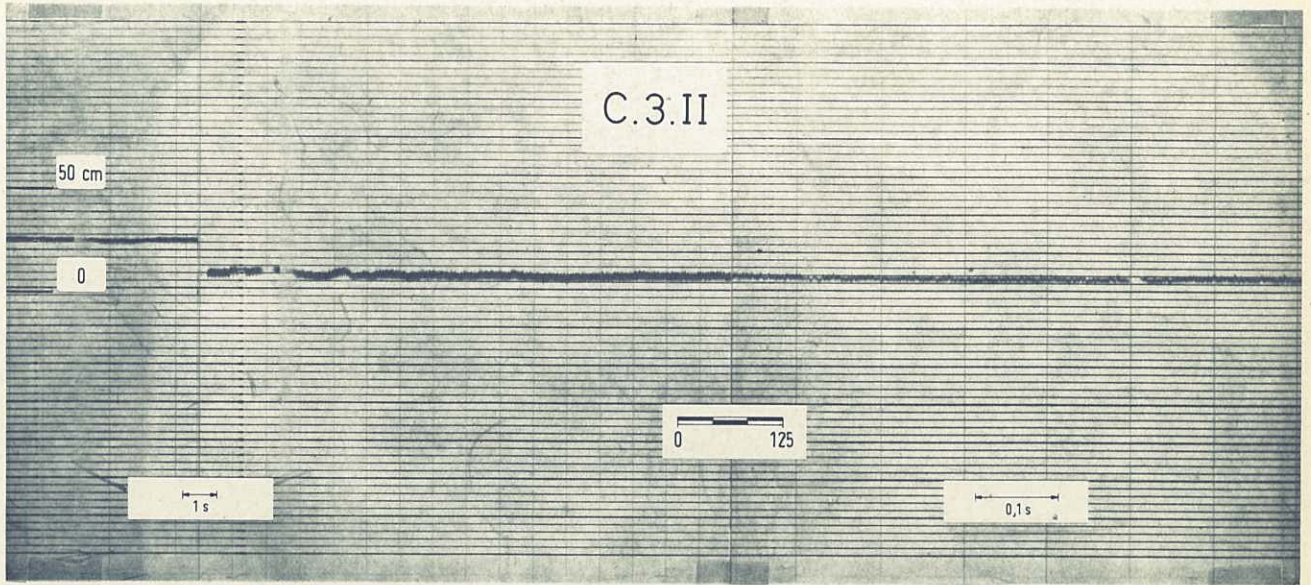


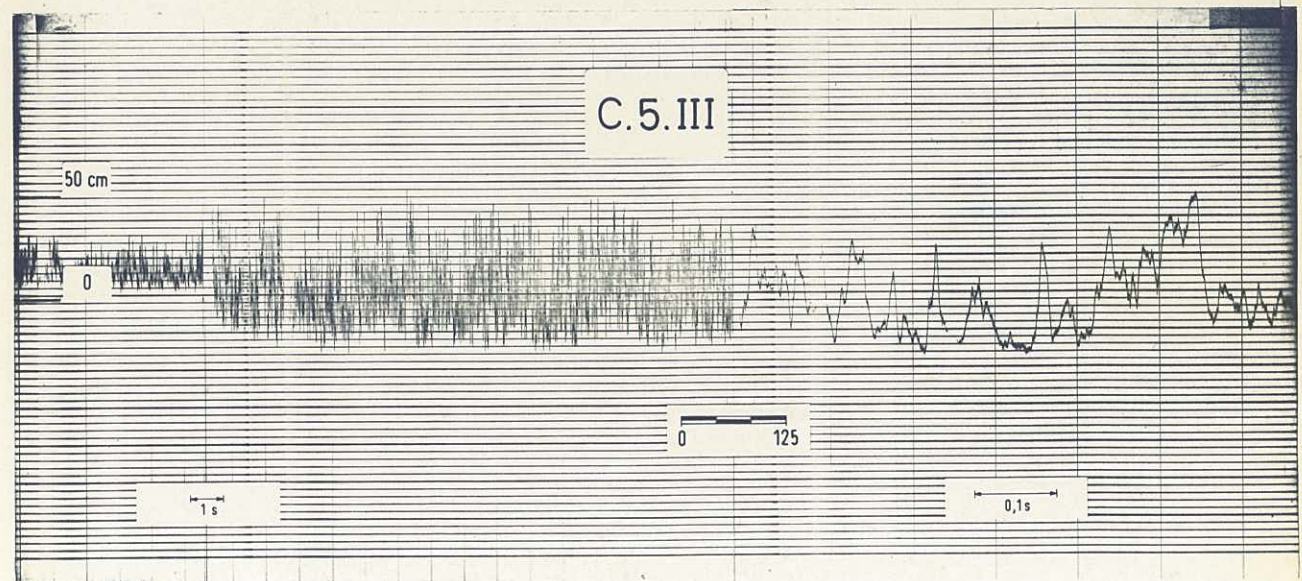
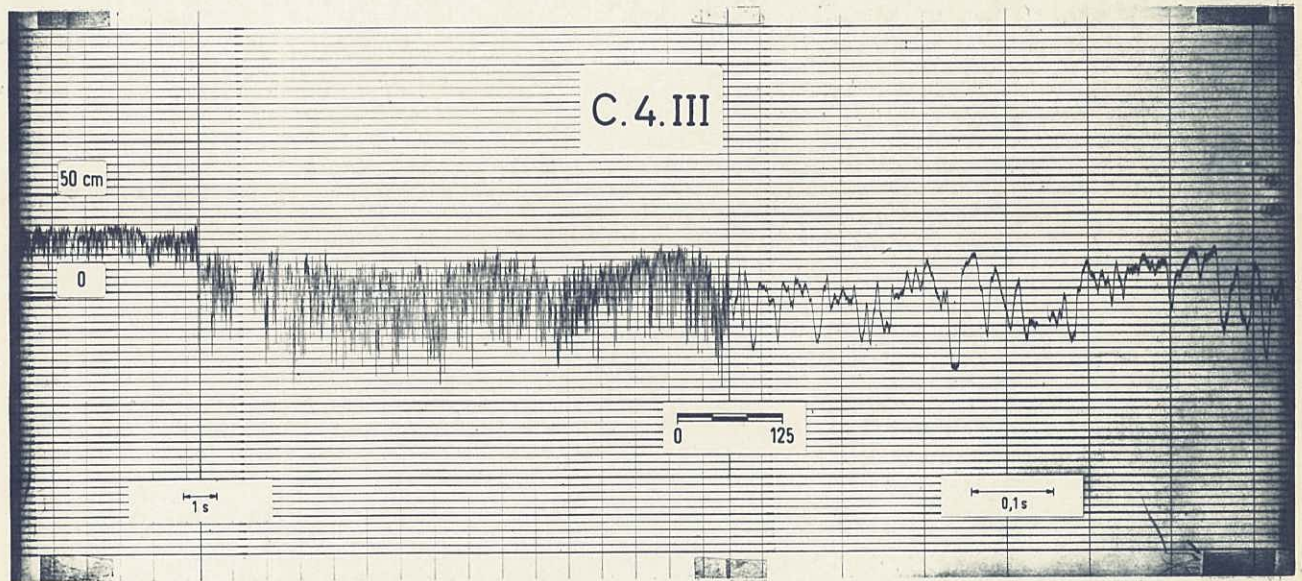
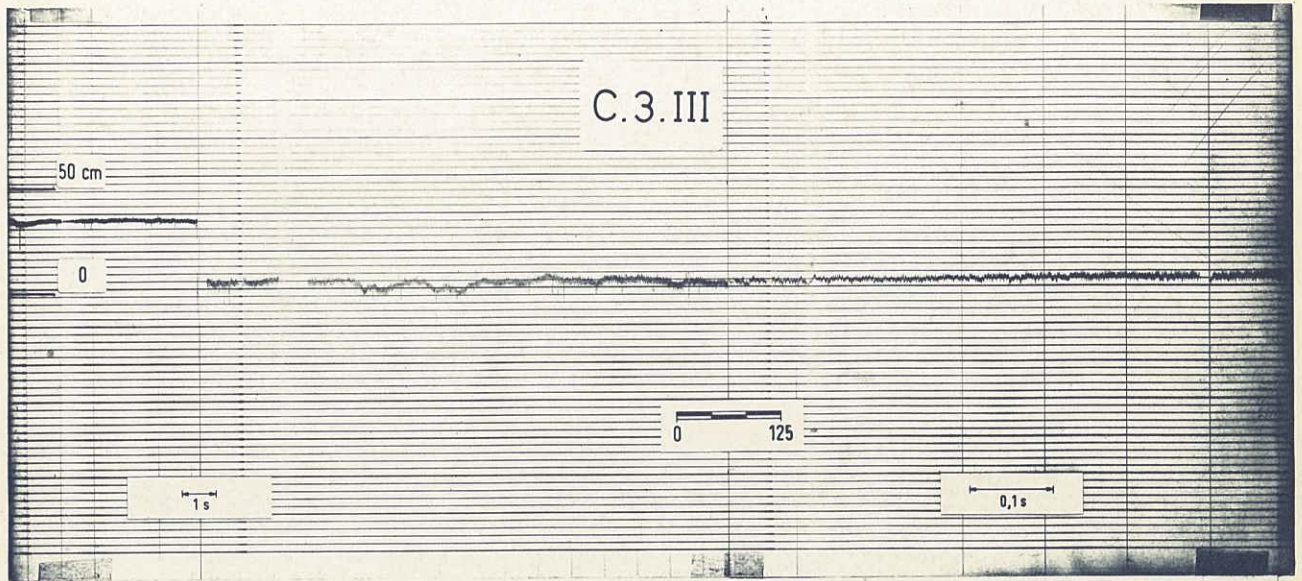












ANEXO III

APLICAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS A UM CASO CONCRETO

APLICAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS A UM CASO CONCRETO

1 - INTRODUÇÃO

Apresenta-se neste Anexo um exemplo da aplicação dos resultados obtidos que, como foi dito, se sintetizaram nos gráficos das figuras 32, 33 e 34, a um caso real; o aproveitamento de Girabolhos.

A escolha deste aproveitamento e não de outro qualquer foi apenas consequência dele estar actualmente em estudo no LNEC, existindo portanto o respectivo modelo reduzido.

Nos capítulos que se seguem far-se-á uma breve descrição do descarregador do aproveitamento de Girabolhos e apresentar-se-á o dimensionamento da bacia de dissipação e restituição nas encostas e o resultado do seu ensaio em modelo.

2 - O DESCARREGADOR DE GIRABOLHOS

2.1 - Forma do projecto

O descarregador de Girabolhos é do tipo de lâmina livre sobre todo o coroamento da barragem, precisamente aquele a que se dirige o estudo realizado.

O desenvolvimento da soleira é de cerca de 300 m, sendo de 114 m o desenvolvimento útil correspondente a cada uma das encostas. A queda máxima é de cerca de 85 m e o caudal de máxima cheia aproximadamente igual a $2\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$.

A planta das soleiras e da bacia de dissipação correspondentes ao projecto constam da Fig. III-1. Na Fig. III-2 apresentam-se as formas das soleiras e dos pilares, também correspondentes ao projecto. Como se pode observar a cota das soleiras aumenta ao passar-se da parte central

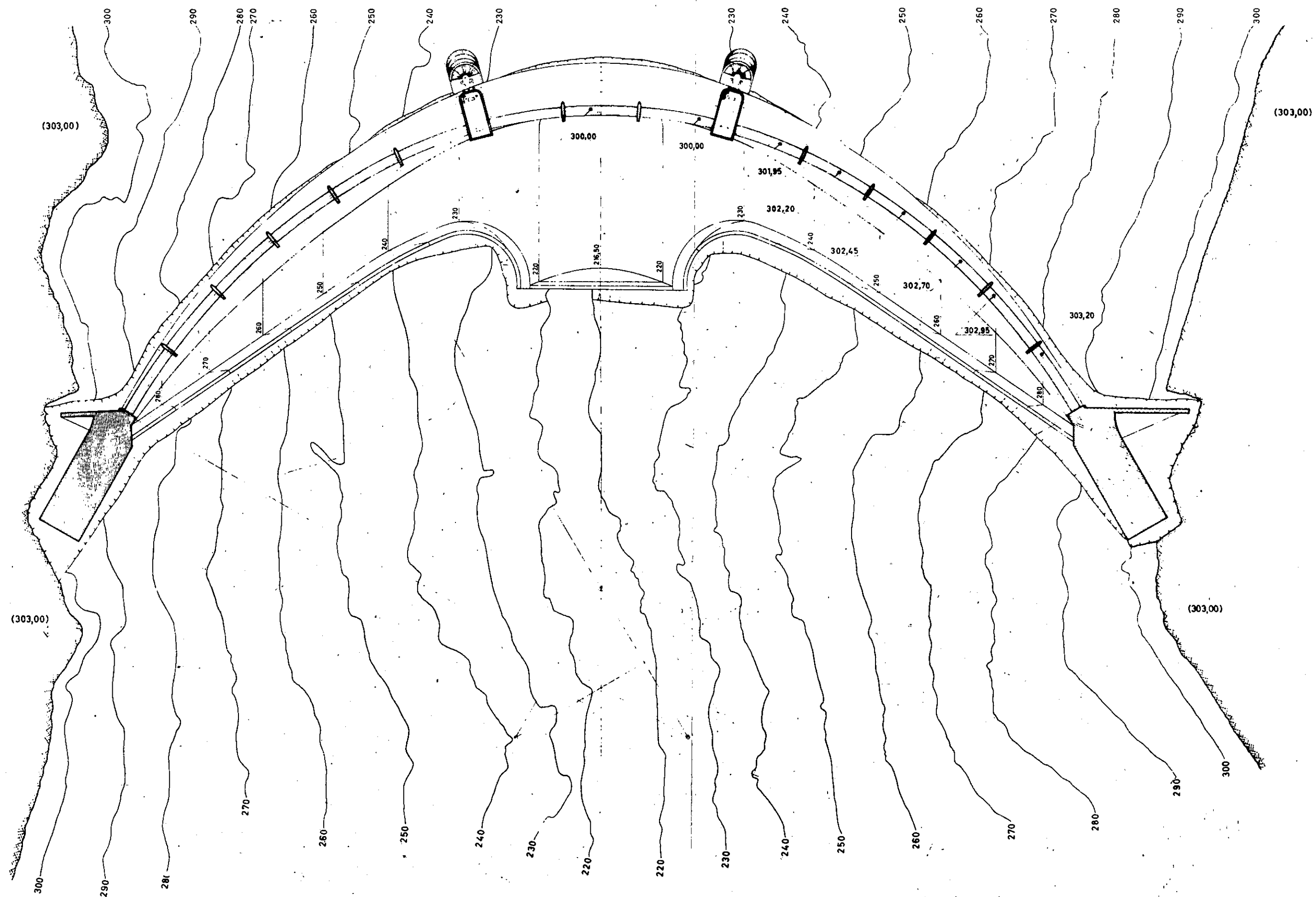
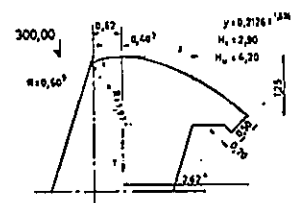
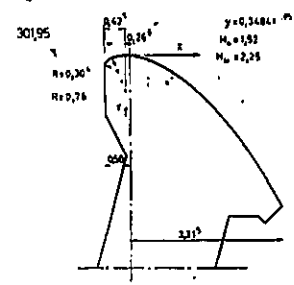


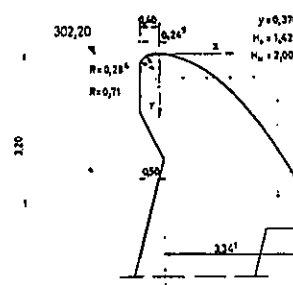
Fig. III-1—Planta do descarregador e bacia de dissipação do projecto.



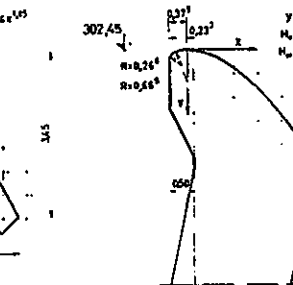
PERFIL 1



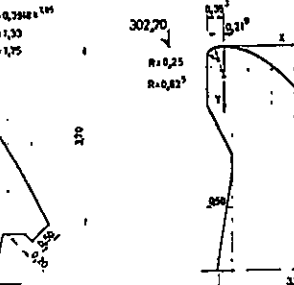
PERFIL 2



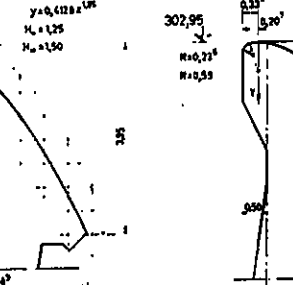
PERFIL 3



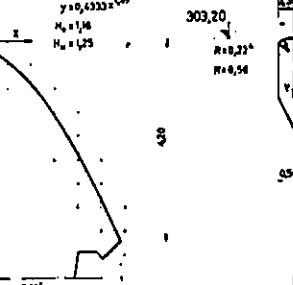
PERFIL 4



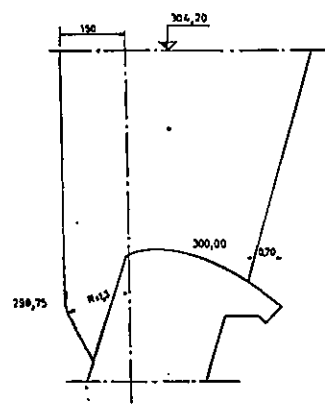
PERFIL 5



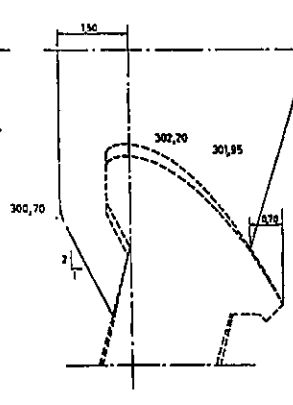
PERFIL 6



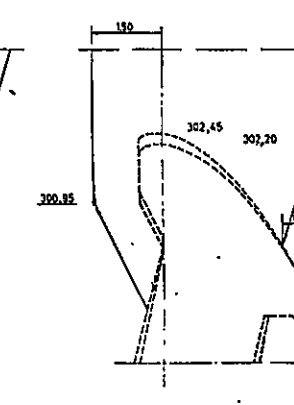
PERFIL 7



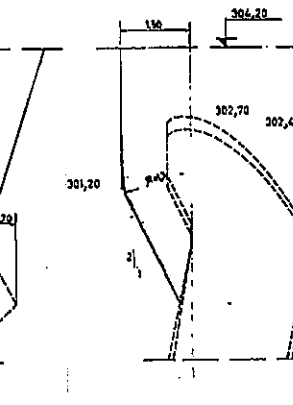
PILAR 1



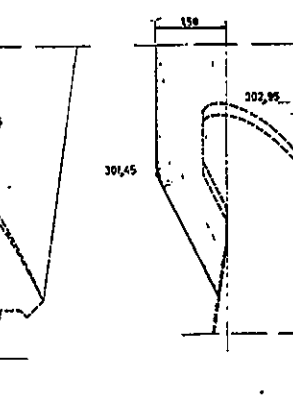
PILAR 2



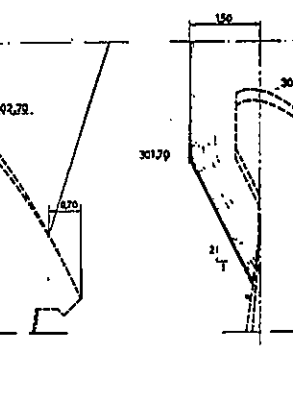
PILAR 3



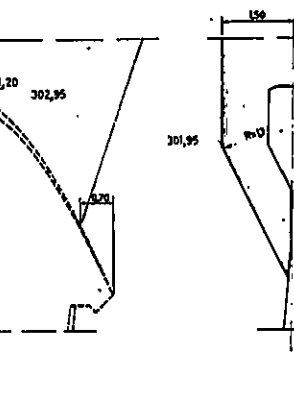
PILAR 4



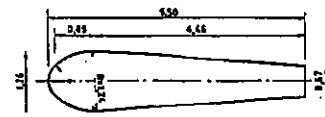
PILAR 5



PILAR 6



PILAR 7



PLANTA À COTA 304,20

COORDENADAS DOS PERFIS

X	Y						
	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3	PERFIL 4	PERFIL 5	PERFIL 6	PERFIL 7
0,10	0,003	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006
0,20	0,011	0,018	0,015	0,020	0,017	0,017	0,023
0,30	0,023	0,038	0,040	0,042	0,045	0,047	0,049
0,40	0,040	0,064	0,068	0,072	0,076	0,080	0,084
0,50	0,060	0,097	0,103	0,109	0,115	0,120	0,126
0,60	0,083	0,135	0,144	0,152	0,160	0,168	0,177
0,70	0,110	0,180	0,191	0,207	0,213	0,226	0,235
0,80	0,141	0,238	0,255	0,259	0,273	0,287	0,291
0,90	0,175	0,297	0,305	0,322	0,340	0,357	0,376
1,00	0,213	0,368	0,370	0,392	0,413	0,432	0,458
1,20	0,297	0,488	0,519	0,548	0,578	0,607	0,637
1,40	0,394	0,649	0,690	0,730	0,770	0,808	0,848
1,60	0,504	0,831	0,884	0,935	0,985	1,034	1,086
1,80	0,626	1,024	1,098	1,162	1,225	1,286	1,350
2,00	0,758	1,296	1,335	1,412	1,485	1,562	1,640
2,50	1,143	1,937	2,018	2,134	2,248	2,360	2,478
3,00	—	2,658	2,677	2,891	3,152	3,307	3,673

H₀ - CARGA DE PROJECTO
H_M - CARGA MÁXIMA

Fig. III - 2 - Soleira e pilares do projecto

para os encontros, variando de vão para vão, com excepção dos três vãos da zona central que estão todos à mesma cota.

2.2. - Forma projectada no LNEC

De acordo com o que foi dito sobre os critérios que devem presidir ao dimensionamento de soleiras para descarregadores deste tipo, projectaram-se novas formas, as quais implicaram ter de se alterar também os pilares.

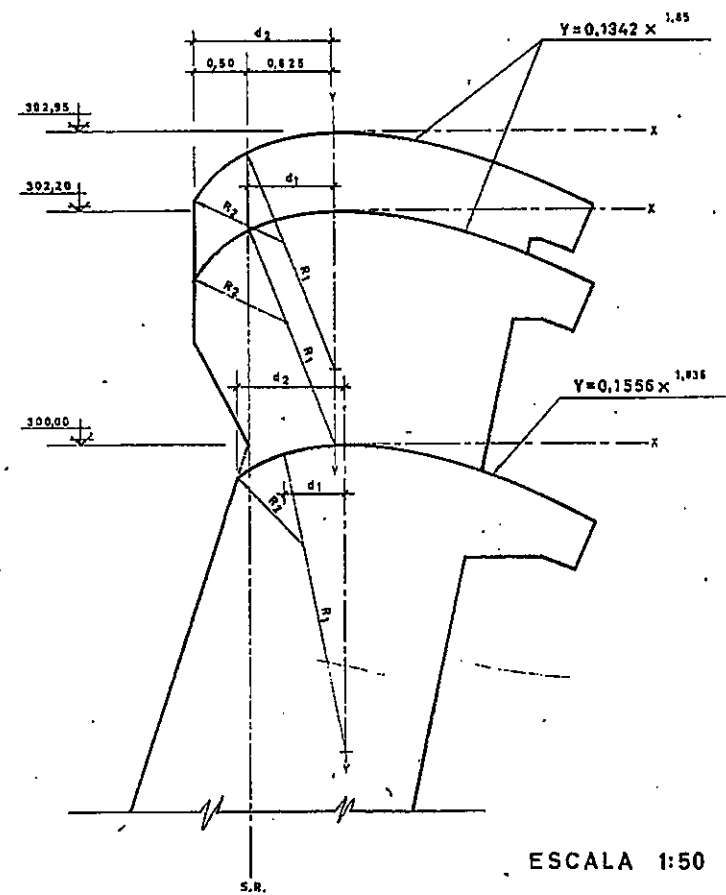
As Figs. III-3 e III-4 mostram as novas formas das soleiras e dos pilares projectados no LNEC, pelo signatário. Embora as cotas das soleiras aumentem também da zona central para os encontros, a variação faz-se apenas em dois pontos, logo a seguir à zona central e três vãos depois. O caudal descarregado, para a cota de máxima cheia (304,20 m) é igual ao da solução do projecto.

3 - DIMENSIONAMENTO DA BACIA

Dividiu-se a zona do descarregador correspondente a uma das encostas, no caso presente a direita, em três partes, cada uma delas correspondente a dois vãos.

Calcularam-se os valores dos parâmetros \underline{h} , \underline{H} e $\frac{Q_m}{Q_o}$ correspondentes à secção central de cada uma dessas três partes e também o valor médio da inclinação da encosta (\underline{I}) correspondente a cada uma delas. Na parte central tomou-se o maior valor de \underline{h} , uma vez que é nessa secção que se faz uma das mudanças de cota da soleira.

Afectando dos índices 1, 2 e 3 os valores correspondentes respectivamente à primeira, segunda e terceira partes consideradas, a partir do encontro, tem-se



X (m)	PERFIL 1	PERFIS 2 e 3
	Y (m)	Y (m)
0.10	0,002	0,001
0.20	0,008	0,007
0.30	0,017	0,014
0.40	0,029	0,025
0.50	0,044	0,037
0.60	0,061	0,052
0.70	0,081	0,069
0.80	0,103	0,089
0.90	0,128	0,110
1.00	0,156	0,134
1.20	0,218	0,188
1.40	0,289	0,250
1.60	0,369	0,320
1.80	0,458	0,398
2.00	0,555	0,484
2.50	0,837	0,731

	R ₁ (m)	R ₂ (m)	d ₁ (m)	d ₂ (m)
PERFIL 1 (H _d =4,20 m)	2,856	0,882	0,584	0,995
PERFIS 2 e 3 (H _d =4,70 m)	2,100	0,940	0,822	1,325

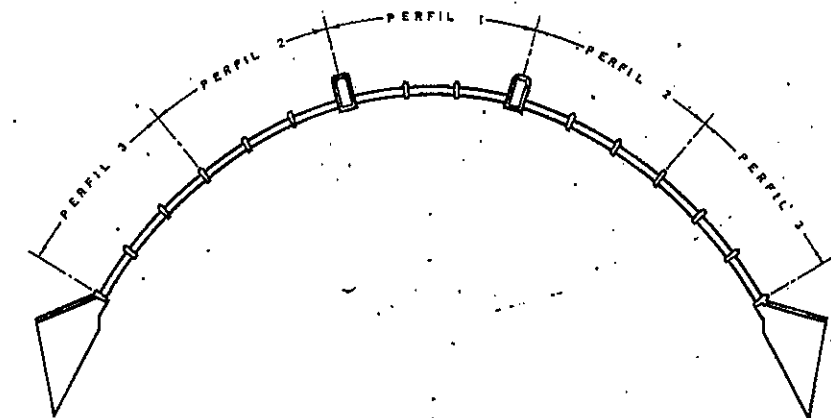


Fig. III-3—Soleiras projectadas no L.N.E.C..

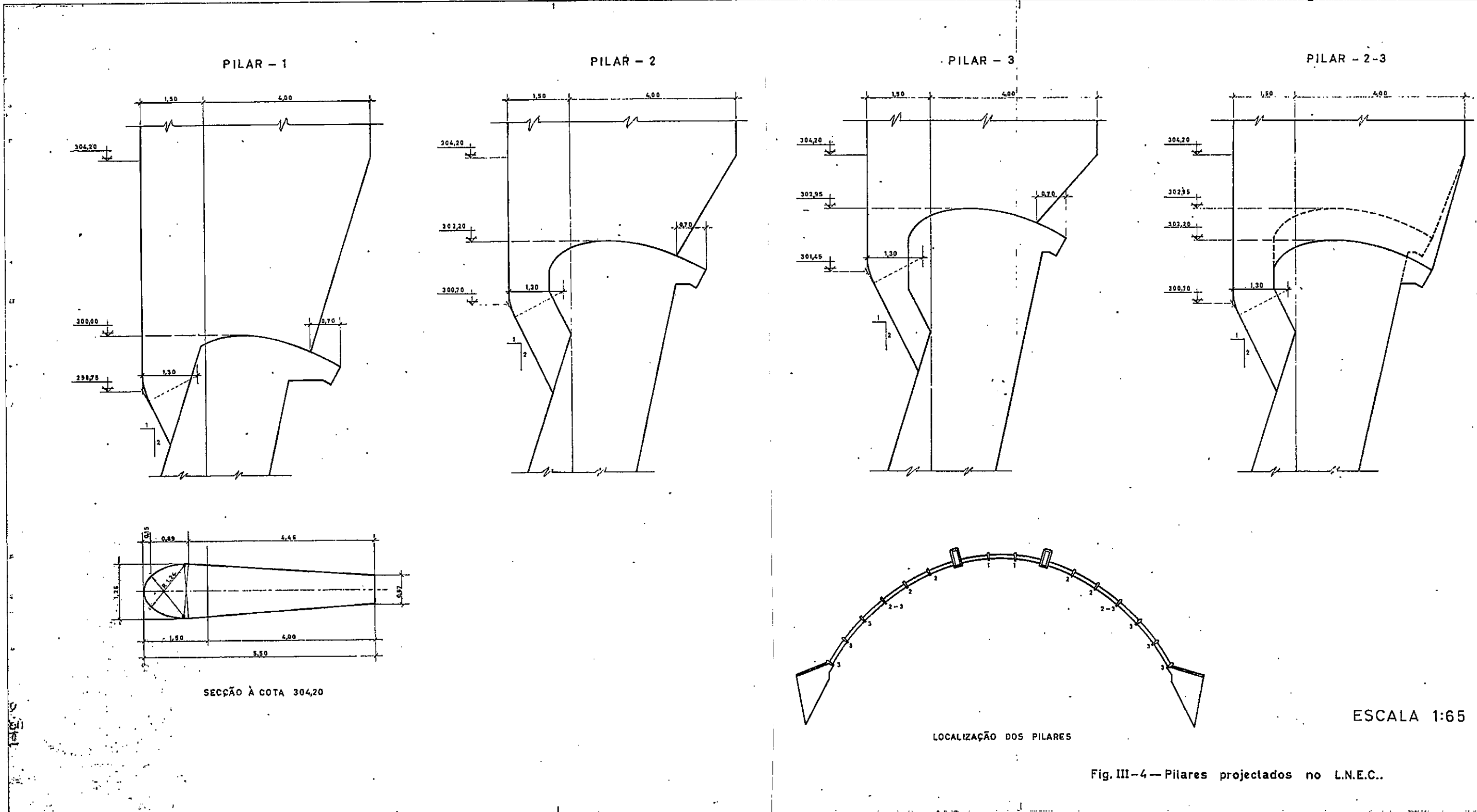


Fig. III-4—Pilares projectados no L.N.E.C..

$$\begin{array}{lll}
 h_1 = 1,25 \text{ m} & h_2 = 2,00 \text{ m} & h_3 = 2,00 \text{ m} \\
 \bar{H}_1 = 33 \text{ m} & \bar{H}_2 = 53 \text{ m} & \bar{H}_3 = 70 \text{ m} \\
 \left(\frac{Q_m}{Q_0}\right)_1 = 19 & \left(\frac{Q_m}{Q_0}\right)_2 = 29 & \left(\frac{Q_m}{Q_0}\right)_3 = 66 \\
 I_1 = 0,7 & I_2 = 0,6 & I_3 = 0,55
 \end{array}$$

- Determinação dos valores de \underline{e}

$$\left(\frac{\bar{H}}{h}\right)_1 = 26,5 \quad \left(\frac{\bar{H}}{h}\right)_2 = 26,5 \quad \left(\frac{\bar{H}}{h}\right)_3 = 35,0$$

Dos gráficos da Fig. 32 obtêm-se

$$\left(\frac{e}{h}\right)_1 = 2,85 \quad \left(\frac{e}{h}\right)_2 = 2,70 \quad \left(\frac{e}{h}\right)_3 = 2,05$$

donde

$$e_1 = 3,5 \text{ m} \quad e_2 = 5,4 \text{ m} \quad e_3 = 4,1 \text{ m}$$

- Determinação dos valores de \underline{d}

$$\begin{array}{ll}
 \left(\frac{Q}{\sqrt{2g} L^{5/2}}\right)_1 = 0,1 \times 10^{-3} & \left(\frac{Q}{\sqrt{2g} L^{5/2}}\right)_2 = 0,28 \times 10^{-3} \\
 & \left(\frac{Q}{\sqrt{2g} L^{5/2}}\right)_3 = 0,66 \times 10^{-3}
 \end{array}$$

Dos gráficos da Fig. 33 obtêm-se

$$\left(\frac{d}{L}\right)_1 = 0,016 \quad \left(\frac{d}{L}\right)_2 = 0,019 \quad \left(\frac{d}{L}\right)_3 = 0,022$$

donde

$$d_1 = 1,8 \text{ m} \quad d_2 = 2,15 \text{ m} \quad d_3 = 2,5 \text{ m}$$

- Determinação de \underline{i}

$$\left(\frac{\bar{H}}{L}\right)_1 = 0,290 \quad \left(\frac{\bar{H}}{L}\right)_2 = 0,465 \quad \left(\frac{\bar{H}}{L}\right)_3 = 0,614$$

Dos gráficos da Fig. 34 obtêm-se

$$\left(\sqrt{\frac{i}{I}}\right)_1 = 0,45 \quad \left(\sqrt{\frac{i}{I}}\right)_2 = 0,375 \quad \left(\sqrt{\frac{i}{I}}\right)_3 = 0,20$$

donde

$$i_1 = 0,157 \quad i_2 = 0,085 \quad i_3 = 0,025$$

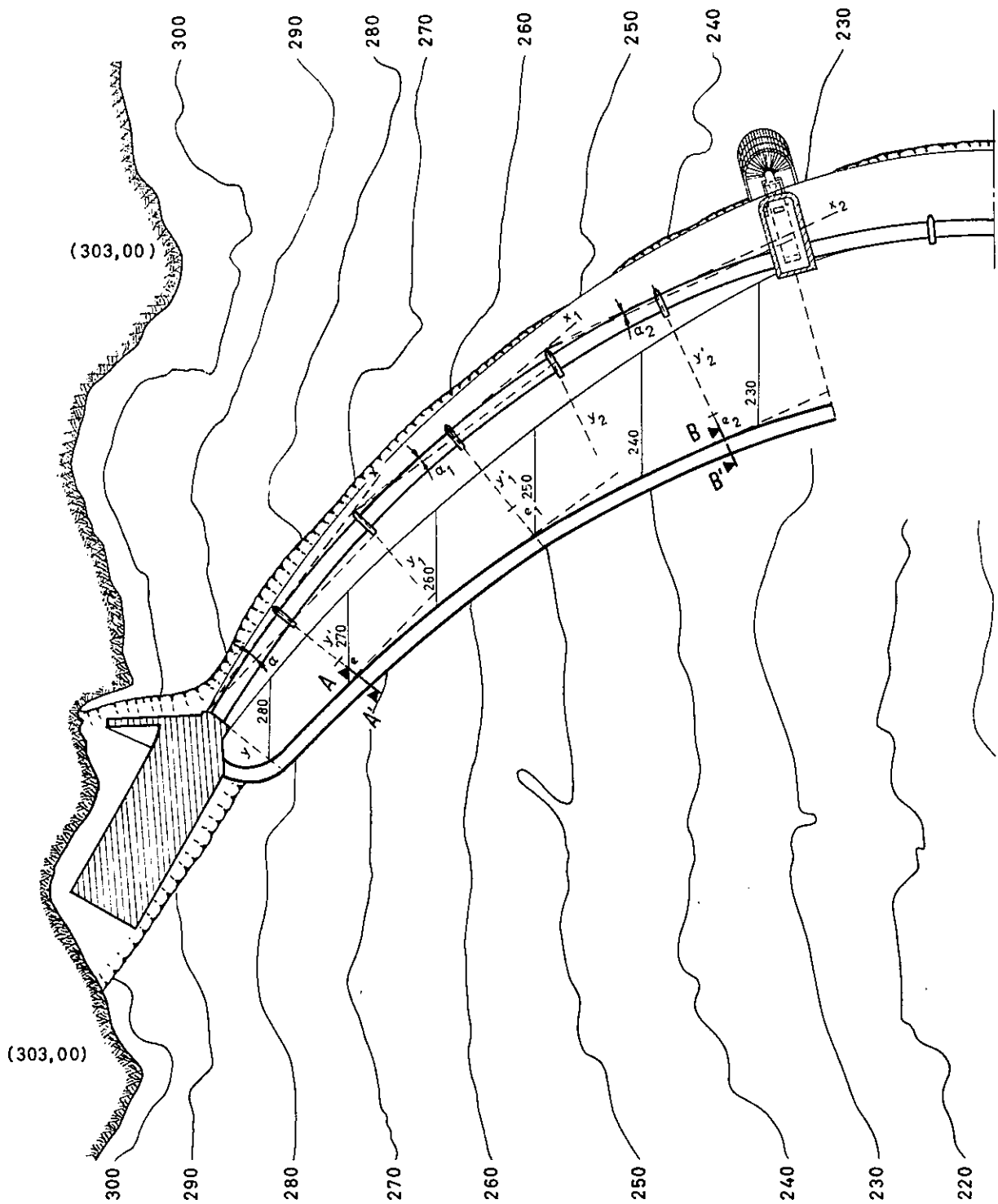
Na Fig. III-5 encontra-se representada a bacia obtida a partir dos elementos atrás calculados. A sua representação em planta afasta-se da que consta na Fig. III-1 e é bastante análoga à que se obteve no modelo numa fase já adiantada dos ensaios.

4 - ENSAIO DA BACIA DIMENSIONADA

No modelo da barragem de Girabolhos, existente no Laboratório, ~~cons~~truiu-se a bacia, de acordo com a Fig. III-5.

O seu comportamento é muito bom, mesmo melhor do que a forma a que se havia já chegado nos ensaios. Com efeito, se bem que em planta, as duas formas sejam idênticas, a secção do muro é diferente. Na forma em estudo nos ensaios o muro tem paramento vertical em grande parte do seu desenvolvimento, tendo na parte restante uma pequena inclinação, por se haver já revelado ser preferível um muro inclinado em vez do muro vertical.

O aspecto do escoamento com o caudal de máxima cheia pode observar-se na Fig. III-6. Constatou-se que a lâmina deflectida pelo muro contribui para a dissipação da lâmina descarregada, que a restituição se dá em boas condições e de maneira a poder ser interessada na dissipação



ESCALA 1:1000

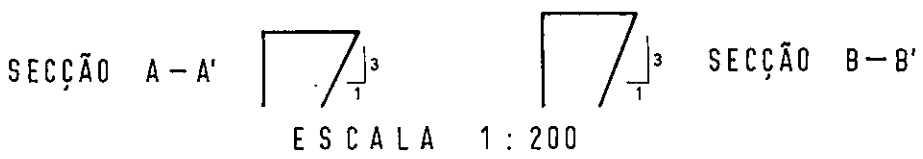


Fig. III-5 — Definição da bacia



Fig III-6 — Aspectos do escoamento com a bacia projectada e com o caudal máximo
(Tempo de exposição: 1/15 s em cima, 1/125 s em baixo)

da lâmina descarregada na zona do talvegue e ainda que o escoamento na zona de montante da lâmina não foi agravado.

Econômicamente esta solução é mais vantajosa do que a que estava em ensaio porque a altura dos muros é pouco mais de metade da altura dos muros desta última.