

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS

LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CARACTERÍSTICAS E EVOLUÇÃO DO PERFIL
TRANSVERSAL DAS PRAIAS

Narciso Teófilo Pires Elias

Tese apresentada a concurso para especialista
do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Lisboa, Maio de 1968



LNEC

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

SERVIÇO DE HIDRÁULICA
DIVISÃO DE FORTOS E PRAIAS

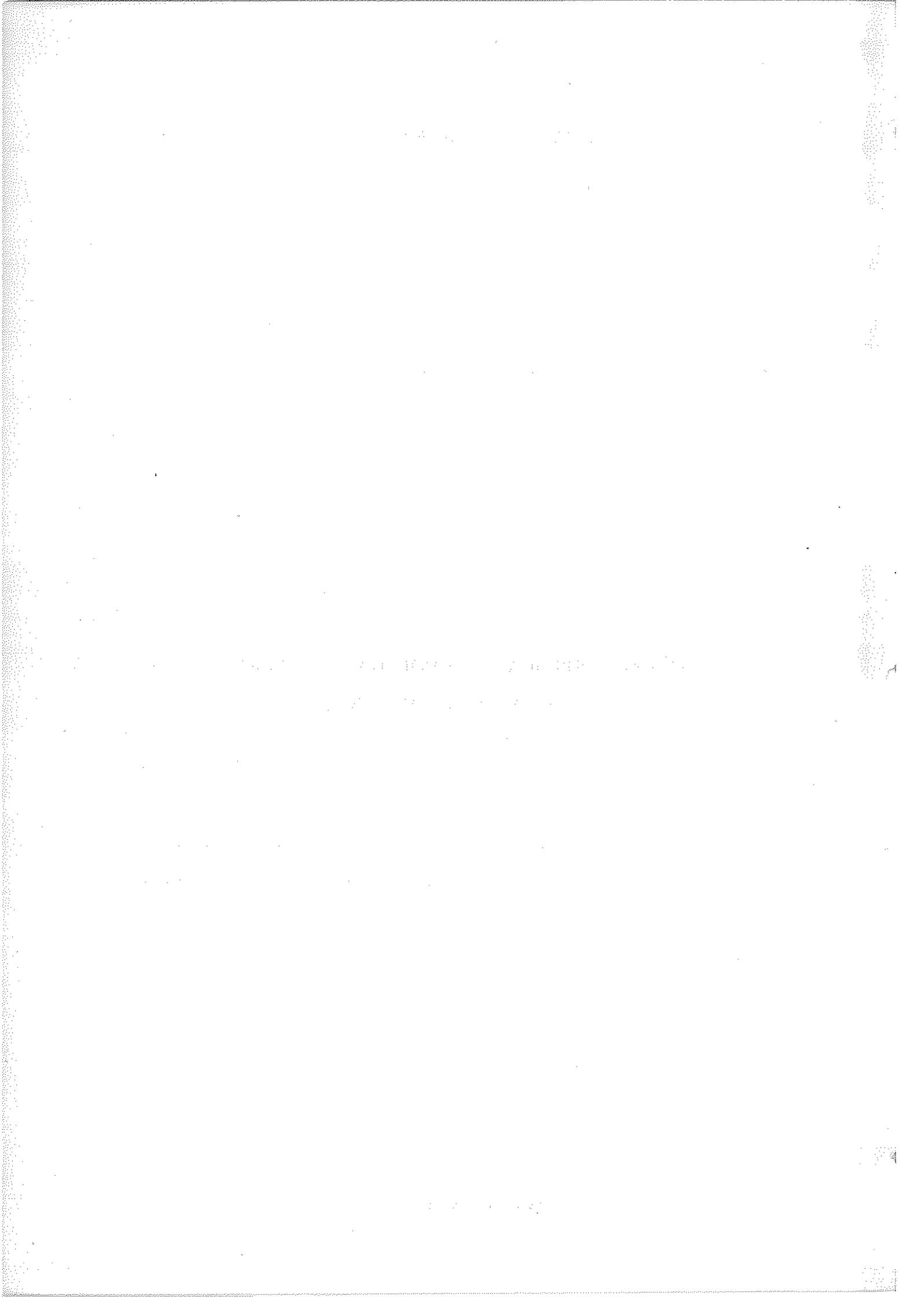
Proc. 63/1/3200

CARACTERÍSTICAS E EVOLUÇÃO DO PERFIL
TRANSVERSAL DAS PRAIAS

Narciso Teófilo Pires Elias

Tese apresentada a concurso para especialista
do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Lisboa, Maio de 1968



AGRADECIMENTO

Um trabalho desta natureza, embora apresentado a título pessoal, é sempre resultado dos meios proporcionados por uma Organização e de prolongado esforço de uma equipa.

Por isso, deseja-se começar por salientar e agradecer os meios e facilidades proporcionados pelo LABORATORIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL na realização deste estudo.

Do mesmo modo, evidencia-se que este trabalho foi, na sua quase totalidade, subsidiado pela JUNTA DE INVESTIGAÇÕES DO ULTRAMAR, dentro de um programa de fomento de estudos de base sobre problemas de erosão costeira.

Também à DIRECÇÃO GERAL DOS SERVIÇOS HIDRÁULICOS se ficam devendo não só alguns importantes elementos de estudo, como ainda um subsídio para a realização do presente trabalho.

O trabalho de equipa que permitiu a concretização deste estudo constituiu uma consequência directada atmosférica de compreensão e estímulo mantida no Serviço de Hidráulica pelo seu Chefe, sr. eng^o Fernando Abecasis, e bem assim da orientação imprimida aos objectivos da Divisão de Portos e Praias pelo seu Chefe, sr. eng^o José P. Castanho.

A todos os colegas é também devido um agradecimento pelas numerosas e oportunas sugestões que nos dispensaram.

De entre todos os colaboradores que mais directamente acompanharam

os trabalhos, deseja-se destacar o ajudante de experimentador sr. João José Marques Parracho, não só pela permanente assistência a todas as fases dos trabalhos, como também pelo entusiasmo, competência e excepcionais qualidades de organização que sempre manifestou.

Da activa colaboração recebida pelos ajudantes de experimentador do Serviço, salientamos aqui a dos srs. Ilídio Escalhão, Paula e Castro, e Alódio dos Santos.

Na realização dos endaios prestaram valiosa assistência os srs. Ildemundo Martins e José Caiado.

Os desenhos foram executados pelos srs. António Cruz, Silva Pereira, Fernando Vieira e Martins Picado, sob a orientação atenta do sr. Rafael Carróggio.

A dactilografia do manuscrito foi efectuada pela sra. D. Joaquina Robalo, cabendo à sra. D. Maria Helena Pinto a execução final do relatório, tarefa que lhe exigiu especial esforço e atenção.

Finalmente, registamos e agradecemos o cuidado e diligência dispensados por todos os funcionários das Oficinas Gráficas da Divisão de Documentação e Informação, salientando em especial o trabalho dos srs. Júlio Marques, Sebastião de Castro, Ademar Rosa, Pinto Correia e Nuno Cabço, sob a orientação do sr. Fernando Fonseca.

ÍNDICE DO TEXTO

	Pág.
INTRODUÇÃO	1
CAP. I - MORFOLOGIA DAS PRAIAS	
1 - DEFINIÇÃO DE PRAIA	5
2 - FORMAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DAS PRAIAS	5
3 - MOVIMENTOS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS	8
4 - NOMENCLATURA	9
CAP. II - O MATERIAL MÓVEL DAS PRAIAS	
1 - GENERALIDADES	15
2 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	16
3 - GRANULOMETRIA	17
3.1 - Análise granulométrica	17
3.2 - Parâmetros estatísticos	18
CAP. III - ONDULAÇÃO	
1 - GENERALIDADES	23
2 - ONDAS POLICROMÁTICAS	23
3 - OSCILAÇÃO DO FLUIDO JUNTO AO FUNDO	26
CAP. IV - MOVIMENTAÇÃO DOS MATERIAIS	
1 - INICIO DO MOVIMENTO	29
2 - PROFUNDIDADE DA MOVIMENTAÇÃO	31
3 - SENTIDO DA MOVIMENTAÇÃO NOS FUNDOS	35
3.1 - Posição do problema	35
3.2 - Determinação das características da movimentação	37
3.3 - Características da movimentação nos fundos	39

CAP. V - CARACTERÍSTICAS TRANSVERSAIS DAS PRAIAS

	Pág.
1 - GENERALIDADES	43
2 - TÉCNICAS DE MEDIÇÃO E OBSERVAÇÃO	44
3 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICA DOS MATERIAIS	46
4 - INCLINAÇÕES DO ESPRAIADO	50
5 - PERFIL DOS FUNDOS	54
6 - SINGULARIDADES	57

CAP. VI - ESTUDO EXPERIMENTAL

1 - OBJECTIVOS	61
2 - PROGRAMA	61
3 - INSTALAÇÕES E APARELHAGEM UTILIZADAS	63
4 - MEDIÇÃO DA ONDULAÇÃO	68
5 - ENSAIOS REALIZADOS.....	70
5.1 - Ensaios da série A	70
5.2 - Ensaios das séries B, C, D, E	74
5.3 - Ensaios da série F	75
5.4 - Ensaios da série G	77
5.5 - Ensaios da série H	78
5.6 - Ensaios da série I	80
6 - CONCLUSÕES DOS ENSAIOS	82
6.1 - Observações gerais	82
6.2 - Resultados finais dos ensaios A	82
6.3 - Conclusões gerais	84
6.3.1 - Resultados utilizados	84
6.3.2 - Comprimento do espraçado	86
6.3.3 - Comprimento da plataforma de rebentação	86
6.3.4 - Altura do espraçado	88

	Pág.
6.3.5 - Profundidade da plataforma de rebentação	89
6.3.6 - Inclinações do espraiado e da plataforma de rebentação.	89

CAP. VII - EVOLUÇÃO DO PERFIL TRANSVERSAL

1 - GENERALIDADES	93
2 - EVOLUÇÃO COM ONDAS DE PERÍODO CONSTANTE	93
2.1 - Fase I - Ondas de muito pequena declividade	93
2.2 - Fase II - Ondas de declividade média	97
2.3 - Fase III - Ondas de grande declividade	98
3 - EVOLUÇÃO COM ONDULAÇÃO VARIÁVEL	102
3.1 - Considerações gerais	102
3.2 - Nos fundos do largo	103
3.3 - Na plataforma de rebentação	104
3.4 - No talude de rebentação	106
4 - EVOLUÇÃO COM ONDAS VARIÁVEIS E MARÉS	107
5 - EVOLUÇÃO GERAL	109

CAP. VIII - DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE UMA PRAIA

1 - GENERALIDADES	115
2 - EVOLUÇÃO DA PRAIA DA FIGUEIRA DA FOZ	115
3 - PERFIS OBTIDOS EM CANAL DE VAGAS DE GRANDES DIMENSÕES	120
4 - DETERMINAÇÃO APROXIMADA DO PERFIL TRANSVERSAL DA PLATA- FORMA	124
5 - DETERMINAÇÃO APROXIMADA DO PERFIL TRANSVERSAL DO LARGO	126

CAP. IX - VARIAÇÕES DE GRANULOMETRIA NO MATERIAL

MÓVEL DOS MODELOS

	Pág.
1 - GENERALIDADES	129
2 - CARACTERÍSTICAS DO MODELO DE FUNDO MOVEL	130
3 - LOCALIZAÇÃO E GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS	130
4 - ESTUDO DAS VARIAÇÕES DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	134
5 - INTERPRETAÇÃO	136
6 - CONCLUSÕES	138
CONCLUSÕES FINAIS	141

ANEXOS

- ANEXO I - Elementos dos estudos granulométricos
- ANEXO II - Características da ondulação dos ensaios
- ANEXO III - Perfis transversais dos ensaios
- ANEXO IV - Características dos perfis transversais dos ensaios

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 - Praia de litoral aberto (Santo André)	6
" 2 - Praia de enseada (Porto Covo)	6
" 3 - Praia de difracção (Santo Amaro de Oeiras)	7
" 4 - Praia de retenção (Santa Cruz)	7
" 5 - Praia de areias finas (S. Martinho do Porto)	10
" 6 - Praia de areias grossas (Nazaré)	10
" 7 - Perfil transversal tipo	11
" 8 - Plataforma de baixa-mar (Santa Cruz)	12
" 9 - Crescentes de praia (S. Bruno-Caxias)	13
" 10 - Pequena escarpa (Vila Nova de Milfontes)	14
" 11 - Regueiros de praia (Santa Cruz)	14
" 12 - Método gráfico de Inman para o cálculo dos parâmetros estatísticos.....	20
" 13 - Composição de dois comboios de onda	25
" 14 - Movimento orbital do fluido	27
" 15 - Modos de movimentação dos materiais	29
" 16 - Velocidades críticas de transporte (segundo Hjulström)...	31
" 17 - Movimentos produzidos no fundo pela ondulação	33
" 18 - Condições de movimento nos fundos.....	38
" 19 - Observação do movimento de materiais no fundo	45
" 20 - Praia de Half Moon Bay	46
" 21 - Variações transversais de granulometria	47
" 22 - Variação transversal da granulometria na praia da Figuei ra da Foz	49
" 23 - Configuração do espraiado numa praia de areias médias (Areia Branca)	51

Fig. 24 - Relação entre a inclinação do espraiado, o diâmetro das areias e a ondulação	52
" 25 - Tipos de perfil do espraiado	53
" 26 - Reflexão de uma onda na muralha limítrofe	53
" 27 - Perfis do espraiado na praia da Caparica	54
" 28 - Crescentes de praia (Nazaré)	58
" 29 - Variação do perfil transversal devida à presença de crescentes de praia (Nazaré)	58
" 30 - Canal de vagas II	64
" 31 - Características do canal de vagas II	65
" 32 - Geradores do canal de vagas II	66
" 33 - Gerador M_1 em funcionamento	66
" 34 - Septo de divisão transversal do canal	67
" 35 - Histograma granulométrico (Ensaio A)	70
" 36 - Perfil do ensaio A-2	72
" 37 - Perfis dos ensaios A-2 e A-6	72
" 38 - Perfis dos ensaios A-6 e A-12	72
" 39 - Perfis dos ensaios A-12 e A-18	72
" 40 - Perfil do ensaio A-21- F_3	72
" 41 - Rebentação de fundo no ensaio A-2	73
" 42 - Rebentação mista de fundo e mergulhante	73
" 43 - Rebentação mergulhante do ensaio A-21 - F_3	73
" 44 - Perfil do ensaio F_9	76
" 45 - Rebentação mergulhante no ensaio F_9	76
" 46 - Perfil do ensaio G_{13}	78
" 47 - Histograma granulométrico (Ensaio H)	78
" 48 - Perfil de ensaio com pedra-pomes	78
" 49 - Histograma granulométrico (Ensaio I)	80

	Pág.
Fig. 50 - Perfil do ensaio I em baixa-mar	81
" 51 - Pormenor da escarpa produzida a meio do espraído no ensaio I	81
" 52 - Características dos perfis transversais - Ensaio A	83
" 53 - Características dos perfis transversais - Ensaio A, B, C, D, E	85
" 54 - Características dos perfis transversais - Ensaio A, B, C, D, E	
" 55 - Inclinações do espraído e da plataforma de rebentação dos ensaios A, B, C, D, E	
" 56 - Início da evolução do perfil transversal	94
" 57 - Configuração produzida na fase I da evolução	95
" 58 - Configuração produzida na fase II da evolução	97
" 59 - Rebentação mergulhante	98
" 60 - Dissipação da energia da onda rebentada	99
" 61 - Configuração produzida na fase III da evolução	100
" 62 - Rebentação simultânea de duas ondas sucessivas	102
" 63 - Rebentação progressiva	105
" 64 - Sequência de três macaréus simultâneos	106
" 65 - Perfis transversais de enchimento e de erosão	112
" 66 - Perfis transversais da praia da Figueira da Foz	117
" 67 - Perfis transversais da praia da Figueira da Foz ajustados pela cota (-9,0 m)	121
" 68 - Perfis transversais obtidos em canal de vagas de gran des dimensões	123
" 69 - Determinação gráfica aproximada da plataforma de re- bentação	125

	Pág.
Fig. 70 - Variação dos parâmetros granulométricos num perfil transversal de modelo reduzido	132
" 71 - Histogramas de frequência granulométrica das amostras do modelo de fundo móvel	133
" 72 - Decomposição da amostra A_7	137

QUADRO

Quadro nº 1 - Classificação das dimensões dos materiais	16
Quadro nº 2 - Velocidades críticas de início de arrastamento segundo vários autores	30

SUMÁRIO

Este trabalho constitui um estudo em extensão sobre as características mais importantes dos perfis transversais das praias e sobre a evolução resultante da actuação da ondulação. Pretendeu-se assim obter um conhecimento geral sobre este assunto, de modo a permitir, por um lado, o melhor planeamento dos trabalhos marítimos e, por outro, uma melhor interpretação dos modelos reduzidos de fundo móvel.

Utiliza-se neste trabalho uma nomenclatura original em língua portuguesa, na tentativa de estabelecer uma equivalência com os termos consagrados na literatura siglo-saxónica.

Dentro do esquema geral acima enunciado, são estudadas com maior atenção: o mecanismo da movimentação dos materiais nos fundos; a evolução sofrida pelos perfis em resultado da actuação das ondas e destas em conjugação com as marés; as características da faixa de rebentação das praias; e as variações da granulometria do material móvel.

Quanto à movimentação dos materiais em fundos de maior profundidade, apresenta-se uma interpretação sobre as profundidades a que se inicia o transporte dos sedimentos e o sentido desse transporte.

Em relação à evolução dos perfis descrevem-se as suas fases mais significativas, quer para o caso de ondas de período e altura crescentes como decrescentes. Introduzem-se os conceitos de perfis de máxima erosão e máximo enchimento.

Sobre as características da faixa do perfil das praias directamente afectada pela rebentação das ondas, evidencia-se a importância primordial da plataforma e talude de rebentação, apresentando-se um critério para a determinação das suas dimensões.

Finalmente, salienta-se o interesse do estudo da variação da granulometria do material móvel ao longo de um perfil transversal.

Os resultados obtidos têm como base experimental numerosas observações realizadas na costa metropolitana e estudos sistemáticos efectuados sobre modelos reduzidos bidimensionais.

CHARACTERISTICS AND EVOLUTION OF BEACH PROFILES

SYNOPSIS

This paper is an extensive study on the major characteristics of the beach profiles and their evolution under the action of the waves.

The author sought thus to systemize the general knowledge on this subject with a view, on one hand, to facilitate the design of maritime structures and, on the other, to make possible a more thorough utilization of mobile-bed models.

The author uses many new Portuguese terms attempting to establish an equivalence with the usual terms in English-language literature on the subject.

Within the limits just indicated, the author studies: the mechanism of the movement of bottom materials; the evolution of the beach profile under the action of the waves, and under the action of waves and tides; the characteristics of the inshore; and the changes in the grain-size of the beach material.

Regarding the movement of offshore materials, a tentative interpretation is presented of the depth at which these movements start and of their direction.

About the evolution of the profiles, their most significant stages are presented in the case of waves with increasing and with decreasing periods and heights. The concepts of maximum erosion profile and maximum

accretion profile are introduced.

Regarding the characteristics of the beach profile in the breaker zone, the author stresses the basic importance of the inshore and presents a criterion for determining its dimensions.

Finally the interest in the study of the changing grain-size of the beach material along a profile is underlined.

The results obtained are based on numerous observations in the Portuguese coast line and on systematic tests on plane models.

INTRODUÇÃO

"Is there anyone who can watch without fascination the struggle for supremacy between sea and land?"

W. BASCOM (Waves and Beaches)

No estudo dos problemas ligados ao projecto e execução de obras marítimas, apresentam-se frequentemente à consideração do engenheiro duas questões de grande importância relacionadas com a erosão ou enchimento de uma determinada praia:

- Qual o desenvolvimento máximo que poderá vir a ter a erosão ou o enchimento numa zona em estudo?

- Como poderá a evolução dos fundos vir a afectar a estabilidade das obras marítimas ou as condições de navegabilidade nas vizinhanças?

Ligadas a estas questões surge uma série de problemas, cuja solução exige um conhecimento perfeito das propriedades da ondulação como principal agente modelador da configuração das praias. O modo como a ondulação actuar determinará a configuração de cada praia, não só no sentido longitudinal, como também no sentido transversal.

Os movimentos mais importantes das areias processam-se geralmente no sentido longitudinal, na sua quase totalidade nas zonas de rebentação e de

espraiamento, originando um transporte litoral que pode atingir, na costa portuguesa, centenas de milhar de metros cúbicos por ano. Quando uma praia mantém uma configuração longitudinal sensivelmente invariável de ano para ano, isto é, quando a praia se encontra estabilizada, esse transporte só é possível desde que ao caudal sólido escoado por sotamar corresponda igual volume entrado por barlar. Caso contrário, dar-se-á uma erosão ou um enchimento em toda a praia ou, pelo menos, numa certa zona. Assim, o perfil transversal terá de se modificar, recuando num caso e avançando no outro.

Ainda quando não está em causa o transporte litoral, o perfil transversal transforma-se de onda para onda. Desde há muito se observou que, no Inverno, quando as ondas são maiores, as praias se tornam menos cheias; e inversamente, no Verão, quando as ondas são menores.

O problema está em saber como se dá o jogo de movimentos transversais, donde e para onde vão as areias, até que profundidades se movimentam.

Para esclarecer este assunto têm sido empreendidas em todo o mundo, sobretudo nos últimos decénios, numerosas investigações, empregando-se umas vezes métodos puramente matemáticos, outras utilizando experiências laboratoriais, e ainda procedendo a medidas e observações do comportamento da própria natureza.

O volume de trabalhos já efectuados ou em curso nos laboratórios patenteia bem o interesse deste problema, que, de dia para dia, se torna mais pertinente à medida que o homem vai pretendendo um domínio mais completo e firme de toda a orla marítima.

Uma vez conhecidas as características da evolução transversal de uma praia será possível dar a solução adequada a alguns tipos de trabalhos marítimos, nomeadamente:

- a definição da robustez de uma praia, em condições de se estabelecerem os limites prováveis das máximas erosões e, conseqüentemente, as limi-

tações a atender nas construções à beira-mar;

- o cálculo do volume de areias necessário à criação de praias artificiais ou à ampliação das existentes;

- a avaliação das profundidades a que se poderão efectuar dragagens nos fundos submarinos sem afectar a estabilidade das praias adjacentes. Inversamente, os locais onde se poderão lançar terras excedentes de escavações, esgotos, detritos, etc.;

- a determinação da profundidade que terá de atingir uma obra de retenção para que o enchimento a obter não se perca por contornamento nos fundos.



CAP. I - MORFOLOGIA DAS PRAIAS

1 - DEFINIÇÃO DE PRAIA

Uma praia é uma acumulação de materiais não coerentes, de pequenas dimensões, submetida à actuação da ondulação na orla de uma massa líquida.

De acordo com esta definição, as praias interessam uma faixa bastante vasta do litoral, cujo limite terrestre é fixado pelo máximo espraiamento das ondas em praia-mar e cujo limite marítimo é determinado pela profundidade a que as ondas iniciam a movimentação dos materiais. [1].

Este conceito técnico, mais lato do que o conceito popular que identifica a ideia de praia apenas com o areal banhado pelas águas e posto a descoberto pelas marés - o espraiado -, permite considerar todo o material móvel de uma praia como pertencendo a um mesmo conjunto. Desde logo, as erosões ou enchimentos poderão ser tratadas como um deslocamento de materiais de uma para outra zona da praia, nomeadamente da zona emersa para a zona submersa, ou vice-versa.

Ainda de acordo com a definição, uma praia pode não apresentar zonas emersas, sendo então constituída unicamente por uma parte imersa, dita praia submersa. É o que acontece com certas praias pouco robustas cujo areal seco desaparece quando submetido a ondulação mais possante.

2 - FORMAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DAS PRAIAS

A configuração de uma praia resulta essencialmente da actuação da ondulação. Contudo, deve notar-se que essa actuação depende não só das suas características intrínsecas como ainda da influência nela exercida por inú

meros factores, de entre os quais se podem destacar, em primeiro lugar, a morfologia rochosa da região e, depois, as marés, as correntes e os ventos. Em cada circunstância a configuração assumida por uma praia é determinada fundamentalmente pelas características do seu material móvel.

A constituição morfológica da região desempenha um papel primordial na forma longitudinal da praia pelo maior ou menor abrigo que proporciona em relação à ondulação, pela orientação que imprime às correntes, etc. A forma, extensão e localização de cada praia dependem assim da geografia da região, corrigida ou não pela intervenção do homem, podendo originar-se praias de vários tipos:

- de litoral aberto - quando constituídas em costa aberta livre de acidentes geográficos. É o caso mais frequente (Vieira, Caparica, Santo André - fig. 1, Quarteira).

- de enseada - quando formadas num recôncavo da costa (Porto Covo - fig. 2, S. Martinho do Porto).

- de difracção - quando originadas pela difracção da ondulação (Cascais, Santo Amaro de Oeiras - fig. 3).



16071

Fig. 1 - Praia de litoral aberto
(Santo André)



16074

Fig. 2 - Praia de enseada
(Porto Covo)

- de retenção - quando apoiadas a um cabo ou ponta rochosa (Praia do Norte, na Nazaré; Santa Cruz - fig. 4, Carcavelos) ou a um esporão (Espinho, Estoril).

As praias do primeiro tipo possuem uma extensão não limitada, ao contrário do que sucede com as dos outros tipos. Como é óbvio, uma praia pode apresentar uma configuração mista, por conjugação de dois desses tipos.

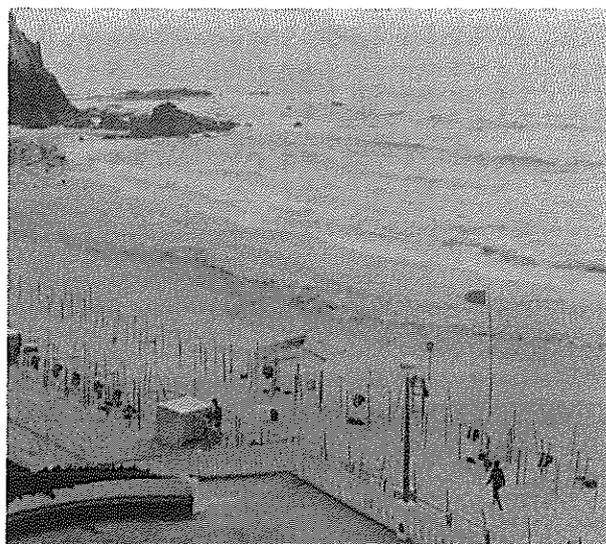
A influência das marés traduz-se não só pelo alargamento da faixa da praia submetida à actuação mais intensa da ondulação (faixa de rebentação e espraiamento), como ainda pelas correntes por ela originadas. O perfil das praias com marés de grande amplitude difere consideravelmente do de praias com marés de pequena amplitude, onde as fossas e barras são em geral mais bem definidas.

O vento é também um factor que pode influenciar decisivamente o perfil de uma praia, na medida em que modifique as características das ondas nas imediações da rebentação. Quando, à beira-mar, o vento sopra de terra para o mar, retarda-se o avanço das cristas das ondas e dá-se um aumento de transporte de massa pelo fundo no sentido de terra, originando-se, conse -



20808

Fig. 3 - Praia de difracção
(Santo Amaro de Oeiras)



16284

Fig. 4 - Praia de retenção
(Santa Cruz)

quentemente, o arrastamento de materiais para terra e o enchimento da zona emersa. E, inversamente, com vento soprando do mar para terra.

As correntes, originadas pela ondulação, marés, diferenças de temperatura, etc., têm uma acção directa na modelação das praias como agentes transportadores das aluviões que tenham sido postas em movimento quer pela ondulação - caso mais geral - quer, por vezes, por essas mesmas correntes. Além disso, exercem ainda uma acção indirecta modificando as condições de propagação e rebentação das ondas.

As transformações impostas numa praia pela ondulação dependem ainda, de uma maneira fundamental, das características do material móvel, de entre as quais se deve destacar imediatamente a granulometria, por ser o tamanho dos grãos o factor que condiciona essencialmente a intensidade com que a ondulação realiza o transporte dos materiais.

3 - MOVIMENTOS LONGITUDINAIS

O material posto em movimento pela ondulação pode deslocar-se no sentido longitudinal ou no sentido transversal.

Se a praia constituir uma unidade fisiograficamente independente, o transporte longitudinal provocará necessariamente um enchimento no lado de sotamar e uma erosão a barlamar, mas o volume total das areias da praia não se modificará. Porém, se o material em movimento puder transitar de uma praia para outra praia adjacente, o equilíbrio global da praia pode ser afectado. Neste caso, consoante o volume de material entrado por barlamar for maior ou menor do que o saído por sotamar, assim a praia estará em erosão ou enchimento global. Se esses volumes forem iguais, existirá um trânsito longitudinal de areia que não afectará a estabilidade da praia, dizendo-se então que existe um equilíbrio dinâmico.

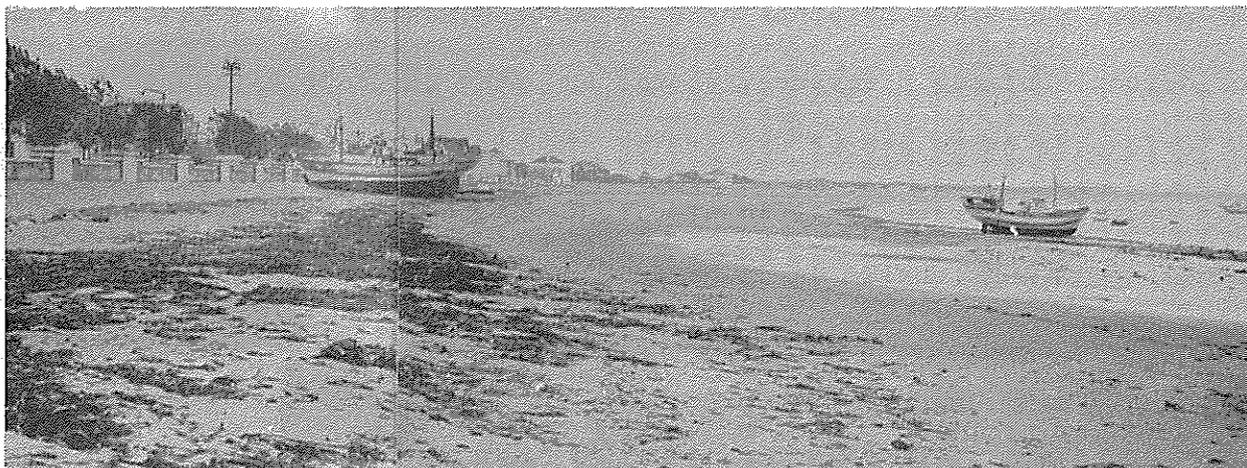
Os movimentos transversais não alteram o volume global das areias de uma praia, mas podem originar erosões ou enchimentos locais mais ou menos periódicos. Durante o inverno, quando as ondas são mais altas e de mais longo período, a parte emersa das praias apresenta-se erodida formando o chamado perfil de erosão ou de inverno. Contudo, como os materiais se depositam em regra logo abaixo da linha de água, durante o verão, com ondas mais baixas e de menor período, o perfil retoma em geral a configuração habitual, formando o chamado perfil de enchimento ou de verão.

O jogo dos movimentos transversais não é igual todos os anos, visto que a ondulação também varia de ano para ano. Nesse interim, pode acontecer que as areias sejam levadas até profundidades de onde já não sejam removidas para terra pela acção das ondas de menor altura. A parte emersa ficará então erodida durante alguns anos.

A erosão mais ou menos definitiva produzida pelo movimento transversal significa que o perfil transversal não atingiu ainda uma evolução global definitiva, o que acontece geralmente quando as praias apresentam no fundo inclinações muito elevadas (praias em peirau), como é o caso vulgar das praias artificiais quando formadas por um enchimento apenas das zonas mais elevadas. Diz-se então que a praia está não estabilizada transversalmente. Neste caso, a reconstituição do perfil desejado obriga a efectuar algumas recargas de areias, periódicas ou não, até se consolidar a configuração transversal da praia.

4 - NOMENCLATURA

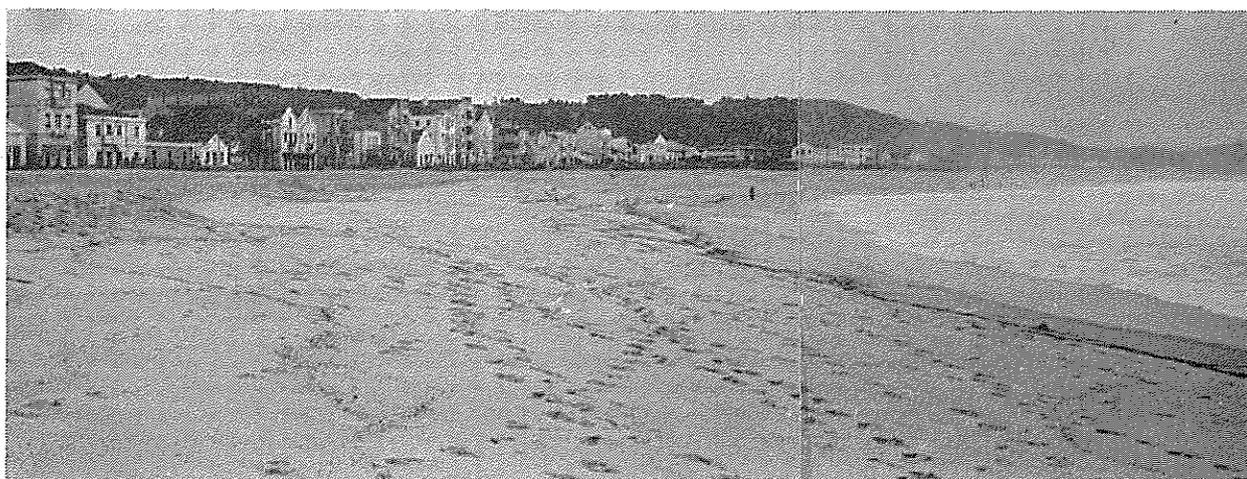
Uma praia é, por natureza, uma formação essencialmente instável, mudando constantemente ao sabor da ondulação. Desse modo, podem observar-se em qualquer praia infinitas variações da sua configuração longitudinal e



20811

Fig. 5 - Praia de areias finas (S. Martinho do Porto)

dos seus perfis transversais, muito embora essas variações sejam em geral mínimas. O aspecto apresentado pelo areal varia também de praia para praia, como se vê pelas figuras 5 e 6: - na primeira apresenta-se uma praia de areias finas, bem abrigada da ondulação (S. Martinho do Porto); na segunda mostra-se uma praia de areias grossas, exposta a forte ondulação oceânica (Nazaré).



20812

Fig. 6 - Praia de areias grossas (Nazaré)

As zonas e os acidentes mais característicos de uma praia podem ser evidenciados mediante um perfil transversal tipo, como se apresenta na figura 7.

Pode dividir-se o perfil em quatro zonas principais: - berma, espraído, ante-praia e largo.

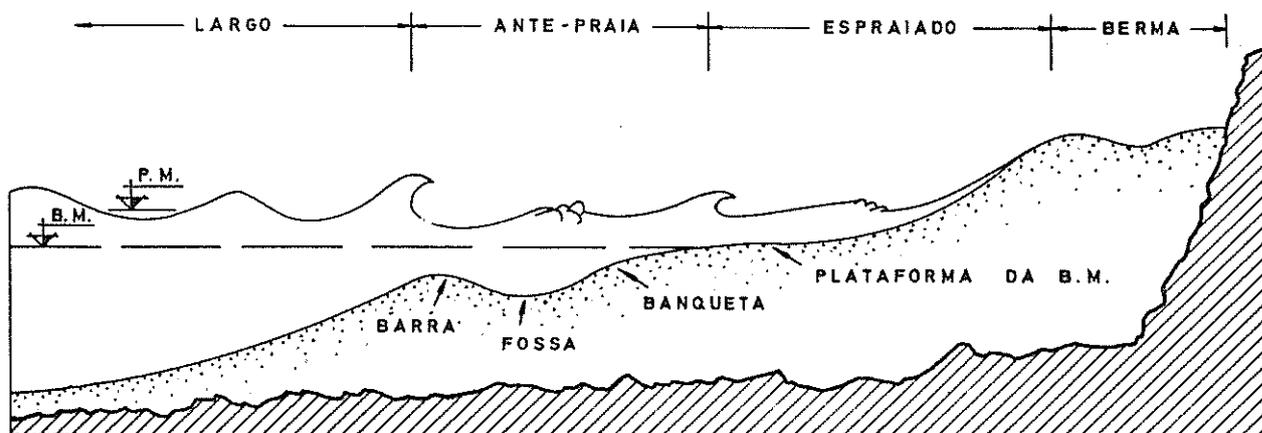


FIG. 7 - Perfil transversal tipo

A berma ("backshore")⁽¹⁾ é a parte mais elevada da praia, apresentando-se umas vezes em patamar, outras vezes, mais frequentemente, com inclinação negativa (descendo do mar para terra). Pode ser composta por duas formações: uma, interior, originada pela ondulação de inverno, e outra, exterior, em geral mais baixa, produzida pela ondulação de verão.

O conjunto de materiais que dão origem à berma constitui um cordão litoral separando o mar das terras adjacentes. As proporções deste cordão litoral passam em geral despercebidas quando a praia é limitada por falésias ou muralhas marginais, evidenciando-se apenas quando as terras adjacentes são mais baixas (Albufeira, Santo André).

(1) - Indicar-se-á a seguir ao vocábulo português, o termo já consagrado na literatura anglo-saxónica.

O espraiado ("foreshore") é sem dúvida a zona mais importante de uma praia. Corresponde à faixa banhada pelas águas e estende-se, portanto, desde a linha de água em baixa-mar até ao ponto mais alto atingido pelo espraiamento das ondas em preia-mar. É a esta zona que, na linguagem corrente, se associa a ideia de praia. Há quem designe esta faixa por "zona-inter-cotidal", usando-se no Brasil o termo "estirâncio". É frequente também o emprego do vocábulo francês "estran".

O espraiado possui em geral uma forma côncava, podendo apresentar, nas cotas inferiores, uma faixa sensivelmente em patamar, denominada plataforma de baixa-mar (fig. 8), por só aparecer quando a maré está no seu nível inferior.



16291

Fig. 8 - Plataforma de baixa-mar (Santa Cruz)

A ante-praia ("inshore") corresponde à faixa submersa compreendida entre a linha das primeiras rebentações das ondas e o espraiado. É a zona onde se processa a maior movimentação das areias, podendo ter um desenvolvimento maior ou menor consoante a altura das ondas e a duração da sua actuação. No seu conjunto apresenta uma inclinação relativamente pequena (da ordem de 2%), podendo considerar-se, assim, uma verdadeira "plataforma de rebentação".

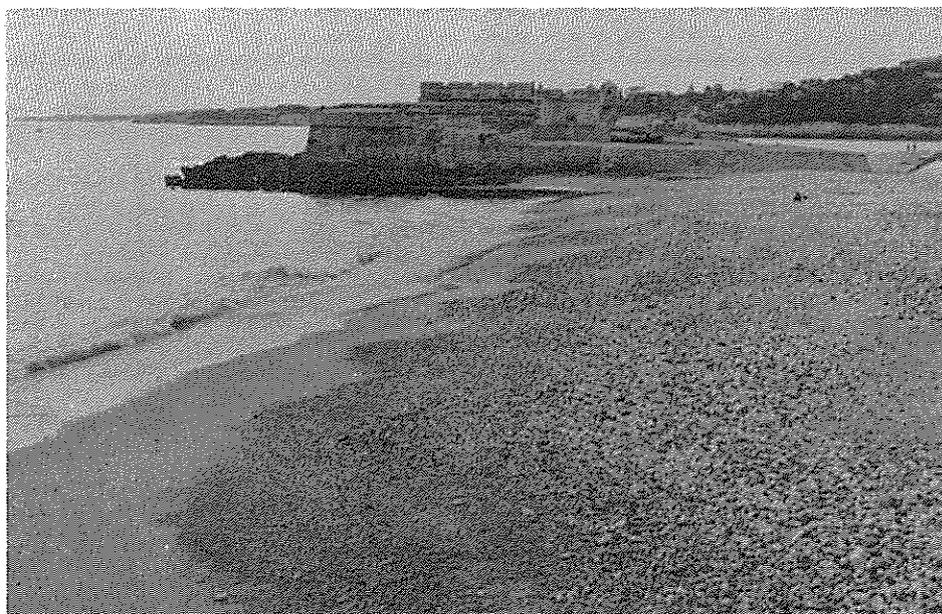
Nesta zona podem formar-se uma ou mais fossas ("trough"), produzidas pela rebentação mergulhante das ondas, a que ficam associadas barras ("longshore bar") formadas pela adjacente elevação de barlar. Próximo da linha de água de baixa-mar pode formar-se uma outra plataforma mais pequena, denominada banquetta ("step"), cuja forma se assemelha a um pequeno de-

grau. A banqueta é a continuação natural da plataforma de baixa-mar sempre que esta exista.

O largo ("offshore") é a zona de maiores fundos que se segue à barra exterior e se estende até às profundidades em que começa a movimentação das areias por acção da ondulação. Esta profundidade limite é, contudo, um tanto indefinida, dada a dificuldade de determinar o ponto em que se inicia o movimento dos materiais. No entanto, como o transporte das aluviões só é apreciável a profundidades relativamente pequenas, considera-se habitualmente que a praia termina a profundidades da ordem dos 15 metros ou até menos.

Os fundos do largo apresentam-se em geral crivado de rugas. As inclinações são muito suaves (0,5 a 1 %) subindo bruscamente perto da ante-praia, onde se forma o talude de rebentação, cujas inclinações podem atingir mais de 4%.

Além destes acidentes principais, as praias podem apresentar outras formas menores, de que destacaremos:



20810

Fig. 9 - Crescentes de praia (S. Bruno-Caxias)

- Crescentes de praia ("beach cusps") - Fig. 9 - Ondulado produzido no espraído em correspondência com as variações da ondulação ao longo da praia. Aparecem em todas as praias, sendo constituídas por uma sucessão de altos e baixos, formados, em geral, no espraído superior.

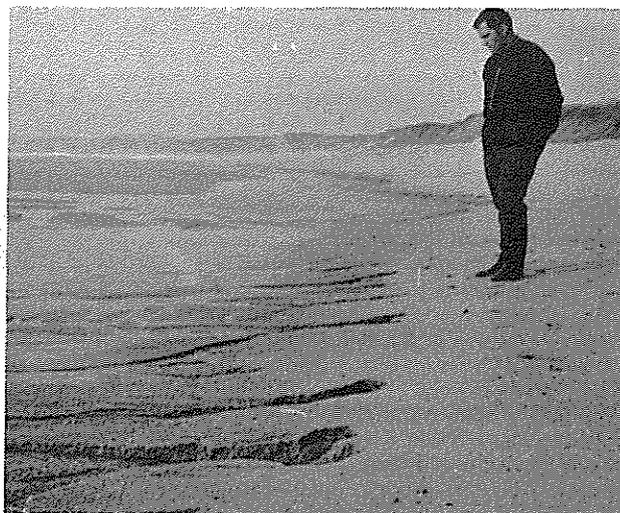
- Escarpas ou micro-falésias ("scarps") - Fig. 10 - Pequenas falésias produzidas no espraído pela ondulação erosiva. Corresponde a um fenómeno inverso do da formação das bermas, que resultam dos depósitos formados pelas sucessivas deixas do espraimento.

- Regueiros - Fig. 11 - Pequenas escavações produzidas no espraído pelo escoamento das águas retidas nas areias. Estes regueiros podem por vezes desenvolver-se formando autênticos canais de escoamento. Aparecem mais frequentemente na plataforma de baixa-mar, para escoamento dos charcos deixados pela maré vazante (fig. 8).



16082

Fig. 10 - Pequena escarpa
(Vila Nova de Milfontes)



16290

Fig. 11 - Regueiros de praia
(Santa Cruz)

CAP. II - O MATERIAL MÓVEL DAS PRAIAS

1 - GENERALIDADES

As propriedades fundamentais das praias (inclinação, extensão, capacidade, etc.) dependem directamente das características do seu material móvel, como se verifica, por exemplo, notando que uma praia de areias finas é sempre menos inclinada do que outra de areias grossas.

Estudos efectuados nos últimos anos sobre as diferenças de características apresentados por sedimentos de origens mais ou menos comuns demonstram que essas diferenças, por vezes mínimas, permitem identificar com precisão o ambiente peculiar a que os sedimentos respeitam. É possível, assim, distinguir areias eólicas, marinhas ou fluviais, muito embora apresentando diâmetros medianos iguais [2] , [3] .

Em engenharia marítima essas diferenças de características podem ter interesse na medida em que permitam esclarecer o modo como se processa o movimento dos materiais. Contudo, atendendo ao estado actual dos conhecimentos, não se justifica levar demasiado longe esse estudo, uma vez que ainda não se dominam, com precisão equivalente, outros factores de influência preponderante (ondulação, correntes, etc.).

De entre as características do material granular com importância primordial no estudo dos movimentos transversais, devem destacar-se o peso específico, a granulometria, a forma e a velocidade de sedimentação; no caso particular de estudos com modelos reduzidos, poderão ainda considerar-se a porosidade e a composição química dos materiais.

Como contribuição para o estudo dos atributos de uma praia devidos a cada uma destas características, desenvolver-se-ão no presente trabalho algumas considerações sobre as características granulométricas e sobre as suas

relações com a configuração transversal das praias na natureza e nos modelos.

2 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

De acordo com o Vocabulário de Estradas e Aeródromos [4], os materiais que compõem as praias classificam-se, consoante as suas dimensões, em siltes, areias, seixos e calhaus.

Para esta classificação toma-se como referência o "diâmetro equivalente" das partículas, o qual, quando definido por peneiração, é o comprimento do lado da malha quadrada de menores dimensões através do qual passa a partícula; e, quando definido por sedimentação, é o diâmetro da esfera do mesmo material que, dentro de água, cai com a mesma velocidade que a partícula.

As designações adoptadas naquele Vocabulário correspondem às dimensões indicadas no quadro seguinte :

QUADRO I - CLASSIFICAÇÃO DAS DIMENSÕES DOS MATERIAIS

DESIGNAÇÃO		LIMITES DO DIÂMETRO EQUIVALENTE		
ARGILA ...		< 0,002 mm		
SILTE	Fino	0,002	a	0,006 mm
	Médio	0,006	a	0,02 "
	Grosso	0,02	a	0,06 "
AREIA	Fina	0,06	a	0,02 "
	Média	0,2	a	0,6 "
	Grossa	0,2	a	6,0 "
SEIXO	Fino	2,0	a	6,0 "
	Médio	6,0	a	20,0 "
	Grosso	20,0	a	60,0 "
CALHAU		60	a	150 "

Consoante a preponderância das partículas que formam o espraiado, as praias classificam-se em praias de silte, de areia, de seixos e de calhaus.

As praias de silte são pouco frequentes na orla marítima, em virtude de as partículas mais finas entrarem facilmente em suspensão e poderem ser transportadas para o largo por quaisquer correntes, ainda que de pequena intensidade. As praias de seixos e calhaus, além de serem pouco frequentes, sobretudo na nossa costa, apresentam propriedades que se afastam sensivelmente das vulgares praias de areia, exigindo por isso um estudo particular.

Deste modo, justifica-se que, por comodidade de expressão, se empregue o termo areia para designar genericamente o material granular das praias naturais e, por extensão, o dos modelos de fundo móvel.

3 - GRANULOMETRIA

3.1 - Análise granulométrica

A análise granulométrica de uma amostra com partículas de diâmetro não inferior a 50μ , é efectuada normalmente por peneiração, usando séries apropriadas de peneiros. Havendo partículas de menores dimensões, utilizam-se outros processos, baseados nomeadamente na velocidade de sedimentação dada pela lei de Stokes [5].

Em todas as séries de peneiros que se fabricam, as aberturas variam segundo uma escala logarítmica, utilizando-se no LNEC (Serviço de Geotecnia) a série ASTM (American Society for Testing and Materials), em que a malha varia entre peneiros segundo a relação $\sqrt[4]{2}$, a que corresponde um intervalo de 0,25 unidades $\phi^{(1)}$. No anexo I apresenta-se uma tabela com o número

(1) - Estas unidades correspondem a uma escala aritmética que adiante será definida.

de cada peneiro e a correspondente abertura da malha em milímetros e em unidades ϕ .

O número de peneiros utilizados na análise granulométrica de uma amostra depende da finalidade de cada estudo, utilizando-se habitualmente no Serviço de Geotecnia uma série reduzida de razão $\sqrt[4]{2^3}$, a que corresponde um intervalo 0,75 ϕ . Este intervalo fornece em geral precisão suficiente para o estudo das areias das praias, como se verificou por comparação com os resultados obtidos com outras séries de intervalos mais apertados.

3.2 - Parâmetros estatísticos

A composição granulométrica das amostras é habitualmente traduzida num histograma relacionando as frequências, em peso, do material retido por cada peneiro com a abertura, em milímetros, da malha desse peneiro.

Para a maioria dos sedimentos tem-se verificado que o histograma torna-se em regra mais simétrico se os diâmetros forem representados segundo uma escala logarítmica, verificando-se também que a figura assim obtida aproxima-se notavelmente das curvas definidas por uma distribuição normal ou por uma distribuição dela derivada. Nestas condições, torna-se apropriado descrever uma composição granulométrica por intermédio de parâmetros estatísticos, beneficiando-se assim dos conhecimentos que se tem sobre as propriedades dessas distribuições.

O estudo destes parâmetros simplificar-se-á substituindo a escala logarítmica dos diâmetros por uma escala aritmética ϕ , mediante a transformação preconizada por Krumbein [6]:

$$\phi = -\log_2 d$$

em que d é o diâmetro das partículas em milímetros. No anexo I apresenta-se um ábaco relacionando os diâmetros em milímetros e na escala ϕ .

O cálculo dos parâmetros estatísticos é, em regra, muito trabalhoso.

Por isso se utilizam métodos gráficos simplificados que permitam a sua rápida determinação de modo suficientemente aproximado.

No método proposto por Inman [7], determina-se primeiramente, a partir da curva cumulativa traçada em papel aritmético de probabilidades, o valor dos diâmetros na escala ϕ correspondentes aos percentis 5, 16, 50, 84 e 95, ou seja, em notação abreviada, os valores ϕ_5 , ϕ_{16} , ϕ_{50} , ϕ_{84} e ϕ_{95} .

Mediante operações simples obtém-se imediatamente o valor dos seguintes parâmetros estatísticos, em notação ϕ :

$$\text{Diâmetro mediano} \dots\dots\dots \text{Md}_{\phi} = \phi_{50}$$

$$\text{Diâmetro médio} \dots\dots\dots \text{M}_{\phi} = \frac{1}{2} (\phi_{84} + \phi_{16})$$

$$\text{Dispersão} \dots\dots\dots \sigma_{\phi} = \frac{1}{2} (\phi_{84} - \phi_{16})$$

$$\text{Obliquidade} \dots\dots\dots \alpha_{\phi} = \frac{\text{M}_{\phi} - \text{Md}_{\phi}}{\sigma_{\phi}}$$

$$\text{Obliquidade segunda} \dots\dots\dots \alpha_{2\phi} = \frac{\frac{1}{2} (\phi_{95} + \phi_5) - \text{Md}_{\phi}}{\sigma_{\phi}}$$

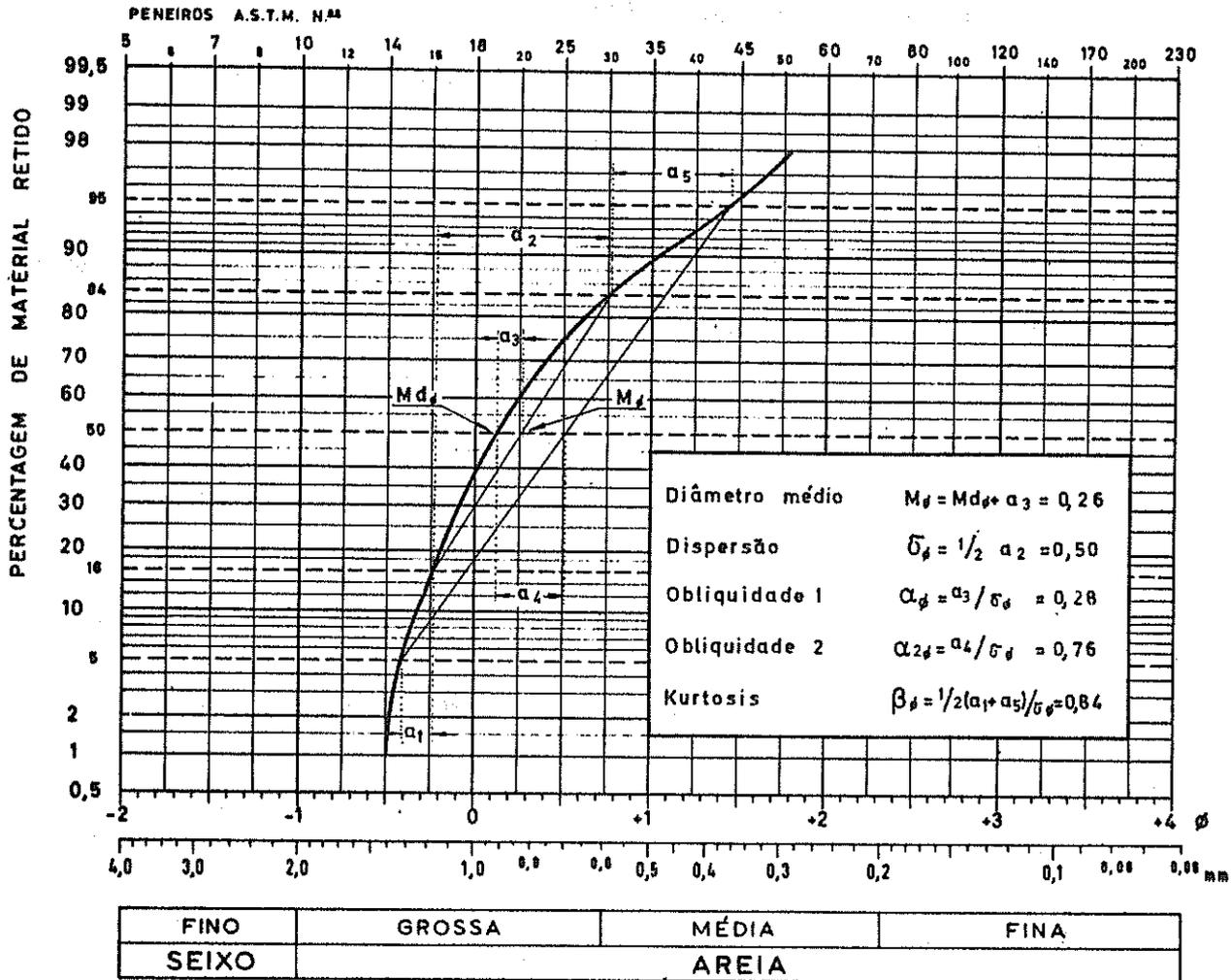
$$\text{Kurtosis} \dots\dots\dots \beta_{\phi} = \frac{\frac{1}{2} (\phi_{95} - \phi_5) - \sigma_{\phi}}{\sigma_{\phi}}$$

Para o traçado de curva cumulativa e para o cálculo destes parâmetros pode seguir-se, com toda a comodidade, o esquema apresentado na figura 11. O exemplo apresentado, extraído do referido trabalho de Inman, esclarece o significado físico desses parâmetros.

Se a composição granulométrica da amostra seguir uma distribuição normal, a respectiva curva cumulativa degenera numa linha recta. Nesse caso, os diâmetros médio e mediano serão iguais.

A dispersão, dada pelo intervalo ϕ entre os percentis 16 e 84, será tan

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
 AMOSTRA Nº 3 DA PRAIA _____
 COLHIDA EM - / - /196-; às - h - , cota -



PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

$\phi_{84} = 0,76$ Mediana $M_{d\phi} = 0,12$
 $\phi_{16} = -0,24$ " mm

$\phi_{84} - \phi_{16} = 1,00$ (1/2) → Dispersão $\sigma_\phi = 0,50$
 $\phi_{84} + \phi_{16} = 0,52$ (1/2) → Média $M_\phi = 0,26$

$S = M_\phi - M_{d\phi} = 0,16 - 0,12 = 0,14$

$\frac{S}{\sigma_\phi} =$ Obliquidade₁ $\alpha_\phi = 0,28$

$\phi_{95} = 1,42$
 $\phi_5 = -0,42$
 $\phi_{95} - \phi_5 = 1,48$ (1/2) → $\frac{1,84}{2}$ $K = 0,92$
 $\frac{K}{\sigma_\phi} - 1 = \frac{0,92}{0,50} - 1$ Kurtosis $\beta = 0,84$
 $\phi_{95} + \phi_5 = 1,00$ (1/2) → $\frac{1,00}{2}$ $M_2 = 0,50$
 $M_2 - M_{d\phi} = 0,50 - 0,12$ $S_2 = 0,38$
 $\frac{S_2}{\tau_\phi} = \frac{0,38}{0,50}$ Obliquidade₂ $\alpha_{2\phi} = 0,76$

Visto _____

Calculado por _____

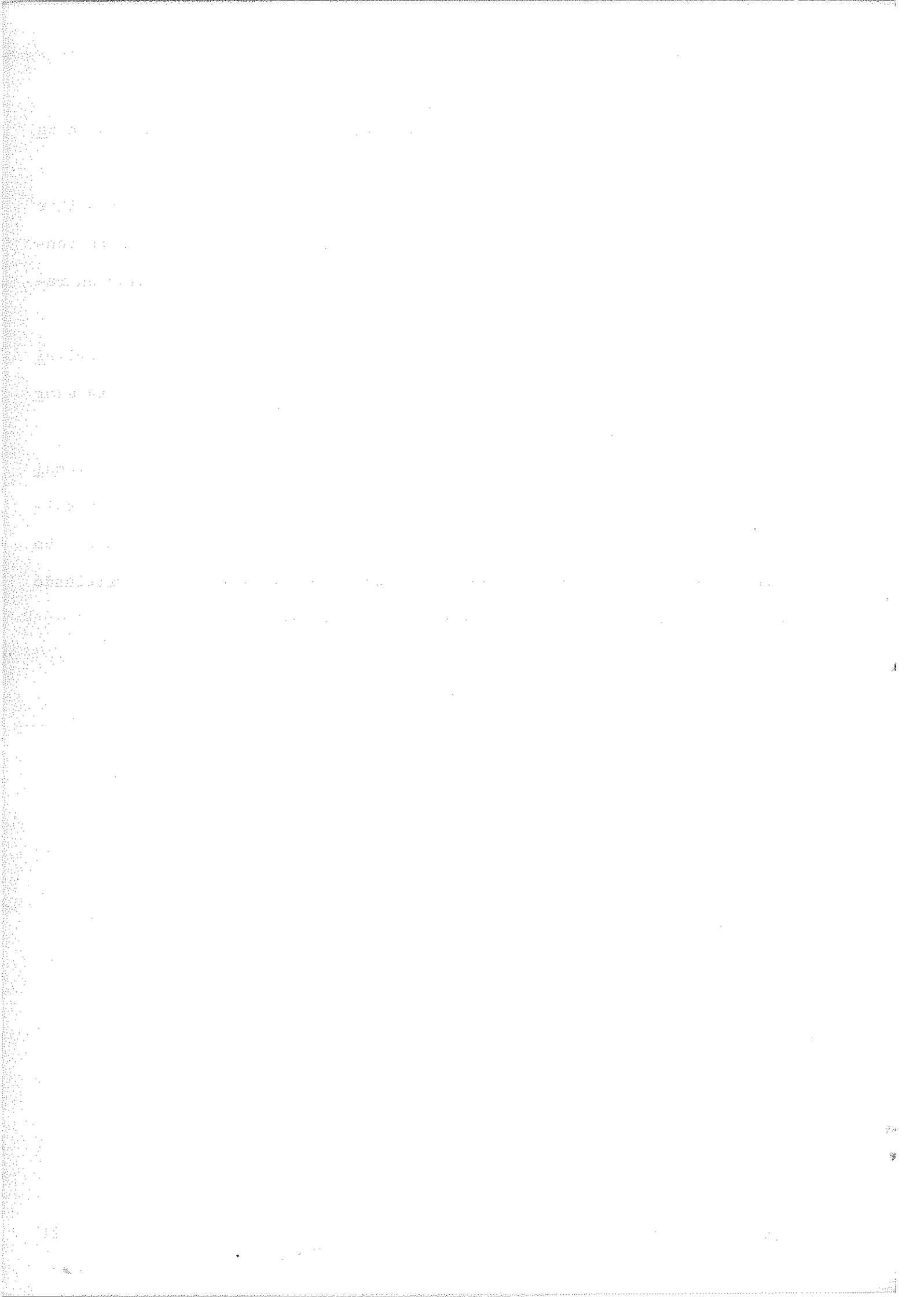
_____/_____/196____

to menor quanto mais inclinada for a curva, isto é, quanto melhor for a calibração dos diâmetros.

Se o índice de obliquidade for positivo, a amostra comporta uma melhor concentração de elementos grossos na região central definida pelos percentis 16 e 84. Se este índice for negativo, a concentração será maior em relação aos elementos finos.

O segundo índice de obliquidade tem um significado idêntico ao primeiro, mas traduz a concentração de elementos finos e grossos nas caudas da curva cumulativa.

A kurtosis evidencia a preponderância dos elementos muito finos ou muito grossos nos extremos da curva cumulativa. Para o caso de uma distribuição normal, o valor da kurtosis dado por este método é igual a $0,65 \phi$. Um valor mais elevado significa grande dispersão desses elementos, revelando que a curva cumulativa é pouco inclinada nos extremos.



CAP. III - ONDULAÇÃO

1 - GENERALIDADES

A ondulação é, sem dúvida, o principal agente modelador das praias, pelo que o conhecimento perfeito das suas propriedades é essencial à resolução dos problemas aluvionares. Serão referidos a seguir, em breve síntese, alguns dos aspectos dessas propriedades que mais directamente foram considerados neste trabalho.

2 - ONDAS POLICROMÁTICAS

É habitual definir a ondulação por três características principais: - período, comprimento e altura de onda. Pressupõe-se, assim, que as ondas se sucedem em combóio, mantendo invariáveis aquelas características.

Na verdade, a ondulação real apresenta uma variedade constante de características, difíceis de definir. O conceito de onda equivalente permite simplificar o estudo nos casos em que os fenómenos em causa possam ser traduzidas pelo efeito por um comboio de ondas monocromáticas de igual energia. Contudo, nem sempre a realidade pode suportar essa simplificação. Por exemplo, no caso da movimentação do material móvel dos modelos, verifica-se que, em regra, o espriado é sempre mais suave e regular quando se empregam ondas policromáticas.

Apesar disso, os estudos, quer teóricos, quer experimentais, são em geral baseados numa ondulação monocromática, em virtude de, por um lado, serem mais fáceis de definir e, por outro, permitirem identificar melhor as causas de cada fenómeno. Precisamente por isso, os ensaios efectuados para este trabalho foram iniciados com ondas monocromáticas.

A extensão ao caso de ondas policromáticas terá de ser feita passo a passo, até se cobrir toda a aleatoriedade que caracteriza as ondas reais. Numa primeira fase, pode considerar-se que essas ondas resultam da composição de dois comboios de ondas monocromáticas. Define-se assim um grupo modulado a que corresponde uma sequência periódica de ondas de altura progressivamente crescentes e decrescentes.

Na figura 13 apresenta-se o registo obtido no canal de vagas II pela composição de dois comboios de ondas de períodos respectivamente iguais a $T_1 = 1,000$ s e $T_2 = 1,182$ s, originados por dois geradores M_1 e M_2 acoplados ao mesmo batedor.

A periodicidade dos grupos de ondas assim formados, pode ser obtida calculando o número de rotações de cada gerador necessárias à repetição do fenómeno, ou seja até que o desfaseamento ou atraso de um gerador em relação ao outro seja igual a uma rotação completa.

Seja t_g o tempo necessário a essa repetição e n o número de rotações do gerador M_1 nesse tempo. Sendo $2\pi/T_1$ e $2\pi/T_2$ as velocidades angulares de cada gerador, ao fim de um tempo t o desfaseamento em relação a uma posição inicial será:

$$\Delta = \left(\frac{2\pi}{T_1} - \frac{2\pi}{T_2} \right) t$$

Tomando como referência a posição ocupada no momento inicial pelo gerador M_1 , a repetição do fenómeno dar-se-á quando o atraso do gerador M_2 sobre M_1 for igual a uma rotação completa. O gerador M_1 terá então dado n rotações, pelo que terá de ser:

$$\left(\frac{2\pi}{T_1} - \frac{2\pi}{T_2} \right) nT_1 = 2\pi$$

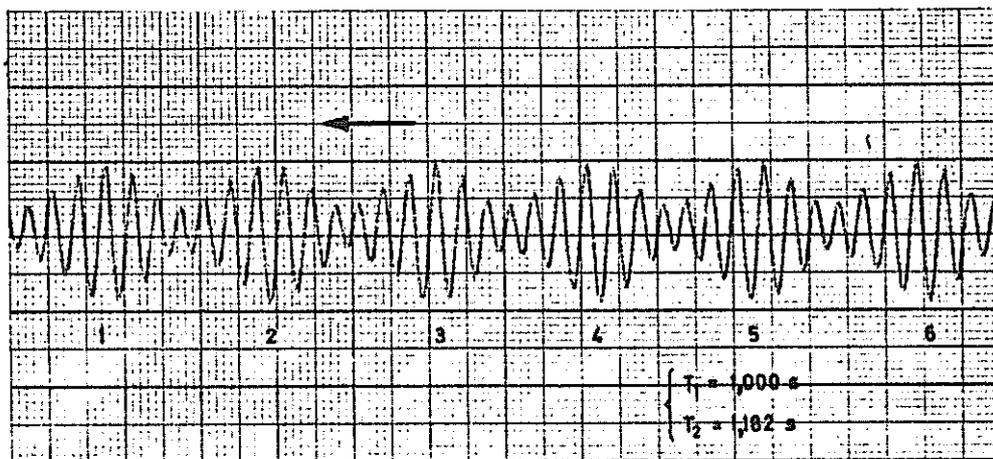


Fig. 13 - Composição de dois comboios de ondas

ou seja:

$$n \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) = 1$$

e, portanto:

$$n = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Esta expressão permite determinar o número n de ondas do primeiro comboio e, conseqüentemente, o número $n+1$ de ondas do segundo comboio, que compõem o grupo de ondas formado. A periodicidade no tempo deste grupo poderá ser obtida por

$$t_g = nT_1 = (n+1) T_2$$

Inversamente, desejando-se produzir nos modelos um grupo que se repita ao fim de n ondas do comboio de período T_1 , o período do segundo comboio será:

$$T_2 = \frac{n}{n-1} T_1$$

Convém notar que os grupos formados pela composição de dois comboios T_1 e T_2 , embora tenham sempre a mesma periodicidade e a mesma envolvente, só serão exactamente iguais desde que n seja um número inteiro. Caso contrário, a composição formada difere de grupo para grupo.

No exemplo atrás indicado, cada grupo é formado pelo seguinte número de ondas do primeiro comboio:

$$n = \frac{1,182}{1,182 - 1,00} = 6,50$$

Repare-se que nestas condições o terceiro grupo inicia-se após a passagem de $2n = 13,0$ ondas, o que significa que a composição do terceiro grupo será exactamente igual à do primeiro grupo e diferente da do segundo.

3 - OSCILAÇÃO DO FLUIDO JUNTO AO FUNDO

Como se sabe, a propagação de uma onda é acompanhada por um movimento orbital das moléculas líquidas, que pode ou não ser fechado.

As grandes profundidades, superiores a meio comprimento de onda, as órbitas descritas pelas moléculas podem considerar-se circunferências cujo diâmetro, à superfície, é igual à altura da onda mas que, no seio do líquido diminui rapidamente com a profundidade (fig.14).

A menores profundidades as órbitas passam a elipses, progressivamente achatadas a partir da superfície do líquido, degenerando numa linha recta junto ao fundo.

O movimento junto ao fundo, responsável pelo transporte dos materiais,

introduz velocidades que, em primeira aproximação, e para profundidades relativas $d/L > 0,1$ podem ser calculadas pela seguinte expressão:

$$V = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \cos \frac{2\pi t}{T}$$

em que:

- H - a altura da onda
- T - período
- L - comprimento de onda
- d - profundidade
- t - tempo decorrido

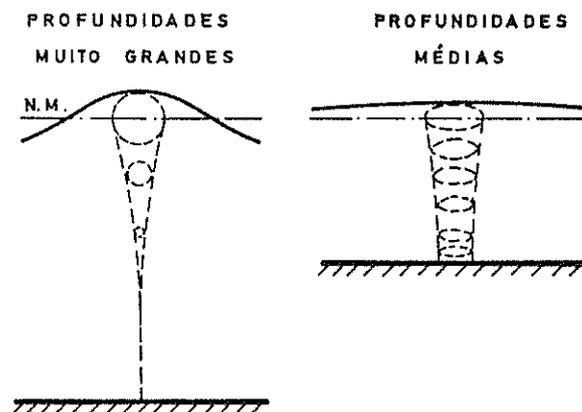


Fig. 14 - Movimento orbital do fluido

Durante a passagem da crista, o movimento junto ao fundo tem o sentido de terra; e inversamente, durante a passagem da cava. A velocidade máxima induzida será, consequentemente:

$$V_M = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\sinh \frac{2\pi d}{L}}$$

Verifica-se, assim, que esta velocidade é tanto maior quanto maior for a altura de onda, e quanto menores forem o período e a profundidade.

No caso de ondas policromáticas, as variações sucessivas de altura de onda introduzem uma oscilação global junto ao fundo que se reveste de certo interesse para a evolução dos perfis transversais.

Com efeito, consideremos ainda o grupo de 9 ondas resultantes da composição dos dois comboios de onda atrás definidos.

À passagem da crista da onda de menor altura gera-se no fundo um movimento do fluido com o sentido de terra e com uma certa velocidade máxima. Na passagem da cava seguinte, o movimento tem o sentido do mar, mas como esta cava partilha das características da crista seguinte, de maior altura, as velocidades são maiores do que na fase anterior. Consequentemente, terminada a passagem da primeira onda terá havido um transporte global do fluido no sentido do mar. O processo repete-se com as ondas seguintes até passar a onda de maior altura, após o que se inverte o sentido desse transporte global.

A oscilação global do fluido com ondas policromáticas é facilmente visível num canal de vagas e parece razoável admitir que essa oscilação também se dará na natureza.

CAP. IV - MOVIMENTAÇÃO DOS MATERIAIS

1 - INÍCIO DO MOVIMENTO

Ao estudar a movimentação dos materiais, o primeiro problema que se levanta é o da determinação das velocidades que dão origem ao movimento.

A este respeito os resultados obtidos pelos diversos autores diferem consideravelmente, conforme se pode ver pelos valores indicados no quadro II, apresentado por Zenkovish [8], acrescidos dos valores calculados pela lei de Goddet [9] para o período de 6 segundos:

Dos autores citados, Larras, Bagnold e Goddet admitem que a velocidade crítica depende do período da ondulação. Esta hipótese parece de facto corresponder à realidade.

Uma vez postas em movimento, as partículas podem deslocar-se de vários modos (fig. 15):

- por tracção, junto ao fundo;
- por rolamento, também junto ao fundo;
- por saltação, entrando em suspensão durante um tempo muito curto;

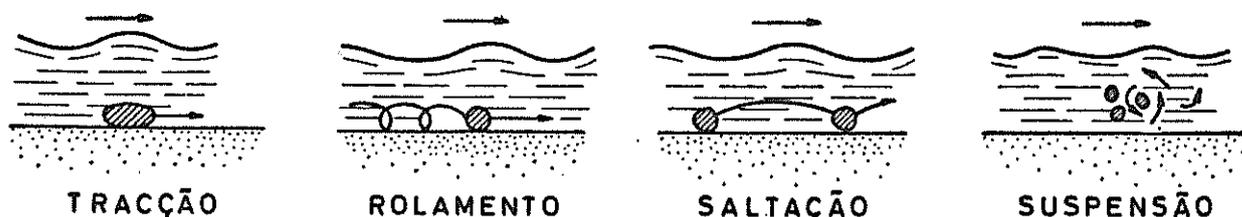


Fig. 15 - Modos de movimentação dos materiais

QUADRO II

Velocidades críticas (cm/s) de início
de arrastamento segundo vários autores

Autor	DIÂMETRO DOS GRÃOS (mm)										T, sec
	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0	4.0	
Penck, 1894	4.5	6.3	9.0	11.0	12.7	14.2	20.0	24.4	28.3	28.3	-
Eagleson, 1958	6.9	9.7	13.7	16.8	19.4	21.7	30.6	37.4	43.4	43.4	-
Larras, 1957	5.2	6.2	8.9	11.1	13.4	15.6	23.6	27.8	31.5	31.5	6.0
Bagnold, 1946	11.1	15.2	20.5	24.4	27.7	30.5	41.2	49.0	55.5	55.5	6.0
Gugnyaev 1959	4.7	7.5	10.4	12.7	14.5	16.0	23.0	28.0	32.0	32.0	-
Volkov 1960	-	8.0	10.2	12.8	15.3	17.3	25.2	29.8	-	-	-
Goddet		27.2	32.3	35.8	-	-	-	-	-	-	6.0

*V_H - Início de movimento de partículas individuais

+V_C - Início de deslocamento em massa.

- por suspensão, movimentando-se no seio do líquido durante um tempo mais ou menos prolongado.

Quando as partículas entram em suspensão, a velocidade necessária à continuação do movimento é menor do que a velocidade crítica. Conforme mostrou Hjulström [10], fig. 16, as partículas muito finas só se depositam posteriormente quando a velocidade baixa consideravelmente. Por exemplo, um grão de 0,1 mm de diâmetro necessita de uma velocidade da ordem de 20 cm/s para entrar em movimento, mas, uma vez posto em suspensão, só se depositará quando a velocidade do fluido for inferior a 0,8 cm/s.

2 - PROFUNDIDADE DA MOVIMENTAÇÃO

O cálculo das velocidades induzidas no fluido pela ondulação é em geral difícil de efectuar, embora se possa levar a grande grau de aproxima-

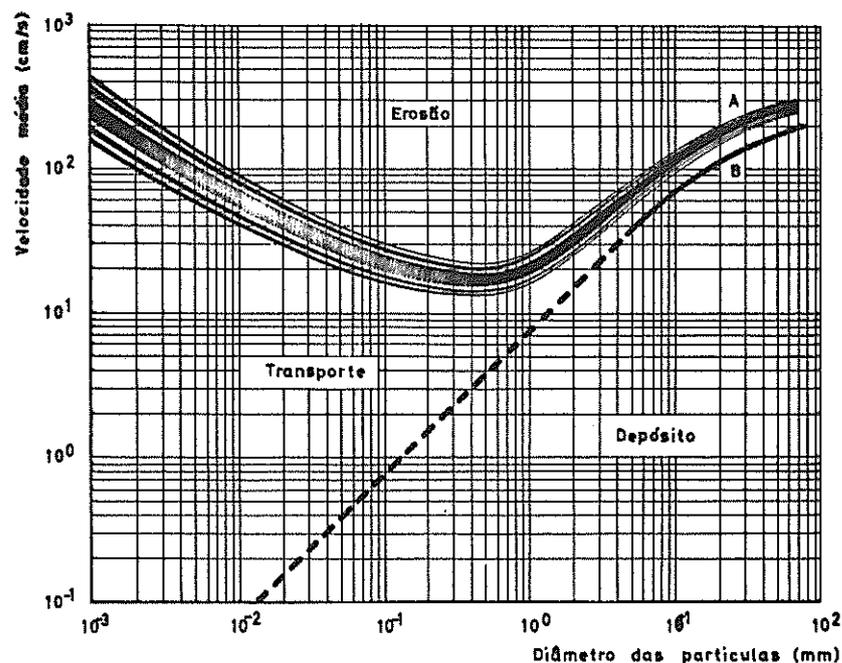


Fig. 16 - Velocidades críticas de transporte (segundo Hjulström)

ção. No estudo a seguir apresentado, considerar-se-á apenas a 2ª aproximação da teoria de Stokes [5], que se julga suficiente para um primeiro esclarecimento do problema.

Segundo esta teoria, a velocidade do fluido num determinado ponto do fundo admite a seguinte componente horizontal:

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\sinh \frac{2\pi d}{2}} \cos \frac{2\pi t}{T} + \frac{3}{4} \frac{\pi^2 H^2}{TL} \frac{1}{\sinh^4 \frac{2\pi d}{2}} \cos \frac{4\pi t}{T}$$

A oscilação tem, pois, o carácter sinusoidal, sendo as velocidades determinadas por duas componentes de períodos T e T/2, respectivamente. Designemos essas componentes por A e B.

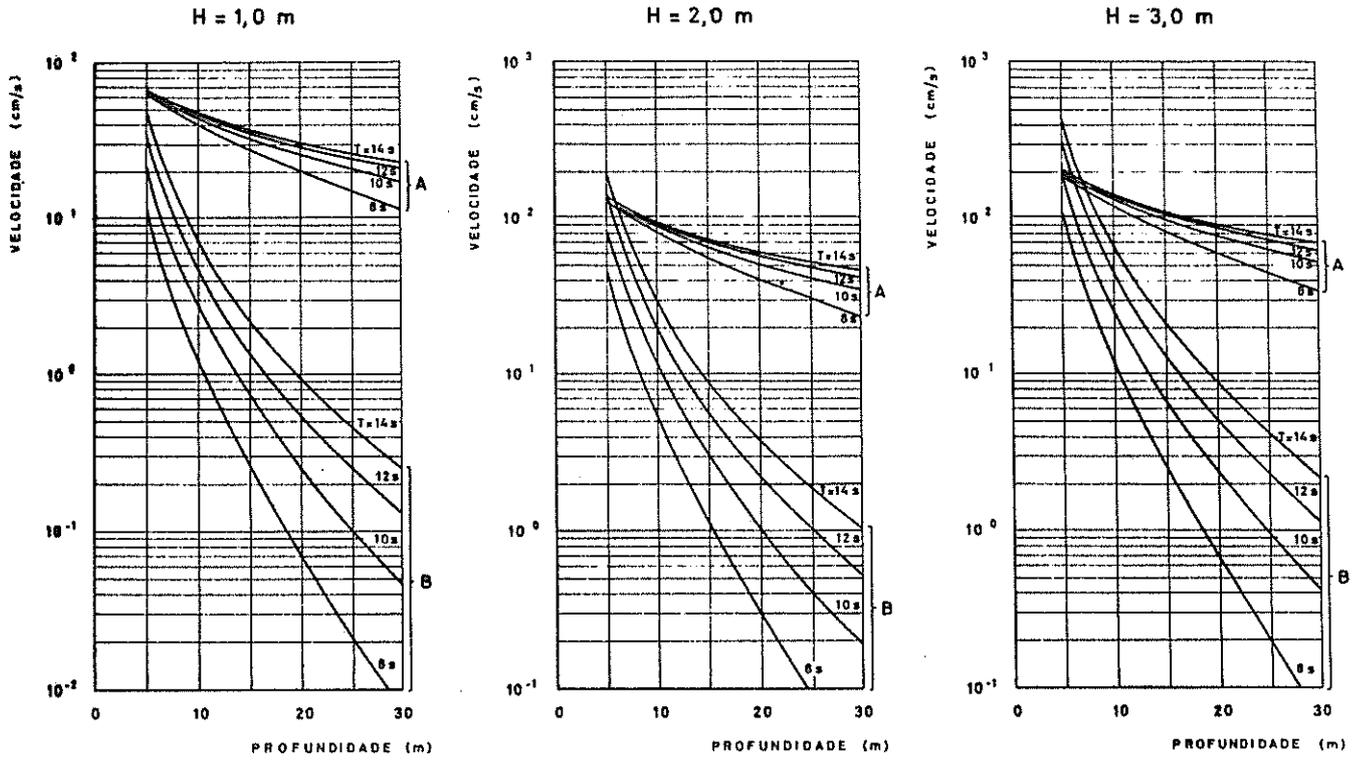
Para determinar a importância relativa de cada componente, efectuou-se o cálculo das respectivas velocidades máximas em relação a ondas de período 8, 10, 12 e 14 segundos, com alturas de onda de 1, 2 e 3 metros e para profundidades de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 metros. Os valores obtidos permitiram o traçado das curvas da fig. 17, com base nas quais se podem extrair as seguintes conclusões:

1ª - Para a mesma altura de onda a velocidade máxima no fundo é tanto maior quanto maior for o período.

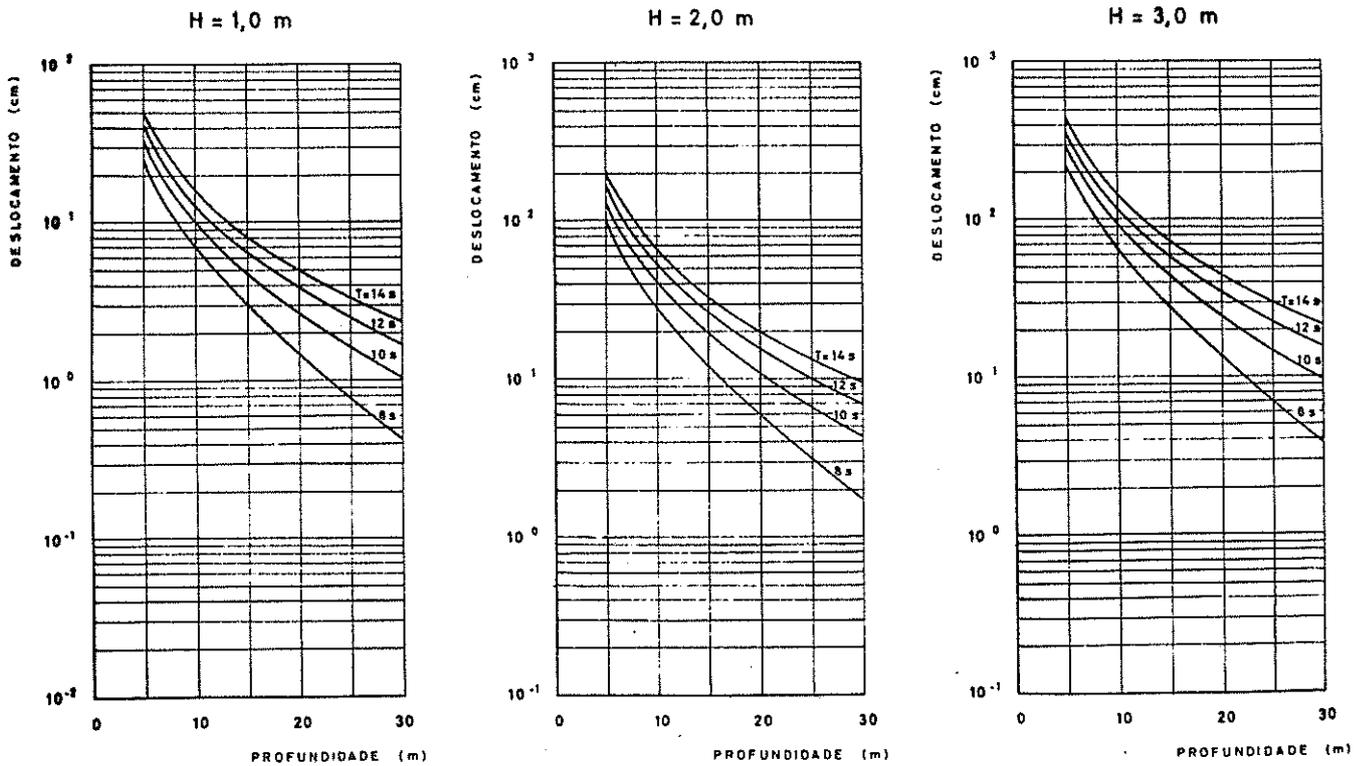
2ª - Para um mesmo período, as velocidades máximas devidas à componente A aumentam proporcionalmente à altura da onda e as devidas à componente B aumentam proporcionalmente ao quadrado da altura da onda.

3ª - As velocidades máximas devidas à componente B são insignificantes a grande profundidade, mas aumentam rapidamente à medida que diminuem os fundos, podendo atingir valores iguais ou superiores às da componente A.

4ª - Admitindo que determinada partícula necessita de uma velocidade de 20 cm/s para entrar em movimento, uma onda com a altura de 1 metro produz o



a) - Velocidades máximas segundo Stokes (2ª aproximação) - Componentes A e B



b) - Transporte de massa ao fim de um período

MOVIMENTOS PRODUZIDOS NO FUNDO PELA ONDULAÇÃO

início desse movimento à profundidade de 20 m se o período for de 8 s; à profundidade de 26 m se o período for de 10 s; e para além dos 30 m se o período for de 12 s.

5ª - Em relação à partícula considerada no caso anterior, qualquer onda de 3 m de altura e período superior a 8 s produz o início do movimento em profundidades superiores a 30 m.

O movimento do fluido determinado pela segunda aproximação de Stokes implica a existência de um transporte de massa junto ao fundo, com o sentido de terra e com a seguinte velocidade média:

$$\bar{U} = \frac{1}{2} \frac{\pi^2 H^2}{TL} \frac{1}{\sinh^2 \frac{2\pi d}{L}}$$

O deslocamento do fluido que lhe corresponde no tempo T foi também calculado para os períodos, alturas de onda e profundidades acima referidas, permitindo a construção das curvas apresentadas na fig. 17.

Convém esclarecer, entretanto, que o transporte de massa determinado por Stokes parece afastar-se da realidade. Longuet-Higgins [11], estudando o efeito introduzido pela viscosidade do fluido, indica um valor 5 vezes superior ao de Stokes. Russell e Osório [12] verificaram que, em profundidades relativas d/L variando entre 0,11 e 0,24, a teoria de Longuet-Higgins prediz com bastante exactidão os movimentos. Contudo, para profundidades maiores essa teoria não parece ser tão satisfatória como a de Stokes.

Pode, pois, admitir-se como válida uma ou outra teoria, sem prejuízo das conclusões de ordem qualitativa apresentadas a seguir.

Verifica-se, então, pelas curvas obtidas, que o deslocamento efectivo do fluido junto ao fundo aumenta também à medida que diminuem as profundidades, de modo semelhante à variação das velocidades máximas da componente B acima referida.

Estas curvas esclarecem ainda que, muito embora as partículas estejam submetidas a uma força transportadora no sentido de terra, o seu deslocamento efectivo é muito reduzido. De facto, o deslocamento do fluido a 20 m de profundidade é da ordem de 1,5 a 5 cm, para ondas de 1 m de altura e períodos de 8 a 14 s, respectivamente; ou ainda de 15 a 45 cm para ondas de 3 m e para os mesmos períodos. Além disso, é importante ter em conta que o movimento das partículas não acompanha completamente o deslocamento do fluido. Assim, de acordo com Bagnold [13], a velocidade do transporte dos sedimentos pode estimar-se em $1/3$ da do fluido. Por outro lado, a presença de rugas no fundo faz diminuir ainda o volume do transporte sólido, conforme também já evidenciou Bagnold [14].

Atendendo a que as alturas de onda mais frequentes na costa portuguesa não excedem, em 65% dos casos, 2 m de altura e, em 85% dos casos, 3 m de altura [15], conclui-se, portanto, que é insignificante o transporte de material a 20 m de profundidade, assim se justificando que se considere praticamente a profundidade de 15 m como o limite marítimo de uma praia exposta à ondulação oceânica.

3 - SENTIDO DA MOVIMENTAÇÃO NOS FLUIDOS

3.1 - Posição do problema

O perfil resultante de todas as ondulações a que o material móvel está sujeito apresenta diferenças sensíveis de zona para zona, como se pode ver pelo esquema da fig. 7.

As observações que se têm efectuado sobre a movimentação dos materiais nos fundos do largo revelam que, na grande maioria dos casos, as areias caminham no sentido de terra. É intuitivo, contudo, que esse caminamento de

verá ter um limite, pois, de contrário, o espriado deveria encher indefinidamente. Mau grado as observações efectuadas, pode afirmar-se "à priori" que o transporte de materiais nos fundos tem de, necessariamente, variar de sentido, devendo ocorrer umas vezes no sentido de terra, outras vezes no sentido do mar. O facto de não terem sido observados movimentos no sentido do mar deve-se, provavelmente, a que esses movimentos ocorrem apenas, ou sobretudo, durante as tempestades, isto é, quando as observações são mais difíceis de efectuar.

O problema do sentido de movimentação nos fundos tem sido analisado por numerosos autores. Em 1898, Cornaglia [16] apresentou a hipótese de existir, para partículas de determinado tamanho e para cada ondulação, uma linha neutra separando duas zonas de movimentação: - na zona de cotas mais elevadas do que a linha neutra essas partículas seriam deslocadas no sentido de terra; na zona de cotas inferiores seriam transportadas no sentido do mar.

Essa teoria teve aceitação durante algum tempo, foi depois posta em causa e reassumiu recentemente novo interesse desde que, em 1955, Ippen e Eagleson [17] conseguiram exprimir a posição dessa linha neutra, numa praia com 15% de inclinação, em função da ondulação e das características dos materiais. Zenkovich [8] apresentou também recentemente, uma análise desenvolvida da teoria.

Os ensaios efectuados por Scott [18], em 1954 revelaram que a evolução do perfil do fundo depende muito da situação criada pela ondulação precedente. Com efeito, submetendo uma praia a uma ondulação de grande declividade (4,4 %) verifica-se, como seria de esperar, que um volume elevado de materiais é deslocado para o largo. Diminuindo depois a declividade da onda para um valor bastante baixo (1,6 %), observa-se que os materiais da plataforma de rebentação são devolvidos ao espriado, como também se podia esperar, mas, surpreendentemente, no extremo marítimo da base de movimenta-

ção criada pela ondulação anterior, as areias são mais uma vez deslocadas para o largo.

Vejam os factos como se podem harmonizar estes factos.

3.2 - Determinação das características da movimentação

Retomando as componentes A e B definidas pela teoria de Stokes em 2ª aproximação, representemos o diagrama de velocidades observadas num determinado ponto do fundo e o respectivo sentido da movimentação (fig. 18).

A componente B da velocidade, de frequência dupla da da componente A, é tal que as suas velocidades máximas com o sentido de terra ocorrem durante a passagem de uma crista ou de uma cava. Durante a passagem das cristas essa velocidade soma-se à velocidade máxima da componente A, aumentando a força de tracção no sentido de terra. Inversamente, durante a passagem das cavas a componente B faz diminuir a força de tracção no sentido do mar.

Sejam: V_c a velocidade crítica de início de movimento; V_t a velocidade máxima com o sentido de terra; e V_l a velocidade máxima no sentido do largo.

Consoante os valores relativos e absolutos destas componentes e das velocidades V_t e V_l por elas determinadas, vários casos se podem dar:

1º caso - A componente B é insignificante e a velocidade determinada por A é insuficiente para produzir o início do movimento ($V_c > V_t = V_l$)

Neste caso não se observa qualquer transporte.

2º caso - A componente B é insignificante, mas a velocidade A é suficiente para pôr as areias em movimento ($V_t = V_l > V_c$).

Neste caso os materiais estão sujeitos a um movimento oscilatório puro. A inclinação do fundo, ainda que muito pequena, faz intervir uma componente de tracção, com o sentido do largo, devida à força de gravidade. Os

materiais deslocam-se então no sentido do mar, em bora muito lentamente.

A presença de quaisquer correntes no fundo mais pode contribuir para esta movimentação.

3º caso - A componente B introduz uma diminuição na força de tracção com o sentido do mar, mas a velocidade máxima do fluido é superior à velocidade crítica de arrastamento ($V_t > V_l > V_c$).

Observa-se, então uma velocidade maior durante a passagem das cristas do que na passagem das cavas.

O movimento para terra é mais veloz do que o movimento para o mar, mas este último tem maior duração.

Tendo em conta a força da gravidade, conclui-se que o transporte global pode, neste caso, ter

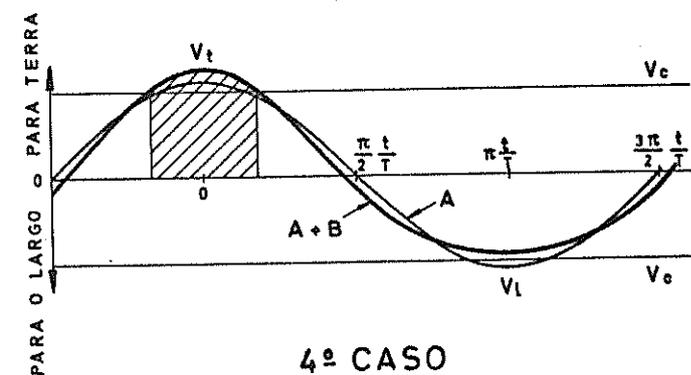
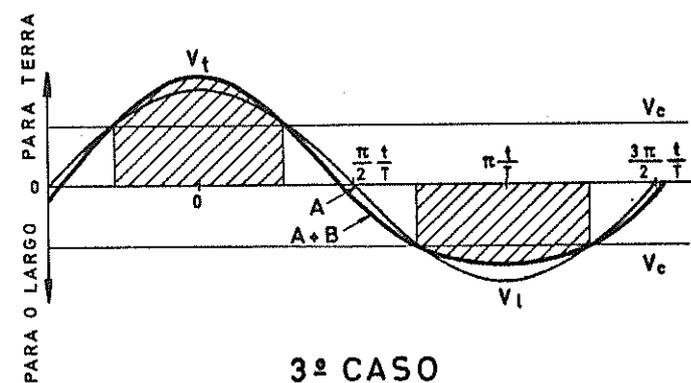
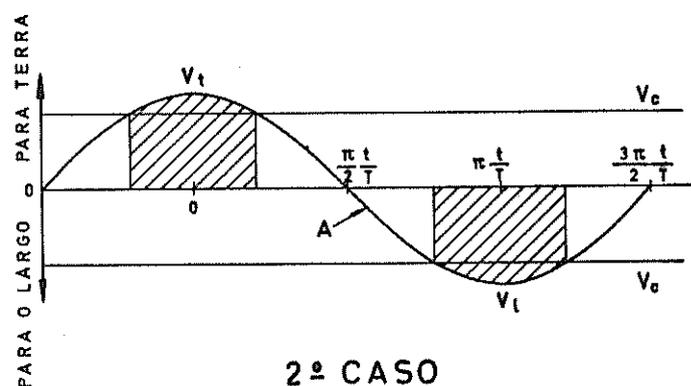
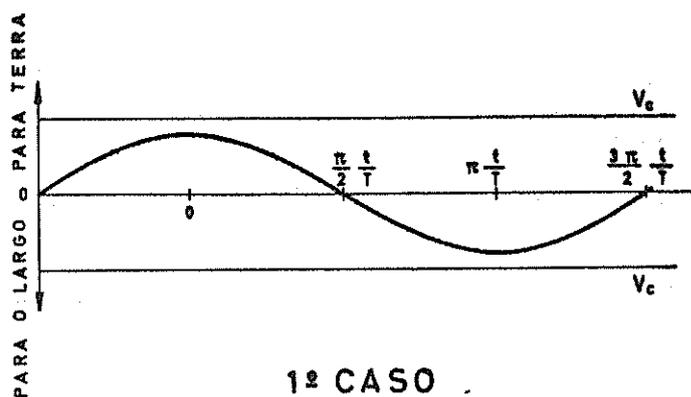


Fig. 18 - Condições de movimentos nos fluidos

o sentido de terra ou o do mar, consoante o valor relativo das componentes e da inclinação do fundo.

4º caso - A componente B introduz uma diminuição na força de tracção com o sentido do mar, tornando a velocidade máxima do fluido durante a passagem da cava inferior à velocidade crítica de arrastamento ($V_t > V_c > V_l$).

Neste caso só a passagem das cristas produz movimento e, portanto, o transporte é sempre no sentido de terra.

Com o aumento desta velocidade de arrastamento as partículas podem entrar em suspensão. Nesse caso, embora o transporte seja predominantemente para terra, a passagem das cavas é acompanhada por um movimento de materiais para o largo, de acordo com os resultados de Huljtröm sobre o início de movimento, transporte e deposição.

Como corolário deste esquema, resulta imediatamente que as partículas mais finas tendem a depositar-se ao largo e as mais grossas próximo da rebentação. Com efeito, o transporte das aluviões para o largo resulta da possibilidade de as partículas entrarem em suspensão momentânea, permitindo que a componente da força da gravidade possa exercer a sua acção. Isso acontece predominantemente com as partículas mais finas.

3.3 - Características da movimentação nos fundos

Tendo em conta o estudo acima apresentado, verifica-se que o movimento dos materiais nos fundos depende das características da ondulação e é tanto mais intenso quanto menor for a profundidade. Vejamos como variam as características desse movimento à medida que a uma onda se propaga desde o largo até à zona de rebentação.

A profundidades pouco inferiores a meio comprimento de onda, o movimento do fluido traduz-se por uma oscilação periódica de pequena amplitude, sem componente vertical, paralela à superfície dos fundos. As velocidades

são insuficientes para pôr as areias em movimento.

Ao atingir a zona seguinte, de profundidades um pouco menores, o movimento do fluido no fundo atinge velocidades máximas que serão já suficientes para produzir a movimentação das partículas mais finas. Estas partículas ficam então submetidas a uma breve oscilação de arrastamento não havendo, pois, qualquer transporte de material.

Noutra zona ainda mais baixa, as partículas são submetidas a maiores velocidades de arrastamento, oscilando então numa pequena extensão, seja de um para outro lado das cristas das rugas, seja até de ruga para ruga. A movimentação das partículas mais finas efectua-se agora por saltação, iniciando-se, ao mesmo tempo, o arrastamento dos grãos mais grossos.

Nas profundidades seguintes, as velocidades do fluido são já suficientes para pôr todos os grãos superficiais em movimento. Algumas partículas entram em suspensão enquanto outras se deslocam por saltação. Nesta fase, a propagação de onda é acompanhada de um apreciável transporte de massa junto ao fundo, em resultado do qual se produz um transporte de materiais com o sentido de terra. Este movimento para terra intensifica-se progressivamente com a diminuição da profundidade, e, por isso, as inclinações dos fundos irão também aumentando.

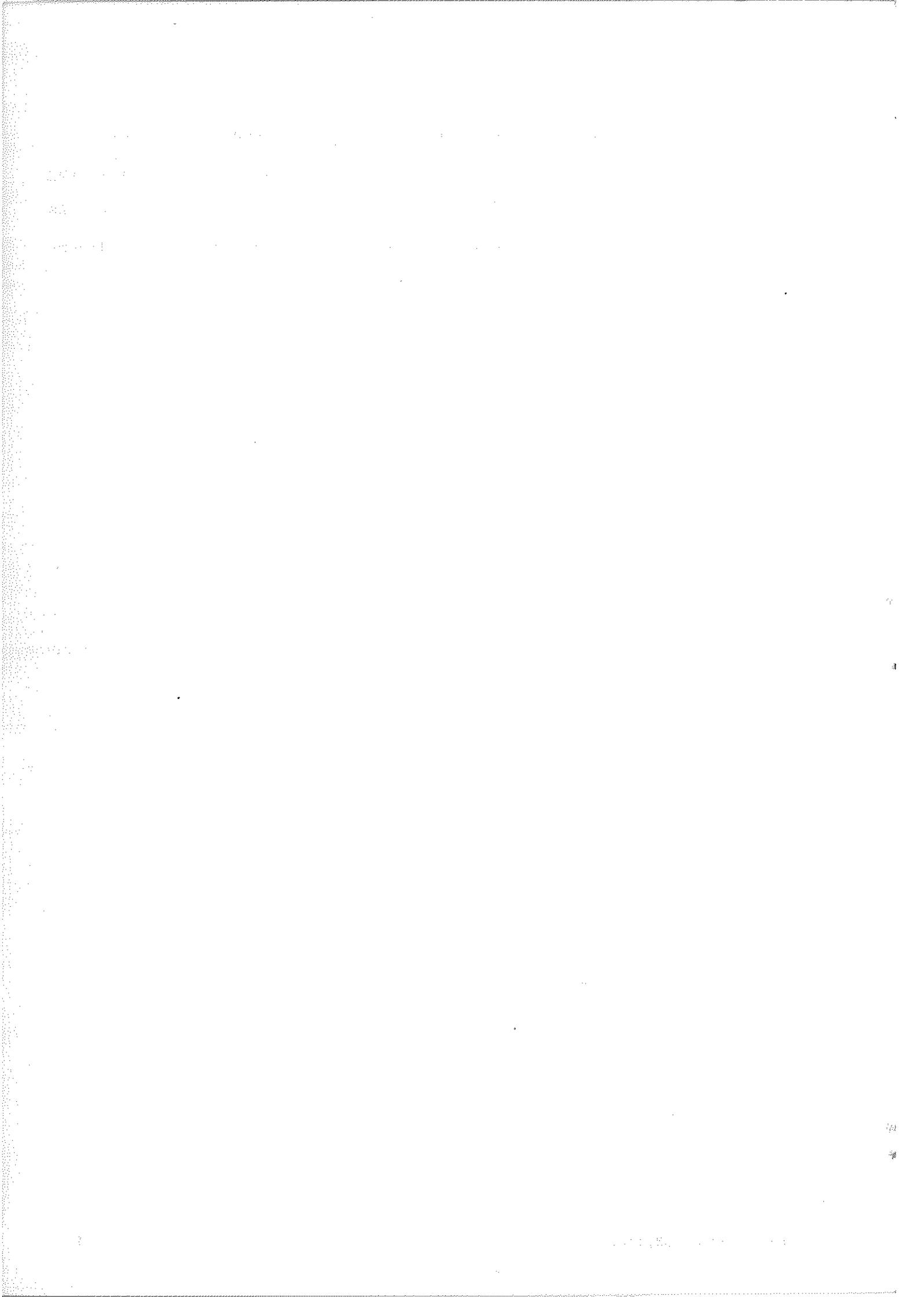
A profundidades da ordem de 1,3 vezes a altura da onda dá-se a rebentação.

Próximo da rebentação o esquema das velocidades muda profundamente. Durante o breve instante da passagem da crista as velocidades com o sentido de terra observadas junto ao fundo são muito mais elevadas relativamente às velocidades produzidas em sentido contrário pela demorada passagem da cava. Por isso, todos os materiais entram em movimento, dando lugar a um talude de grande inclinação que pode atingir mais de 4%.

A rebentação mergulhante das ondas submete as areias ao impacto vio-

lento de uma grande massa de água, produzindo-se uma escavação local.

Na plataforma de rebentação o movimento do fluido é em regra muito turbulento, sobretudo quando a rebentação das ondas é do tipo mergulhante. As areias entram fàcilmente em suspensão e podem ser transportadas em diversas direcções.



CAP. V - CARACTERÍSTICAS TRANSVERSAIS DAS PRAIAS

1 - GENERALIDADES

O perfil transversal de uma praia varia de momento para momento consoante variam também as solicitações a que está sujeito. Se a ondulação actuante mantivesse constantes as suas características durante o tempo suficiente para se produzir um perfil de equilíbrio, seria relativamente fácil determinar as características dos perfis originados por cada ondulação. Assim, é intuitivo que o perfil apresentado por uma praia em determinado momento depende não só da ondulação presente como ainda da situação criada pelas ondas precedentes.

Um grande escolho para o estudo dos perfis transversais é a dificuldade de se efectuarem observações na natureza, sobretudo durante os momentos de temporal, quando, precisamente, os movimentos dos materiais são mais importantes.

Não é pois, de estranhar a lentidão com que se vão ganhando os conhecimentos neste domínio. As técnicas modernas de observação e medida (fotografia e exploração submarinas, areias marcadas, etc.) têm aqui um vasto campo de aplicação.

O estudo das características transversais das praias tem sido objecto de muitas investigações em todo o mundo. Neste capítulo apresenta-se um por menor geral das principais aquisições, sintetizando-as de modo a permitir a sua aplicação, quer à resolução de problemas concretos, quer ao prosseguimento dos estudos a empreender pelo LNEC. Num ou noutro ponto serão acrescentadas algumas reflexões e conclusões resultantes do estudo efectuado e da observação das praias portuguesas.

2 - TÉCNICAS DE MEDIÇÃO E OBSERVAÇÃO

A configuração de uma praia é habitualmente determinada por meio de um levantamento topo-hidrográfico.

As escalas a usar dependem da finalidade do trabalho. Para um conhecimento global da praia são adequadas as escalas 1/5000 ou 1/2000, o que permite, por exemplo, determinar a evolução anual do areal, nomeadamente o volume sólido de enchimento ou erosão. Tratando-se, porém, de estudar as variações e características do perfil transversal terão de usar-se escalas mais pequenas, da ordem de 1/500, pois de contrário poderão passar despercebidos certos acidentes característicos (fossas, barras, variações de inclinação, etc.).

Na observação de um perfil transversal deve ter-se sempre presente que as modificações introduzidas pela ondulação são em regra muito rápidas. O estudo das características só terá significado desde que seja acompanhado da observação dos factores que condicionam a evolução: - ondulação, correntes, marés, ventos e granulometria dos materiais. E não só em relação ao momento da observação como também à dos dias precedentes, pois o perfil observado reflecte a evolução seguida.

O perfil transversal de uma praia varia sensivelmente de secção para secção, podendo aqui e ali apanhar acumulações ou erosões localizadas de material que carecem de qualquer significado. Por isso, o perfil deve antes ser definido com base nas características médias de uma faixa transversal com 20 a 50 m de largura.

Para eliminar tanto quanto possível a influência da maré, as observações periódicas devem ser efectuadas com marés de coeficientes de altura aproximadamente iguais. Por exemplo, tratando-se de observações mensais, as medições poderão ser feitas de preferência durante as marés vivas.

Para a observação periódica do espriado poderão empregar-se estacas

graduadas cravadas no areal e intervaladas de 5 a 10 metros.

A observação da evolução dos fundos do largo requiere o uso de técnicas muito avançadas, pois as variações aí produzidas são em regra muito pequenas - apenas alguns centímetros. Utiliza-se modernamente a exploração sub-marina com escafandros autónomos - SCUBA⁽¹⁾ - de que é paradigma o trabalho de Inman [19] sobre a observação do movimento das rugas do fundo (fig.19).

Na extracção de amostras de areia deve ter-se presente que, em geral, os sedimentos das praias são formados por estratos de pequena espessura, em resultado das variações da ondulação e do processo de erosão ou enchimento a que esteve submetida nos dias anteriores, como se verifica facilmente efectuando um corte no espraiado. Por isso, a granulometria das areias é muitas vezes compósita, revelando uma mistura de sedimentos cuja origem convém esclarecer.

Em casos especiais, os estratos são completamente distintos, como tivemos ocasião de verificar na praia de Vila Nova de Milfontes observando uma camada de seixos com 3 a 4 cm de espessura entre dois estratos de areias finas - a espessura do estrato superior variava de 1 a 2 cm junto à linha de água de baixa-mar até mais de 20 cm no espraiado superior.

O número e a localização dos pontos de colheita de amostras depende da precisão desejada e dos objectivos a atingir. Para um estudo muito sumário bastará colher uma amostra, de cerca de 250 g, a meio do espraiado. Um

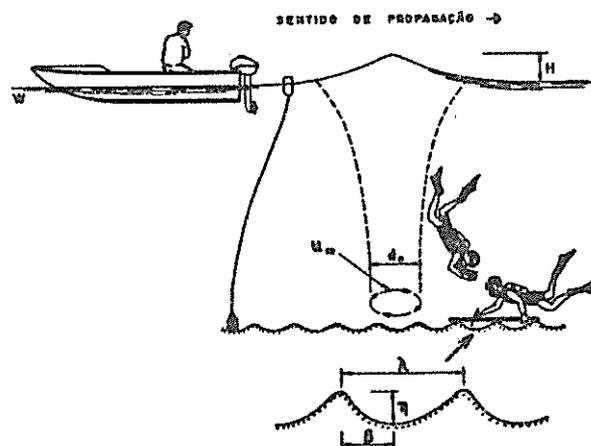


Fig. 19 - Observação do movimento de materiais no fundo

(1) - SCUBA é a abreviatura de "self contained underwater breathing apparatus" -

estudo mais completo exige pelo menos 5 amostras, colhidas nas principais zonas: - berma, espraçado, faixa de rebentação, talude de rebentação e largo (-5,0 a -10,0 m). Para eliminar qualquer subjectividade na localização final das amostras convém seguir um plano estatístico predeterminado, como sugere Krumbein [20].

As amostras da zona emersa deverão ser obtidas de uma camada de espessura não superior a 5 cm, tendo o cuidado de eliminar previamente uma capa superficial de 0,5 a 1,0 cm de espessura.

3 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS MATERIAIS

Os materiais que compõem uma praia não apresentam as mesmas características em todos os pontos, antes variam de zona para zona em resultado de uma triagem mais ou menos profunda imposta pela ondulação. De uma maneira geral, pode dizer-se que quanto mais agitadas forem as águas numa determinada zona da praia mais grossas serão as areias aí depositadas.

A granulometria das areias apresenta variações muito mais importantes no sentido transversal das praias do que no sentido longitudinal.

As variações no sentido longitudinal são sensíveis apenas quando a ondulação não ataca por igual toda a extensão da praia, como acontece nas praias do tipo difracção. É o caso, por exemplo, da praia Half Moon Bay, na Califórnia (fig. 20). Um estudo efectuado nessa praia por Bascom [21], em 1951, mos-

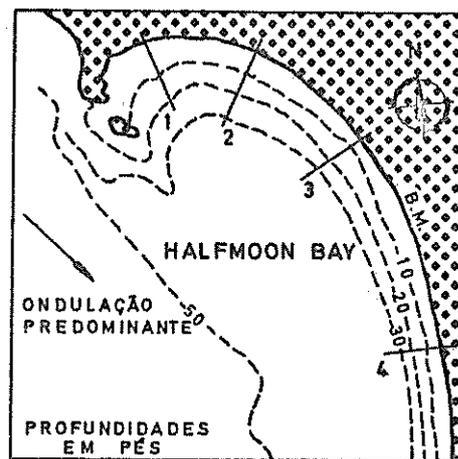


Fig. 20 - Praia de Half Moon Bay

trou que os diâmetros medianos das areias do espraído, ao nível da meia-maré, variavam progressivamente da secção 1, mais abrigada, até à secção 4, mais exposta à ondulação, tomando sucessivamente os valores 0,17 , 0,20, 0,39 e 0,65 mm. Um estudo similar efectuado sobre as areias da praia da Caparica, com base nas amostras colhidas por R. Oliveira [22], em 10 secções transversais intervaladas de 600 m, não revelou diferenças significativas, como seria de esperar atendendo ao tipo litoral aberto desta praia. Contudo, variações esporádicas encontradas num ou noutro ponto mostram que uma amostra individual pode não ser representativa do conjunto.

As variações ao longo de um perfil transversal são, pelo contrário, sempre acentuadas. A este respeito, o estudo clássico de Bascom acima referido esclarece perfeitamente a natureza dessas variações, como se vê na fig.21.

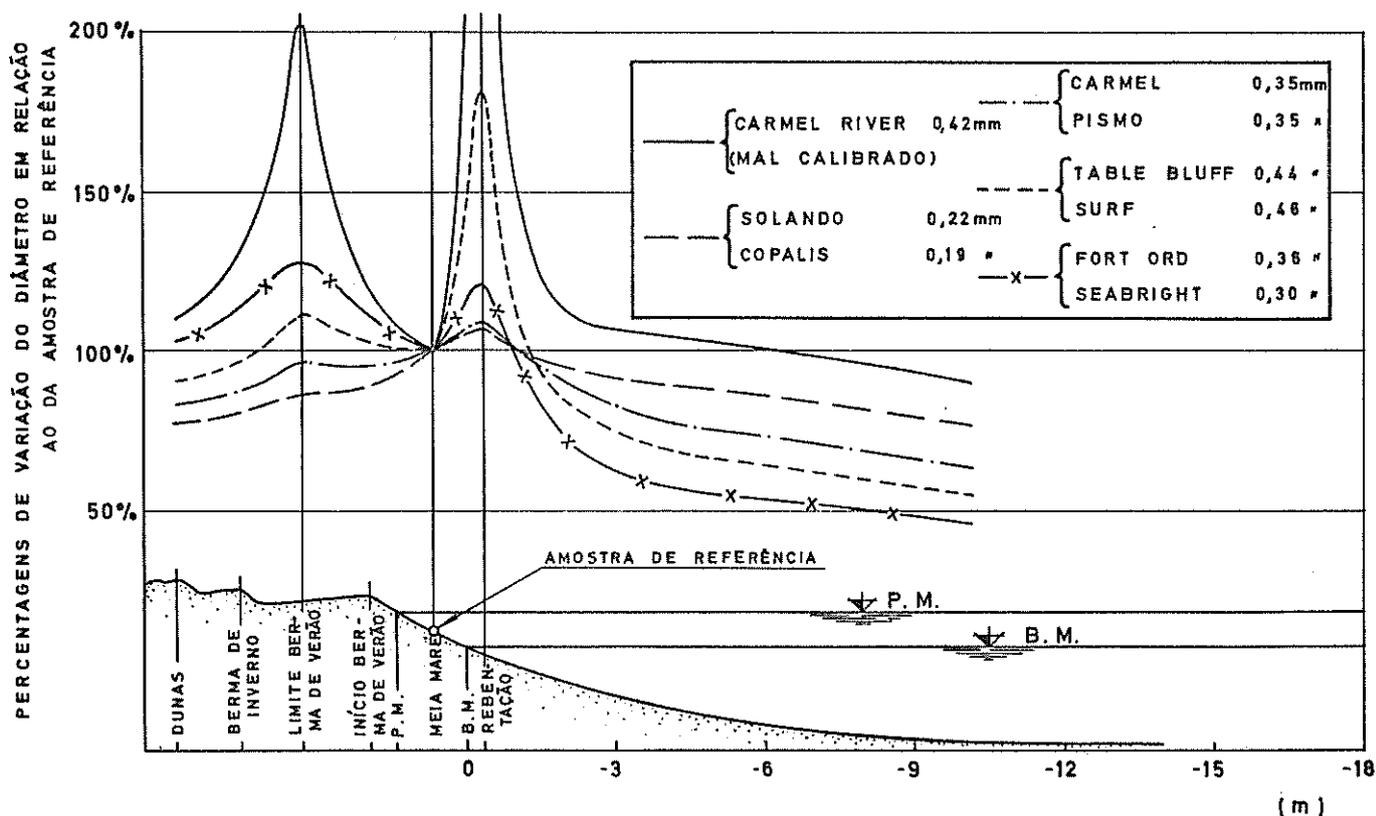


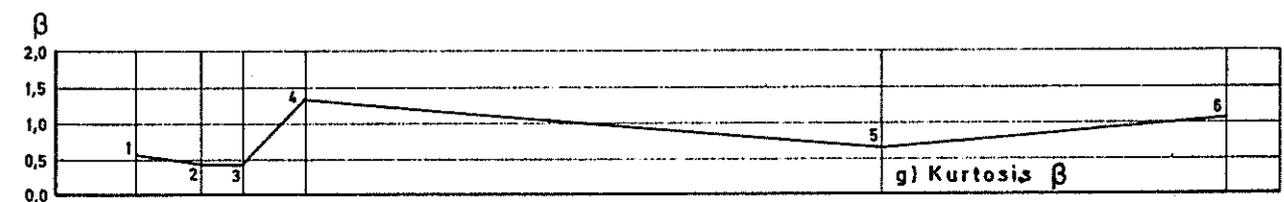
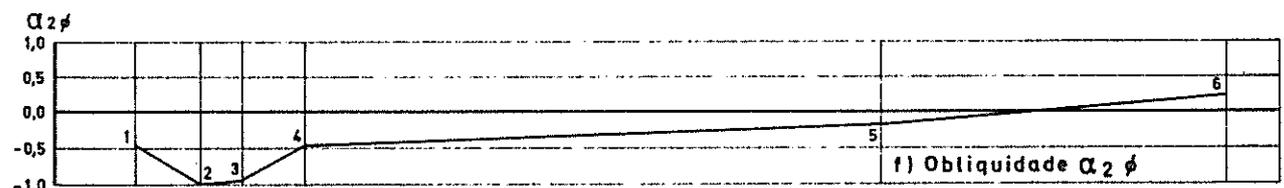
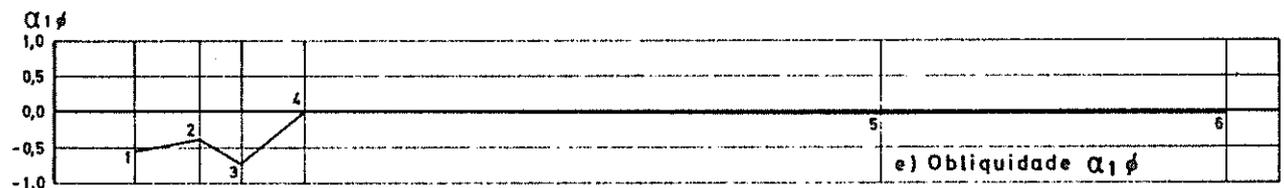
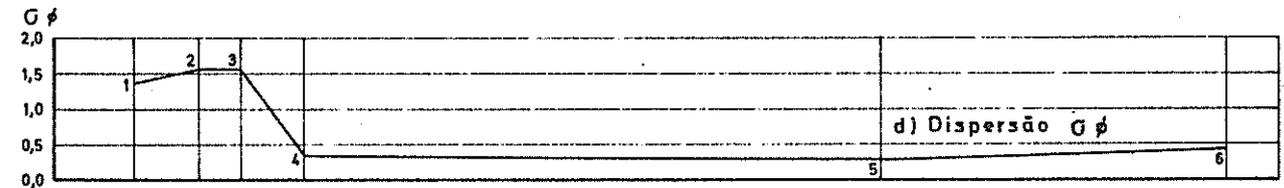
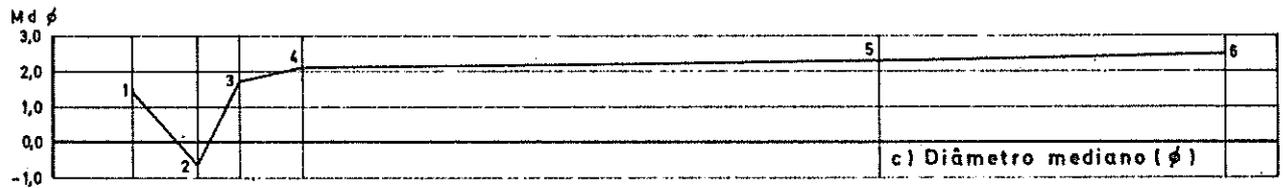
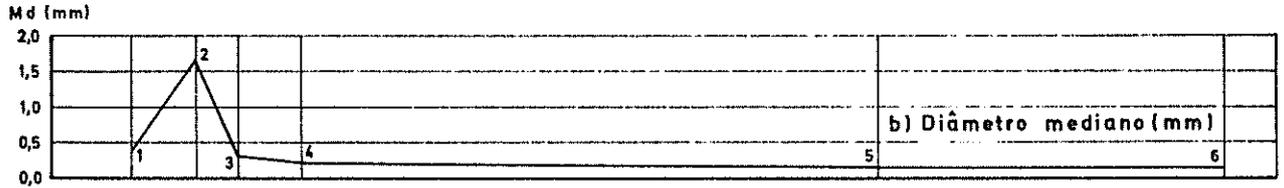
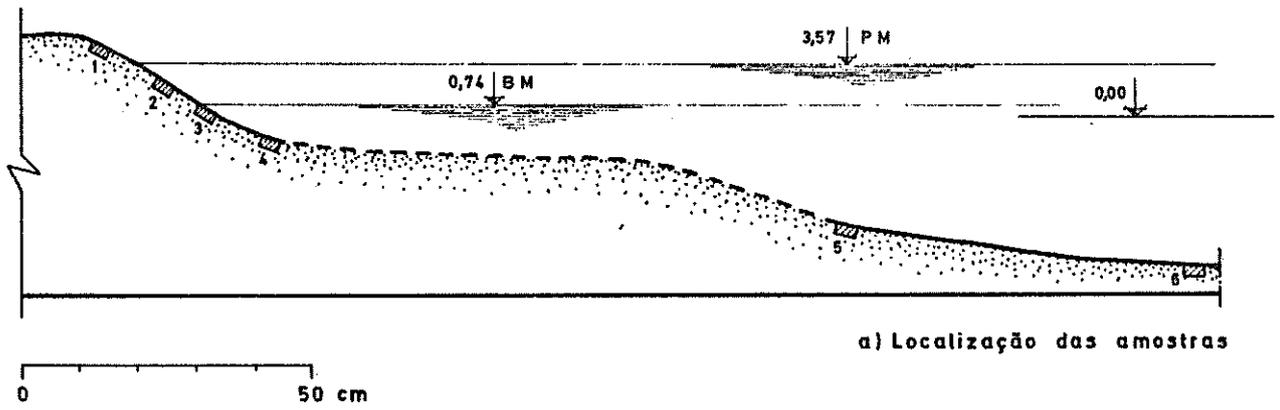
Fig. 21 - Variações transversais de granulometria

Tomando como base o diâmetro mediano correspondente ao chamado "ponto de referência" ou "ponto de Bascom", isto é, o ponto do espraído correspondente à meia-maré ou nível médio, verifica-se que as areias da berma e da zona de rebentação são sempre relativamente mais grossas, enquanto que, mar adentro, são sempre relativamente mais finas, tanto mais quanto mais ao largo. Vê-se, ainda, que a triagem é maior quando as areias do espraído são mais grossas.

Uma variação idêntica à observada por Bascom foi encontrada na praia da Figueira da Foz, como se verifica pelos esquemas b) e c) da fig. 22, elaborados com base nas características de 6 amostras de areia colhidas ao longo de uma secção transversal, às cotas (+4,99), (+2,22), (+0,40), (-0,40), (-7,50) e (-10,50 m), respectivamente.

Em relação a estas variações da granulometria, há um aspecto que se reveste de grande significado, qual seja o baixo valor do diâmetro mediano apresentado em regra pelas areias depositadas ao largo. Assim, na praia da Figueira da Foz, as amostras nºs 4, 5 e 6 revelam diâmetros de 0,23, 0,19 e 0,17 mm, respectivamente, e isso não obstante a praia ser classificada de areias grossas, de acordo com o tamanho das areias indicado pelas amostras do espraído. Estudos análogos efectuados por diversos autores, designadamente por J. Cherry [23], nas praias na Califórnia, conduziram a idênticos resultados.

Além do diâmetro mediano, também os parâmetros estatísticos das diferentes amostras apresentam variações sensíveis de ponto para ponto, como se pode ver nos esquemas c) a g) da fig. 22 referentes à Figueira da Foz, elaborados com base nas características granulométricas das 6 amostras acima referidas, cuja composição granulométrica se apresenta no Anexo I. O estudo destas variações reveste-se de grande interesse na medida em que permite novos esclarecimentos sobre a movimentação dos materiais, como se ve-



VARIAÇÃO TRANSVERSAL DA GRANULOMETRIA
NA PRAIA DA FIGUEIRA DA FOZ

rá no exemplo de aplicação aos modelos reduzidos que será apresentado no capítulo X.

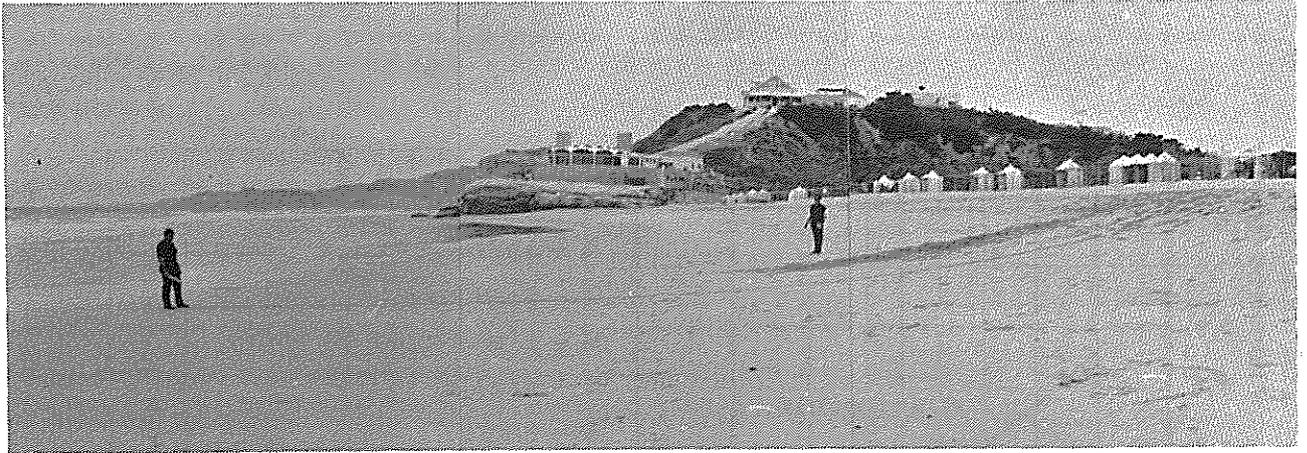
Como consequências importantes destes factos, podem extrair-se duas conclusões.

Em primeiro lugar, conclui-se que a composição granulométrica das areias de uma praia não pode ser descrita unicamente pelas características das areias do espraído. Em particular, a granulometria das areias destinadas à construção de uma praia artificial ou à construção de um modelo reduzido deverá ser determinada por uma composição, nas devidas proporções, das areias que irão formar toda a praia, desde a berma até às profundidades sujeitas a transformações importantes, ou seja, até ao limite marítimo do talude de rebentação - situado em geral a cerca de (-10,0 m).

Em segundo lugar, verificando-se que o diâmetro mediano das areias do largo oscila, em regra entre limites muito apertados (0,15 a 0,25 mm), qualquer que seja o tamanho das areias do espraído, conclui-se que, sem grande margem de erro, pode tomar-se o diâmetro mediano de 0,20 mm como representativo das areias do largo - isto, claro está, desde que não se possuam outras informações sobre essas areias. Esta conclusão tem particular importância na determinação, por cálculo, do perfil dos fundos do largo, como se verá mais adiante.

4 - INCLINAÇÕES DO ESPRAÍADO

A configuração apresentada pelo espraído é, em geral côncava, com inclinações progressivamente maiores desde a linha de água de baixa-mar até ao início da berma (fig. 23).



20809

Fig. 23 - Configuração do espreiado numa praia de areias médias (Areia Branca)

Verifica-se, pois, que as inclinações dependem do ponto que se considera, pelo que há autores que tomam como inclinação da praia a inclinação média de todo o espreiado, desde a baixa-mar até à berma. Por isso, é necessário indicar previamente onde e como são definidas as inclinações. O critério mais difundido - e que é adoptado neste trabalho - consiste em definir a inclinação do espreiado pela inclinação apresentada ao nível da meia-maré.

As inclinações do espreiado são tanto mais elevadas quanto mais grossas forem as areias que o constituem e tanto mais suaves quanto mais altas as ondas que as originaram, conforme se verifica na fig. 24, desenhada de acordo com os resultados apresentados por Wiegel [5], com base na observação de numerosas praias da costa americana. Incluem-se nessa figura alguns resultados obtidos em praias portuguesas, sendo de notar a excelente concordância com aqueles resultados.

Como aplicação imediata da relação da dependência definida entre a ondulação, o diâmetro dos materiais e a inclinação do espreiado, resulta a possibilidade de se poder prever, com razoável aproximação, os perfis de

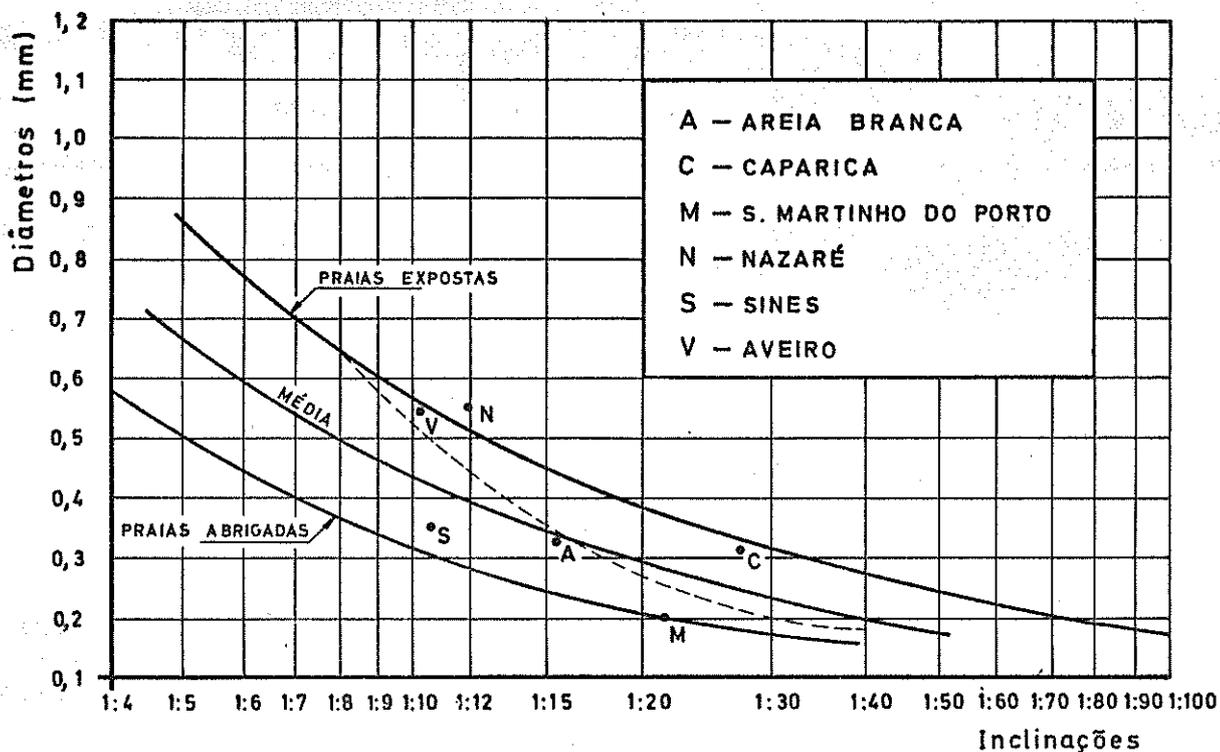


Fig. 24 - Relação entre a inclinação do espraído, o diâmetro das areias e a ondulação

erosão ou de enchimento de uma determinada praia. Dentro das justas proporções relativas à variação local da ondulação, a inclinação do perfil de inverno ou de erosão de uma praia, com determinadas areias, será a correspondente à ondulação de praias expostas; pelo contrário a inclinação do perfil de verão ou de enchimento corresponderá à ondulação de praias abrigadas. Por exemplo: numa praia de areias com o diâmetro mediano 0,4 m o espraído terá uma inclinação média de 8,3%, podendo subir no verão a 14% e descer no inverno a 5,5%.

As modificações operadas no perfil do espraído podem dar origem aos vários tipos de perfis indicados nos esquemas A a D da fig. 25.

O perfil A apresenta um espraído bastante regular e não possui berma no limite terrestre. Trata-se de uma praia pouco possante, em que o es -

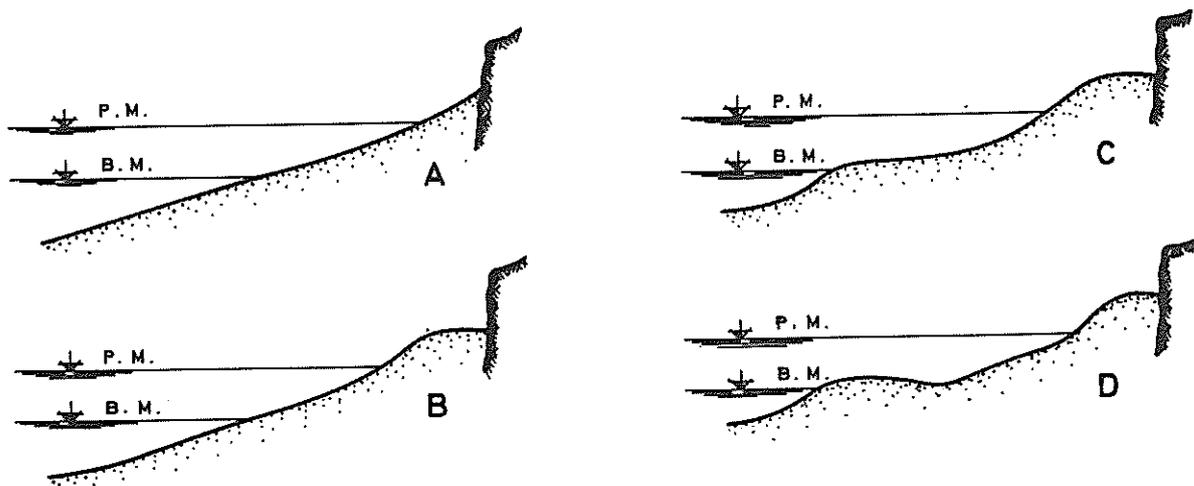


Fig. 25 - Tipos de perfil do espraído

praia pode atingir a falésia ou muralha limite e ser por elas parcialmente reflectido, o que origina uma erosão mais intensa do espraído, como acontece na praia da Caparica (Santo António) - Figs. 25 e 26.

O perfil B corresponde ao tipo mais frequente do espraído, apresentando uma berma mais ou menos bem consolidada.

O perfil C assemelha-se ao perfil B, mas possui ainda uma plataforma da baixa-mar. Resulta em geral, da ondulação de pequena altura que se sucede a uma tempestade.

O perfil D é uma variante do tipo C, apresentando uma pequena fossa ou canal no espraído inferior a separar a plataforma da baixa-mar. Corresponde, em geral, a uma evolução do perfil C.

O perfil do espraído muda substancialmente no decorrer de uma maré, como facilmente se verifica no estudo em modelos reduzidos. Por isso, por uma questão de normalização, os perfis trans



14782

Fig. 26 - Reflexão de uma onda na muralha limítrofe

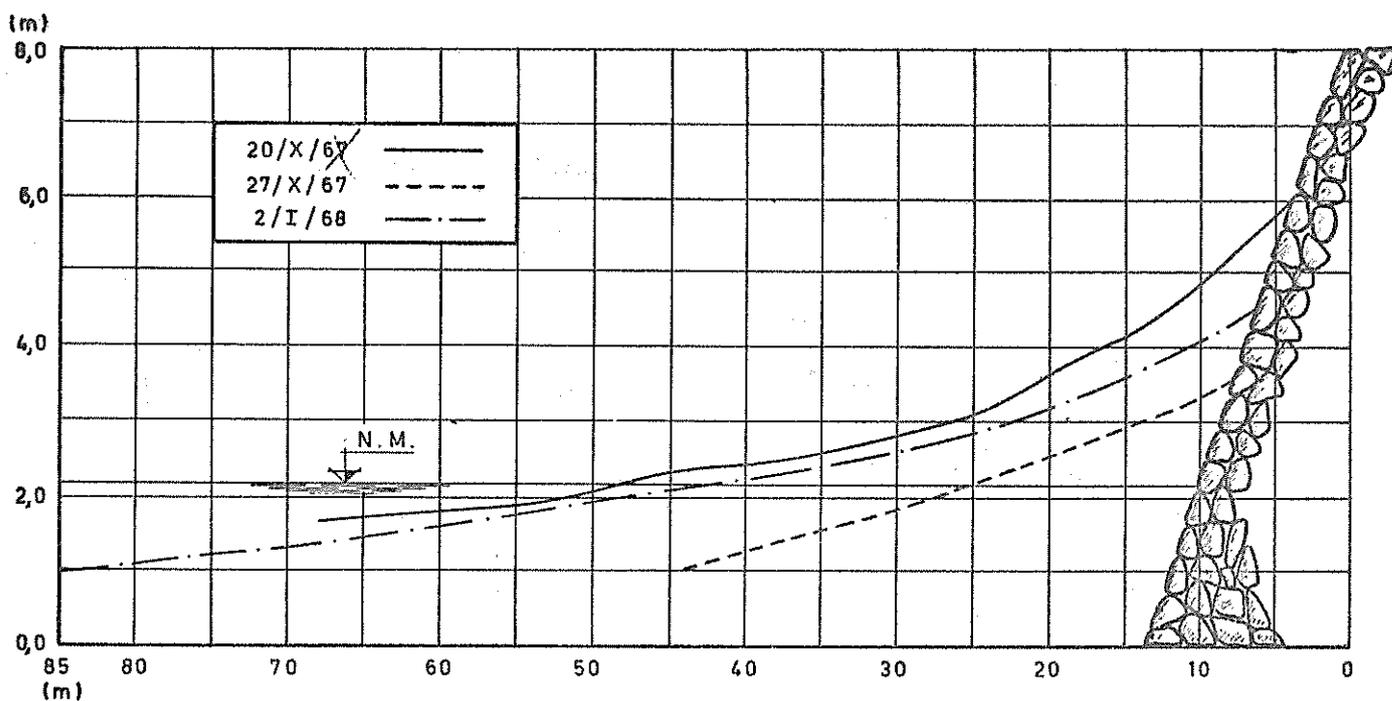


Fig. 27 - Perfis do espraído na praia da Caparica

versais devem ser sempre referidos à situação observada em baixa-mar.

5 - PERFIL DOS FUNDOS

Uma das características transversais mais importantes - e no entanto menos bem conhecida - é o perfil da praia na zona do largo.

Já se viu que o transporte de materiais em profundidades superiores a 15 m pode considerar-se praticamente insignificante, podendo admitir-se que o perfil dos fundos a maiores profundidades se conserva inalterável.

O perfil transversal dos fundos assemelha-se, "grosso modo", a uma parábola de expoente fraccionário traçada a partir da linha de água. Exceptuando os casos de uma ou outra acumulação esporádica, as inclinações vão diminuindo progressivamente, tomando valores geralmente inferiores a 1% em profundidades superiores a 10 m. No intuito de averiguar até onde se pro -

longa regularmente este ramo parabólico do perfil do fundo traçaram-se alguns perfis transversais da plataforma continental da costa portuguesa (Metrópole), com base nas cartas elaboradas pelo Instituto Hidrográfico.

Verificou-se assim que o perfil dos fundos aproxima-se de uma curva tipo parabólico até profundidades da ordem de 30 a 50 m. Para além destas profundidades as inclinações tornam-se muito variáveis, embora sejam sempre muito reduzidas⁽¹⁾.

Têm sido propostas algumas expressões para descrever a forma assumida pelo perfil do fundo. De entre elas destacaremos a de Per Bruun e a de Larras.

Per Bruun [24], por considerações de ordem energética, chega à conclusão de que o perfil tem o andamento definido pela seguinte expressão:

$$Y^{3/2} = p X$$

em que:

Y - é a profundidade do fundo

X - é a distância à linha de água

p - é um diâmetro deduzido a partir do próprio perfil

Por exemplo, numa praia em que a profundidade de 10 m surge a 500 m da linha de água, a forma do perfil seria:

$$Y^{3/2} = 0,063 X$$

Larras [25], baseando-se em 34 perfis de equilíbrio obtidos num canal

(1) - Isto demonstra que a formação da plataforma continental não se pode explicar unicamente pela prolongada acção da ondulação. As variações do nível do mar desempenham aqui, sem dúvida, um papel relevante.

de vagas com quatro tipos de material - poliestireno, plexiglass, linhite e antracite - de pesos específicos aparentes respectivamente iguais a 0,07, 0,18, 0,35 e 0,72 g.cm⁻³; e estudando ainda 45 perfis obtidos na natureza - chegou à conclusão de que o perfil de equilíbrio se podia assimilar de modo muito preciso a uma parábola de expoente fraccionário:

$$\frac{Y}{L_0} = K \left(\frac{X}{L_0} \right)^m$$

em que Y e X têm o mesmo significado da expressão anterior e L₀ é comprimento de onda ao largo.

Os parâmetros K e m variam da seguinte maneira:

$$K = \frac{H_0}{L_0} + 0,039 \cdot \frac{d_m}{\sqrt[3]{p'}}$$

$$m = 11,5 \frac{H_0}{L_0} + 0,275 \frac{1}{\sqrt[3]{p'}} - 0,05$$

onde

H₀ - é a altura da onda ao largo

d_m - é o diâmetro mediano do material

p' - é o seu peso específico aparente.

Aquela expressão, válida para declividades de onda H₀/L₀ compreendi - das entre 0,006 e 0,05, aplica-se a todos os pontos situados a uma distância mínima da linha de água tal que X/L₀ > 0,1, e em zonas em que os fundos não estejam submetidos à rebentação das ondas.

Atendendo a que, para um determinado material, os parâmetros K e m dependem apenas da declividade da ondulação, verifica-se que a cada decli-

vidade corresponde uma única parábola de equilíbrio.

Para Larras, as fossas e barras produzidas pela rebentação constituem apenas acidentes sem significado de maior em relação à configuração geral do perfil. Este ponto de vista é, afinal idêntico ao de Per Bruun, que também não dá qualquer relevo à existência das barras e fossas.

Na realidade, a movimentação na plataforma de rebentação e o volume de material aí depositados - de modo mais ou menos permanente - está longe de ser insignificante. É o que se conclui do estudo experimental em modelos reduzidos que se apresenta no capítulo VI, e, além disso, se comprová pela análise dos perfis transversais das praias naturais. No capítulo VIII será retomado este assunto, apresentando-se um critério que tenha em conta essas movimentações e o volume de materiais em jogo nessa zona.

6 - SINGULARIDADES

Ao definir o perfil transversal de uma praia é preciso ter em conta a presença de possíveis singularidades relacionadas com a desigualdade de actuação da ondulação.

Em especial, quando a ondulação ataca frontalmente a praia geram-se correntes de concentração ("rip-currents") que dão origem a transportes especiais de materiais, tornando irregular a configuração do espraído e da plataforma de rebentação.

A irregularidade no espraído pode ser formada por crescentes de praia⁽¹⁾ (fig. 28), sucessão de altos e baixos observados em regra no espraído su-

(1) - Ainda não se sabe ao certo se a formação dos crescentes de praias se deve à desigualdade da actuação da onda ou se é esta desigualdade que resulta daquela formação.

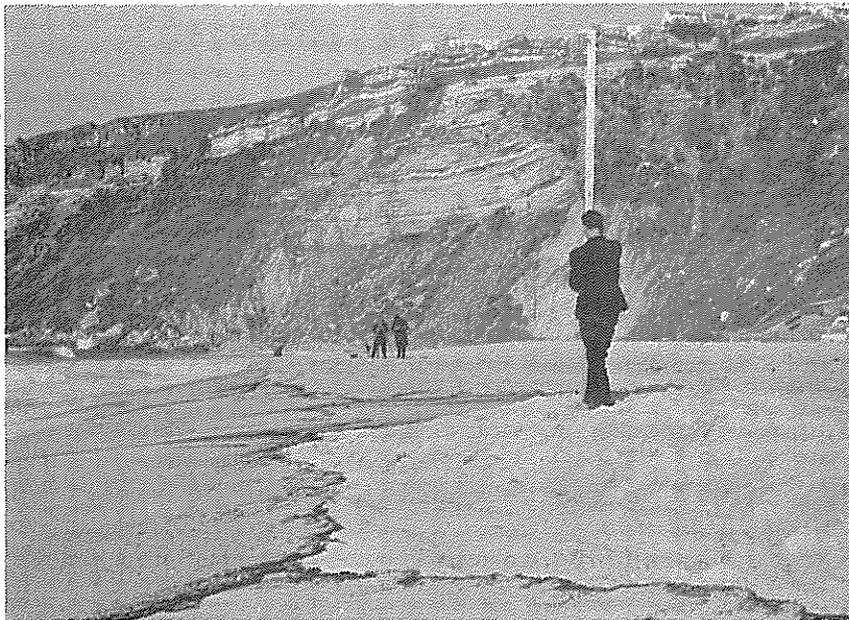


Fig. 28 - Crescentes de Praia (NAZARÉ)

perior, muito frequentes nas nossas praias, embora passando por vezes despercebidos.

De um modo geral, o espaçamento dos crescentes é tanto maior quanto mais alta a ondulação e quanto maior o diâmetro das areias. Assim, nas praias de Sesimbra, de areias finas e com ondulação pouco alta, observou-

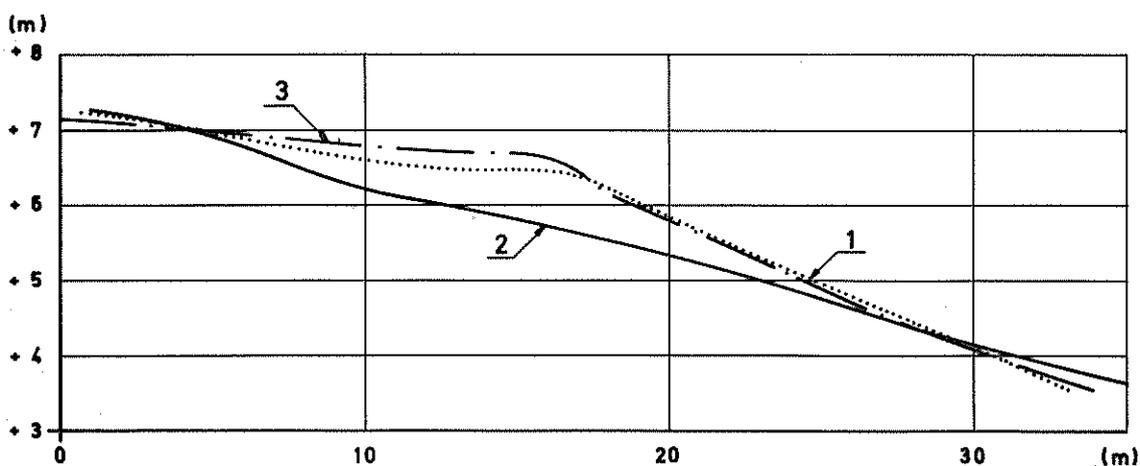
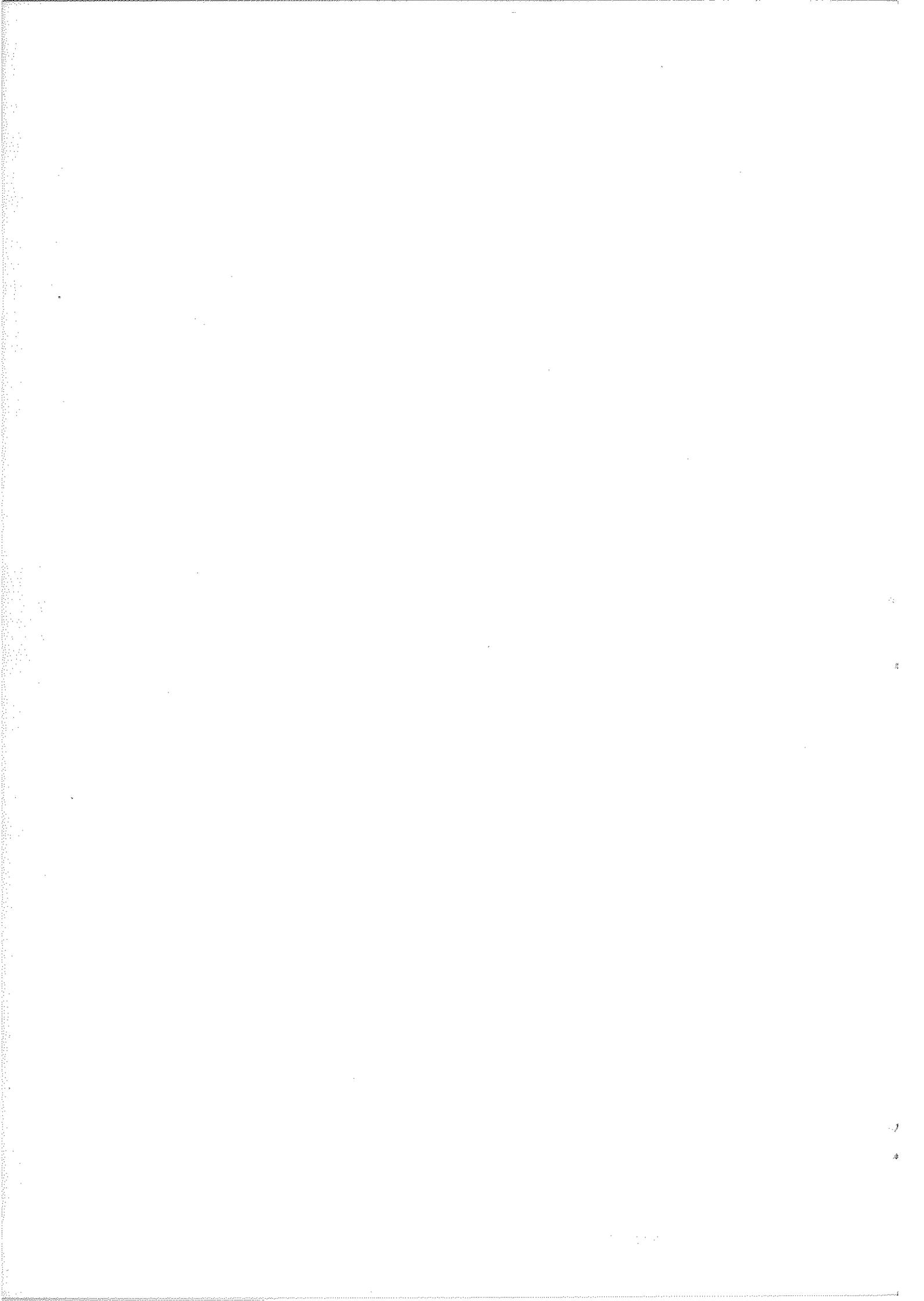


Fig. 29 - Variação do perfil transversal devida à presença de crescentes de praia (NAZARÉ)

-se um espaçamento muito regular de cerca de 30 a 35 metros; na praia da Nazaré, de areias muito grossas e sujeita a forte ondulação, o espaçamento observado atingia 55 ou 60 metros.

Por isso, no levantamento do perfil deve indicar-se expressamente se existem crescentes de praias e se o perfil apanha um alto ou um baixo. Na fig. 29 dá-se um exemplo, obtido de um levantamento da praia da Nazaré. Os perfis 1 e 3 correspondem a duas secções contíguas intersectando os altos (ou cabeços) de um crescente, com a secção 2 de permeio, passando pela parte baixa (ou cavado), do crescente. Como se verifica, esses perfis acusam diferenças que chegam a atingir 1 metro em altura.



CAP. VI - ESTUDO EXPERIMENTAL

1 - OBJECTIVOS

Dada a dificuldade em determinar teòricamente a evoluçãõ que pode apre^sentar uma praia, e visto que a observaçãõ directa dos fenómenos naturais se torna muitas vezes impossível ou, pelo menos, longa e dispendiosa, a via experimental apresenta-se como um meio cómodo e até indispensável ao escl^arecimento dessas questões. Contudo, a utilizaçãõ de um modelo de fundo móvel comporta também as suas dificuldades, atendendo especialmente ao apare^cimento de certos efeitos de escala que podem mascarar ou alterar completa^mente os fenómenos que se pretendem reproduzir. Além disso, para exploraçãõ correcta de um modelo de fundo móvel torna-se indispensável conhecer prè^vviamente as leis de semelhança que caracterizam esse modelo, ou, o que é equivalente, o modo como o modelo reage às solicitações impostas pela ondu^laçãõ.

Assim, atendendo ao muito imperfeito conhecimento que se tem sobre o assunto, tomou-se como primeiro e principal objectivo dos ensaios a reali^zar a observaçãõ completa e pormenorizada das características e evoluçãõ de praias formadas com materiais diferentes e de diferentes granulometrias. Co^mo consequência dessas observações procurar-se-ia, depois, inferir algumas conclusões úteis, quer para construçãõ e exploraçãõ dos modelos, quer para uma melhor interpretaçãõ dos fenómenos naturais.

2 - PROGRAMA

A realizaçãõ de um estudo experimental com a finalidade acima indica^da pressupõe imediatamente a execuçãõ de uma longa sèrie de ensaios siste^m

máticos em virtude de grande número de combinações que se podem formar com as principais variáveis em causa. Assim, uma vez que a utilização de modelos de fundo móvel constitui uma das principais actividades do Serviço de Hidráulica do LNEC, traçou-se um programa de ensaios que pudesse vir a integrar-se na programação a longo prazo dos estudos a empreender pelo Serviço.

Previu-se assim, desde logo, o estudo de praias formadas com, pelo menos, três materiais diferentes: - areia natural, pedra-pomes e baquelite. Com cada um destes materiais deveriam ser utilizadas granulometrias variadas, de modo a precisar a influência não só do tamanho dos grãos como também da composição granulométrica dos sedimentos. Essas praias deveriam ser submetidas a ondulações de diferentes características, empregando primeiro ondas monocromáticas e, depois, ondas policromáticas. Finalmente, os estudos alargaram-se para considerar o efeito da variação do nível das águas com a maré.

Atendendo ao escasso tempo disponível para o presente trabalho, o número de ensaios realizados dentro deste programa geral foi obviamente bastante limitado, especialmente porque, partindo-se de um desconhecimento quase total sobre o assunto, houve necessidade de prolongar a observação dos primeiros ensaios até firmar algumas ideias gerais que permitissem a melhor e mais eficaz orientação do programa.

Os ensaios realizados e os respectivos objectivos podem agrupar-se por séries, segundo a enumeração a seguir apresentada.

Ensaio da série A - Estudo das características e evolução de uma praia de areia natural, submetida a uma ondulação de período constante e alturas de onda progressivamente maiores. Partindo de uma praia com a inclinação de 10 %, em cada ensaio a altura de onda deveria manter-se constante até se atingir o correspondente perfil de equilíbrio.

Ensaio das séries B, C, D e E - Estudo da variação e características de uma praia de areia natural em função do período da ondulação. Partindo de uma praia com uma configuração transversal qualquer, em cada ensaio deveria empregar-se uma onda de altura determinada, durante o tempo necessário para se produzir a devida transformação das zonas mais elevadas do perfil (espraiado, plataforma de rebentação e talude de rebentação).

Ensaio da série F - Estudo da evolução de uma praia de areia natural, partindo de uma praia com a inclinação de 5 %. Estes ensaios destinavam-se a observar a influência da inclinação inicial da praia na evolução do perfil, servindo de comparação os resultados dos ensaios da série A.

Ensaio da série G - Estudo da influência da maré nas características e evolução de uma praia de areia natural.

Ensaio da série H - Estudo sumário das principais características apresentadas por uma praia de pedra-pomes.

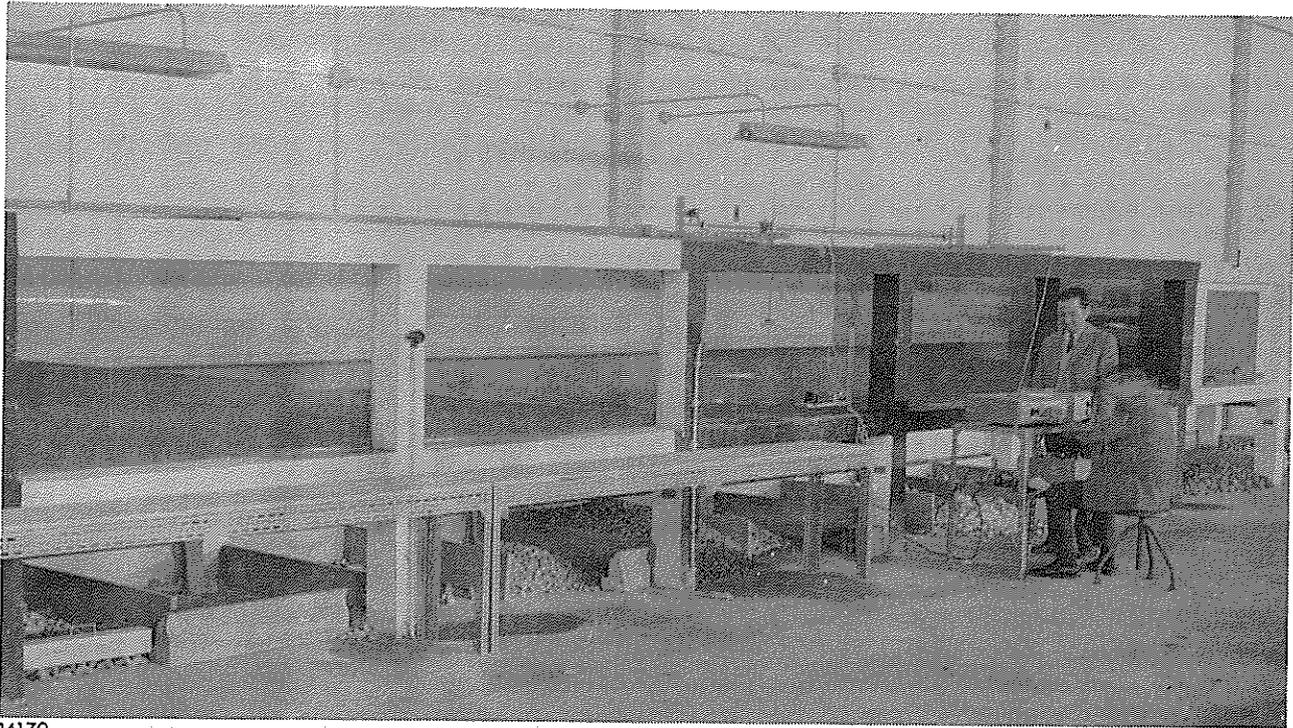
Ensaio da série I - Estudo sumário das principais características apresentadas por uma praia de baquelite.

Além destes ensaios, iniciou-se também um estudo prospectivo das variações introduzidas pelo emprego de ondas policromáticas formadas pela composição de dois comboios de ondas.

3 - INSTALAÇÕES E APARELHAGEM UTILIZADAS

Todos os ensaios foram realizados no canal de vagas II (fig. 30) do Serviço de Hidráulica do LNEC.

As principais características deste canal estão evidenciadas na fig. 31.

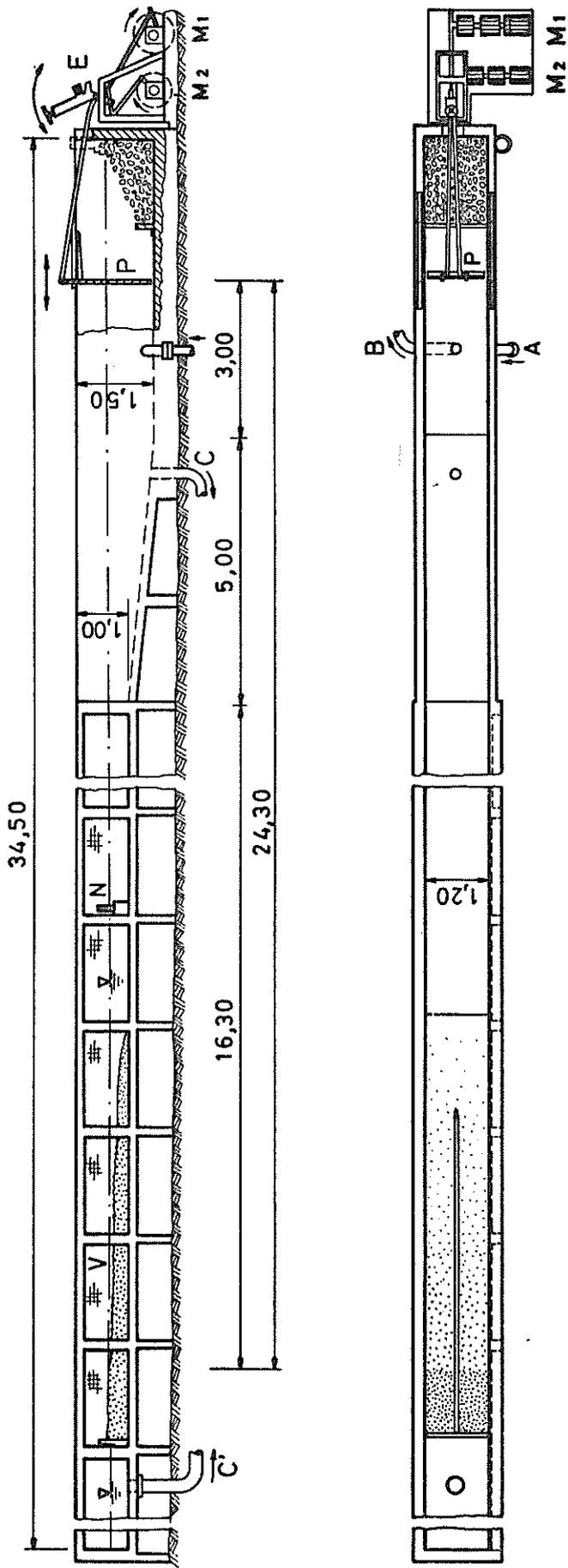


14170

Fig. 30 - Canal de vagas II

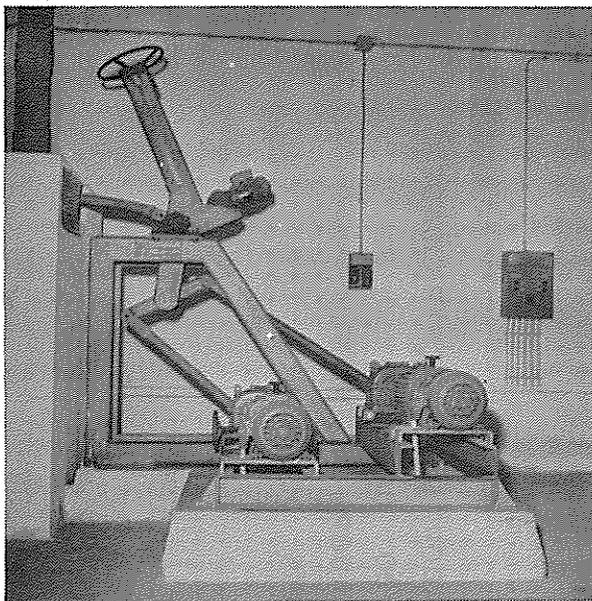
A ondulação é produzida pela oscilação de um batedor do tipo translação, comandado por um conjunto de bielas-manivelas accionadas por dois grupos geradores M_1 e M_2 (fig. 32), independentes, constituídos por motor-variador-redutor. A velocidade de rotação comunicada aos grupos geradores determina o período da ondulação, podendo produzir-se ondas policromáticas ou monocromáticas, consoante os dois geradores funcionem simultaneamente ou isoladamente (fig. 33). A altura das ondas é regulada pela excentricidade da alavanca directamente ligada ao batedor e comandada por um pequeno motor independente.

Como o canal não dispõe ainda de dispositivo automático de geração de marés, foi-se obrigado, na emergência, a comandar manualmente a subida e descida do nível da água. Para esse efeito, determinou-se previamente a lei de caudais debitados pelas válvulas de admissão e saída da água em função do ângulo de rotação dos respectivos volantes de comando, aplicando-se as relações obtidas ao programa de maré desejado. O nível era controlado num



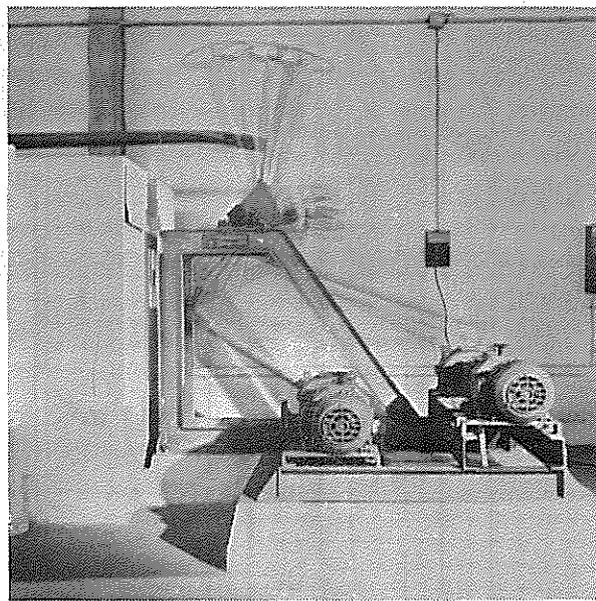
- A - ADMISSÃO DE ÁGUA
- B - SAÍDA DE ÁGUA
- C - C' - TUBAGEM DE IGUALIZAÇÃO DE NÍVEIS
- M₁-M₂ - GRUPOS MOTOR - VARIADOR - REDUTOR
- E - VARIADOR DE EXCENTRICIDADE
- P - PÁ DO BATEDOR
- N - INDICADOR DE NÍVEL
- V - PAINEIS DE VIDRO

CARACTERÍSTICAS DO CANAL DE VAGAS



18894

Fig. 32 - Geradores do canal de vagas II



19884

Fig. 33 - Gerador M_1 em funcionamento

vaso graduado, ligado ao canal por um tubo de pequeno diâmetro, o que permitia a obtenção, em cada momento, do nível médio das águas dentro do canal. A realização do programa de marés foi efectuada com suficiente exactidão, observando-se o desvio máximo de 1 mm em marés de amplitudes 10 e 15 cm.

Para a medição das características da ondulação utilizou-se uma aparelhagem constituída por uma sonda capacitiva e um registador, primeiramente do tipo SEFRAN e, posteriormente, do tipo MOSELEY.

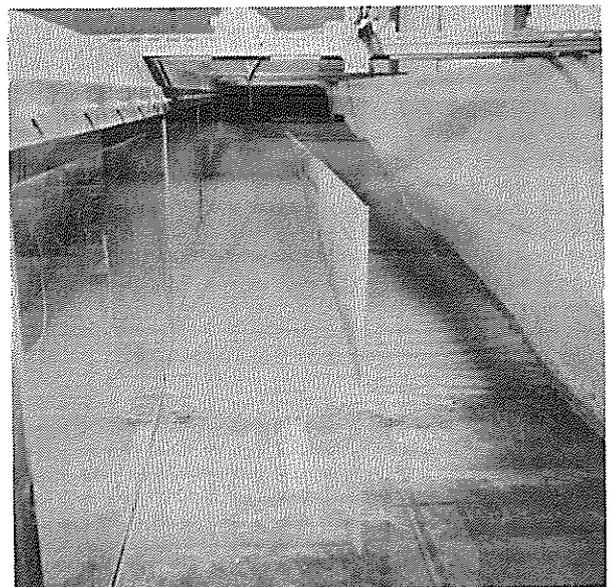
Um comando eléctrico permitia o deslocamento automático da sonda ao longo do canal numa extensão de 2,5 metros, utilizando-se para o efeito o dispositivo "posicionador-automático-triaxial" concebido no LNEC pela Divisão de Estudos e Construção de Aparelhagem.

A configuração dos perfis formados em cada ensaio foi transposta para chapas perspex aplicadas directamente sobre as paredes vidradas do canal. Contudo, nos ensaios em que os perfis apresentavam diferença de configuração entre secções transversais, foi necessário fazer as medições por meio

de uma ponta graduada (hidrómetro), cuja localização se referenciava numa régua longitudinal montada sobre o canal. Os perfis correspondentes a cada secção transversal foram referenciados em relação à parede vidrada, designando-se por posições 15, 30 ou 45, por exemplo, os perfis correspondentes a secções afastadas, respectivamente, 15, 30 ou 45 cm da parede vidrada.

No intuito de eliminar tanto quanto possível variações laterais do perfil, julgou-se oportuno reduzir a largura da praia em estudo, introduzindo-se um septo a meio do canal (fig. 34). Formaram-se assim duas praias idênticas com a largura de 60 cm, das quais só a primeira, formada junto às paredes vidradas, foi submetida a observação, servindo a segunda essencialmente para manter do outro lado do canal condições de reben-tação e espraimento semelhante às da primeira praia.

Fig. 34 - Septo de divisão transversal do canal



15044

4 - MEDIÇÃO DA ONDULAÇÃO

As características da ondulação foram deduzidas, como se disse, a partir dos registos obtidos.

Como a profundidade de água no canal era sempre relativamente pequena, inferior a meio comprimento de onda, as características da ondulação captadas pela sonda - localizada sobre o fundo plano do canal - foram homogeneizadas mediante o cálculo das características que essa ondulação apresentaria a grandes profundidades, isto é, a profundidades superiores a meio comprimento de onda.

Dadas as características intrínsecas dos ensaios realizados, uma parte maior ou menor da ondulação incidente era sempre reflectida nas praias formadas, dando constantemente origem a um "clapotis" parcial de certa amplitude. Deste modo, houve necessidade de determinar, para cada ensaio, o respectivo coeficiente médio de reflexão⁽¹⁾, deduzindo-se a altura média da ondulação presente pela média dos valores máximos e mínimos revelados pela sonda ao longo de um passeio não inferior a um quarto de comprimento de onda.

A realização de ensaios com uma altura de onda predeterminada revelou-se praticamente impossível de conseguir. Com efeito, a utilização de filtros que eliminassem as sucessivas reflexões no batedor das ondas reflectidas nas praias só se mostrou exequível no caso de o período da ondulação não exceder muito 1 segundo, tornando-se perfeitamente ineficaz a partir de períodos superiores a 1,2 segundos, isto é, para a quase totalidade dos períodos empregados. Ora, como qualquer onda reflectida no batedor se com

(1) - O coeficiente de reflexão é calculado, de modo aproximado, pela expressão

$$K_r = \frac{H_M - H_m}{H_M + H_m}$$

sendo H_M e H_m as alturas máximas e mínimas observadas, respectivamente.

põe com a onda gerada por esse batedor, as características efectivas da on da actuante não podem ser determinadas por uma calibração prévia, pelo que esta calibração deixava de ter sentido nestes ensaios. Por outro lado, o cálculo das alturas de onda correspondente à composição de dois comboios propagando-se com o mesmo sentido apresenta também grandes dificuldades, se ja pela forma não sinusoidal do perfil da onda, seja pelo desconhecimento da forma da onda reflectida, seja ainda por razões de ordem energética.

Nestas condições, adoptou-se o critério de deduzir a altura efectiva da onda a partir dos registos feitos no decorrer de cada ensaio. Este critério tornou-se especialmente útil na realização de ensaios com marés, aten dendo não só à maior variabilidade do coeficiente de reflexão da ondulação, como também à própria variação das alturas das ondas produzida pelo bate - dor como consequência das variações de nível da água.

A utilização de períodos longos no canal II levanta ainda um outro pro blema de natureza diferente: a histeresis da ondulação. Verificou-se, com efeito, durante uma tentativa de emprego de períodos de 5 segundos, que a altura e o tipo de onda produzida pelo gerador com uma determinada excen - tricidade era diferente consoante essa excentricidade era alcançada por um aumento ou por uma diminuição da excentricidade anterior. Por exemplo, pa ra a excentricidade 40 cm obtinham-se alturas de onda de 10 cm e 19 cm, con soante a ondulação anterior tivesse sido produzida com excentricidades me - nores ou maiores.

5 - ENSAIOS REALIZADOS

5.1 - Ensaio da série A

Estes ensaios foram programados com o objectivo de determinar as características da evolução transversal de uma praia de areia natural, quando submetida a uma ondulação de altura progressivamente crescente. Simultaneamente, sendo estes os primeiros ensaios do programa, pretendeu-se com a sua realização tomar um conhecimento tão amplo quanto possível sobre a natureza dos fenómenos em causa.

Seguindo o critério geralmente utilizado em trabalhos semelhantes, partiu-se de uma praia de inclinação uniforme, fixada arbitrariamente em 10%.

O material móvel era constituído por areias naturais de diâmetro mediano 0,47 mm, de composição granulométrica muito próxima de uma distribuição normal (fig. 35 e Anexo I). A altura da água sobre o fundo do canal era de 40 cm.

A ondulação monocromática empregada em todos estes ensaios tinha o período constante $T = 2,00$ s e uma altura de onda, variável de ensaio para ensaio, determinada pelo aumento progressivo da excentricidade da alavanca

de comando da oscilação do batedor. As características da ondulação efectivamente produzida no canal constam do Anexo II.

Apesar de, em cada ensaio, se ter mantido constante aquela excentricidade, verificou-se que a altura média das ondas sofria variações sensíveis de fase para fase, o que não é de estranhar atendendo às constantes variações das características reflectoras do perfil. É interessante notar,

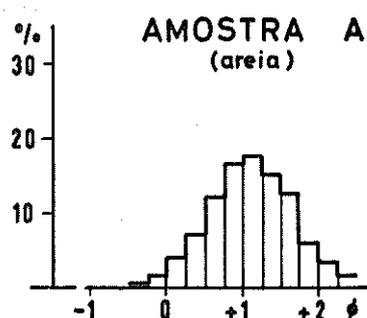


Fig. 35 - Histograma granulométrico (Ensaio A)

desde já, que a intensidade da reflexão era tanto menor quanto maior a declividade da onda, o que, evidentemente, se deve associar à configuração produzida na praia.

Os valores indicados para o coeficiente de reflexão e para a correspondente declividade da onda ao largo, correspondem a uma primeira aproximação dos cálculos. Na realidade, sendo a altura das ondas medida à profundidade relativa

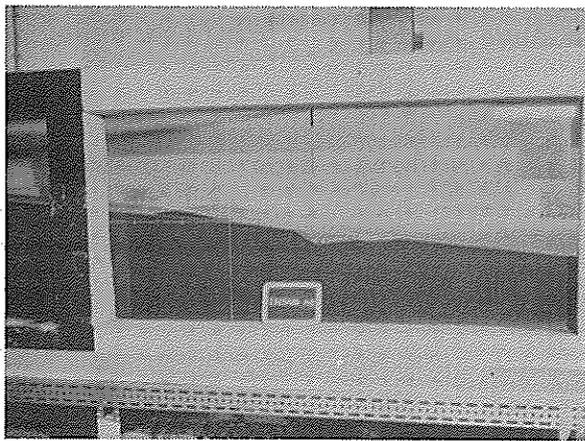
$$\frac{d}{L} = \frac{40}{369} = 0,108$$

entra-se no domínio das ondas cnoidais, cuja fronteira se estende até profundidades relativas da ordem de 0,125 a 0,10. Julga-se, porém, que a aproximação indicada é adequada a um primeiro esclarecimento dos fenómenos.

A ondulação manteve-se muito regular durante os primeiros 10 ensaios, começando depois a aparecer um pequeno batimento que, a partir do 19º ensaio, introduziu grandes irregularidades na rebentação e no espraiamento das ondas. Por esse motivo os últimos 5 ensaios merecem bastantes reservas, tendo sido utilizados, apesar de tudo, numa tentativa para se avaliar das tendências da evolução dos perfis com maiores declividades da onda, visto que até ao 18º ensaio apenas se tinham atingido declividades de onda, ao largo, da ordem de 0,95 %.

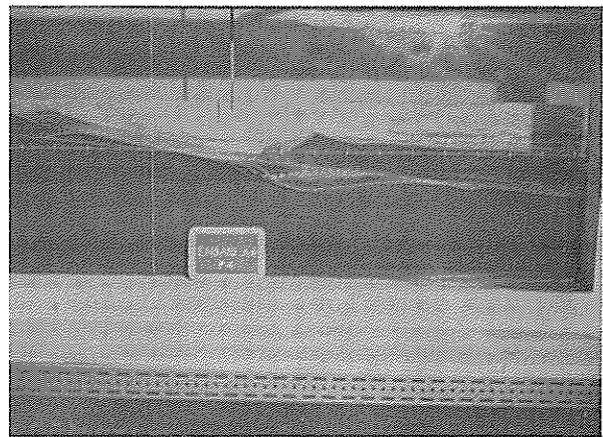
Realizou-se um total de 23 ensaios, cada um dos quais se desdobrou em 2 ou mais fases no intuito de detectar a variação da intensidade com que se processava a evolução em cada um dos casos.

Para registar a evolução da praia foram extraídos 240 perfis transversais, correspondentes não só às configurações de equilíbrio obtidas, como também às situações relativas a cada fase e ainda às configurações especiais no caso de o perfil apresentar distorções laterais.



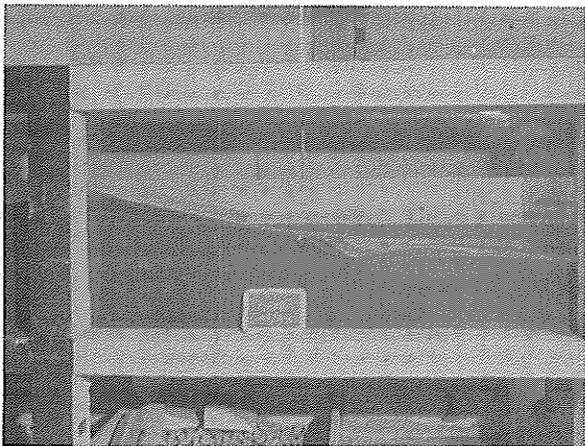
14347

Fig. 36 - Perfis do ensaio A-2



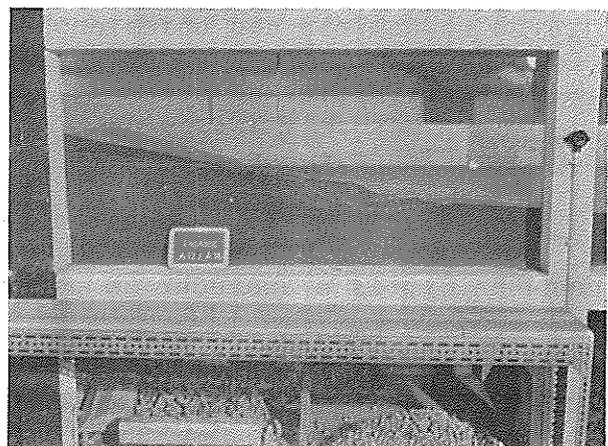
14517

Fig. 37 - Perfis dos ensaios A-2 e A-6



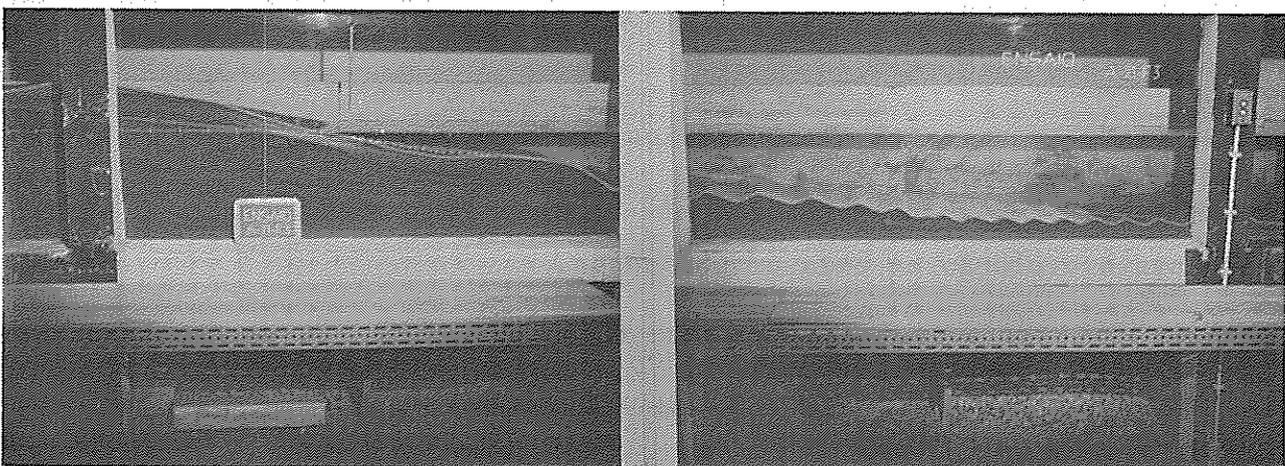
14769

Fig. 38 - Perfis dos ensaios A-6 e A-12



14965

Fig. 39 - Perfis dos ensaios A-12 e A-18



15283

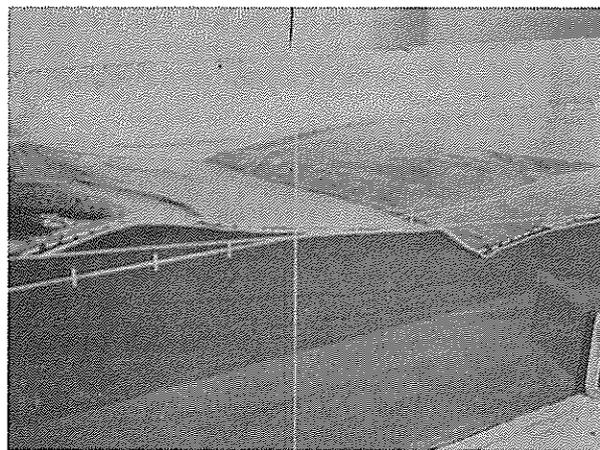
Fig. 40 - Perfil do ensaio A-21 F₃

O conjunto de todos esses per
fis, conjugados com as anotações to
 madas sobre as mínimas particulari-
 dades da evolução, constitui um gran-
 de volume de informações que permi-
 tiram um conhecimento pormenorizado
 dos fenómenos. Na sua essência essas
 observações - e a dos ensaios seguin
tes - estão contidas nas conclusões
 adiante apresentadas e na síntese
 efectuada nos capítulos seguintes.
 Por esse motivo não será aqui efec-
 tuada uma descrição especial dos en
saios.

Para não alongar demasiado a ex
posição são apresentados apenas os
 perfis transversais correspondentes
 ao final de cada ensaio (fig. 1 a 3
 do Anexo III). No entanto, no Anexo
 IV são registadas todas as medições
 efectuadas em cada uma das fases dos
 ensaios.

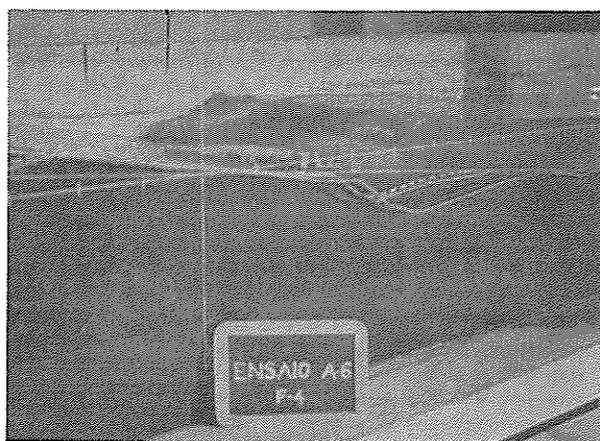
Nas figs. 36 a 40 apresentam -
 -se cinco aspectos dos perfis dos en
saios n^{os} 2, 6, 12, 18 e 21.

As figs. 41 a 43 ilustram os três
 tipos de rebentação observada nes -
 tes ensaios. Na primeira destas fi



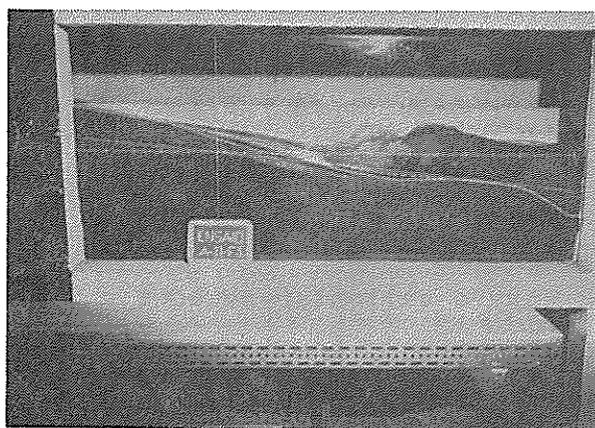
14346

Fig. 41 - Rebutação de
 fundo no ensaio A-2



14523

Fig. 42 - Rebutação mista
 de fundo e mergulhante



15284

Fig. 43 - Rebutação mergu-
 lhante do ensaio A-21 F₃

guras a rebentação é perfeitamente do tipo rebentação de fundo; na figura seguinte a rebentação produz-se ainda pelo fundo mas as cristas tendem já para uma rebentação mergulhante sobre o espraiamento da rebentação de fundo; na última figura a rebentação é já mergulhante, embora ainda não muito bem definida.

Como nota particular dos ensaios da série A deve salientar-se a erosão produzida pelos primeiros ensaios imediatamente a seguir ao talude da plataforma de rebentação, formando como que uma fossa em relação aos fundos imediatamente a barlar.

5.2 - Ensaio das séries B, C, D, E

Estes ensaios foram programados com o fim de se determinarem as possíveis diferenças introduzidas nas características do perfil transversal pela mudança do período da ondulação.

Para que fosse possível obter declividades de onda da ordem de 2 a 3%, a fim de se conseguir a formação de barras e fossas no perfil, decidiu-se realizar estes ensaios com períodos de onda mais baixos do que os empregados nos ensaios da série A. Deste modo, adoptaram-se para a ondulação dos ensaios B, C, D e E períodos respectivamente iguais a 1,00-1,22 - 1,44 e 1,58 s, correspondendo-lhes comprimentos de onda ao largo respectivamente iguais a 156 - 234 - 312 e 390 cm, ou seja, comprimentos de onda variando numa progressão aritmética da razão 1,5.

A duração dos ensaios e características das ondas constam do Anexo II.

Deve salientar-se aqui a duração consideravelmente reduzida atribuída a cada ensaio. Este critério foi porém adoptado porque, com a realização dos ensaios A, se verificou ser muito rápida a evolução das zonas mais elevadas do perfil (espraiado, plataforma de rebentação e talude de rebentação) - precisamente as zonas cujas características e evolução melhor interessava conhecer. É evidente que o estudo das transformações operadas

nos fundos do largo de modo a ser atingido o perfil de equilíbrio nos fundos exigirá um tempo muito mais prolongado.

A altura máxima das ondas utilizadas em cada ensaio correspondia à ondulação que produzia, de modo bem definido, a formação de barra e fossa no extremo da plataforma, não se empregando ondas de maior altura para não provocar grandes modificações nos fundos adjacentes que pudessem introduzir alterações nas condições gerais em que estes ensaios decorreram.

Verificar-se-á, pelos resultados obtidos, que estes critérios operacionais possibilitam a obtenção rápida de resultados satisfatórios, ajustáveis aos resultados dos ensaios A, de muito maior duração.

Realizaram-se 12 ensaios na série B, 13 na série C, 10 na série D e 13 na série E, alguns dos quais desdobrados em fases.

As características da ondulação utilizada constam do Anexo II.

Os perfis das configurações tidas por mais características estão apresentados nas figuras 4 a 8 do Anexo III.

Os elementos de medida correspondentes a todos os ensaios estão registados no Anexo III.

5.3 - Ensaio da série F

Estes ensaios constituem um estudo muito breve sobre a evolução de uma praia de areia quando formada a partir de um talude de inclinação constante muito suave - 5%. A fig. 44 mostra uma das configurações obtidas e o traçado inicial da praia.

Realizaram-se 9 ensaios deste tipo, empregando primeiro ondas de período 1,00 s; depois ondas policromáticas compostas por 2 comboios de períodos $T_1 = 1,00$ s - $T_2 = 1,18$ s e $T_1 = 2,00$ s - $T_2 = 2,36$ s.

Os resultados obtidos apresentam grande interesse. No entanto, como a relação destes ensaios com os anteriormente referidos exigiria uma série mais prolongada de experiências, não tem grande cabimento apresen-



20832

Fig. 44 - Perfil do ensaio F_9

tar aqui as poucas medidas obtidas. Na fig. 9 do Anexo III apresenta-se a evolução obtida com o último ensaio, sendo de salientar a criação de um cor dão litoral de grandes dimensões numa zona do perfil inicialmente submersa.

Estes ensaios têm o especial interesse de evidenciar a dificuldade em manter nos modelos um perfil dos fundos de baixa profundidade, isto é, de pequena inclinação dos fundos: - é o que se conclui em face da acentuada



Fig. 45 - Rebentação mergulhante no ensaio F_9

18895

erosão que os sucessivos ensaios acabaram por produzir nos fundos do largo.

Na fig. 45 pode observar-se com algum pormenor a configuração da barra produzida na posição 440 e a rebentação do tipo mergulhante puro por ela provocada.

Cabe esclarecer que, inicialmente, a rebentação produzia-se próximo da posição 500, originando aí uma pequena barra de fundo que, pouco a pouco, se foi deslocando para terra.

5.4 - Ensaio da série G

A realização de ensaios com marés introduz grandes alterações na configuração geral dos perfis conforme se pode verificar pelas figs. 10 e 11 do Anexo III.

A maré utilizada nestes ensaios tinha uma amplitude de 15 cm e um ciclo de 60 min.

Nos primeiros ensaios G_1 utilizou-se um período constante de 2,00s e uma altura de onda também constante - cerca de 2 cm. A fim de se obter uma configuração estável do perfil prolongaram-se estes ensaios por onze fases de vazante e enchente sucessivas.

Nos ensaios G_2 e G_3 conservou-se o período e diminuiu-se a altura de onda.

Nos ensaios G_4 a G_{12} utilizou-se uma ondulação policromática com alturas de onda sensivelmente maiores.

Dadas as características particularmente interessantes destes ensaios, foi possível completar o conjunto de informações já obtidas sobre a evolução dos perfis. De momento salienta-se apenas a regularidade apresentada em geral pelo espriado nas situações de baixa-mar, como mostra a fig. 46. Além disso, é de salientar que um ensaio com maré põe em movimento grande quantidade de materiais da plataforma de rebentação.



20831

Fig. 46 - Perfil do ensaio G₁₃

5.5 - Ensaio da série H

Estes ensaios constituem um estudo sumário sobre a movimentação de materiais mais leves do que areia natural.

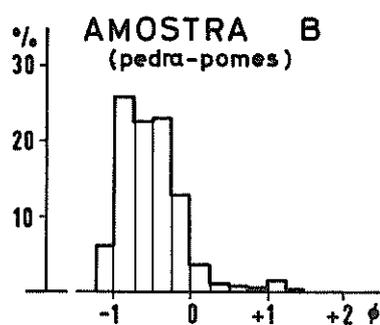
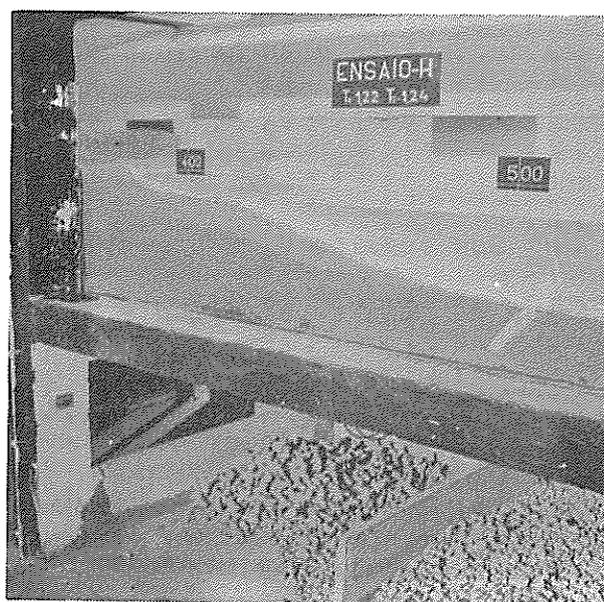


Fig. 47 - Histograma granulométrico (Ensaio H)



19876

Fig. 48 - Perfil de ensaio com pedra-pomes

Empregou-se pedra-pomes de peso específico $1,67 \text{ g. cm}^{-3}$, de diâmetro mediano $1,50 \text{ mm}$, com a composição granulométrica indicada na fig. 47 de acordo com a distribuição descrita na fig. 5 do Anexo I.

Como se verifica, o comportamento destes materiais é muito diferente do da areia, sendo de destacar, além da maior profundidade a que se dá a movimentação, as elevadas inclinações oferecidas pelo talude de rebentação (cerca de 33%), o que tem particular interesse para a determinação das escalas dos modelos de fundo móvel.

Na fig. 13 do Anexo III apresentam-se 6 perfis obtidos com ondas de diferentes declividades ao largo, variando de $0,59$ a $2,87\%$. A fig. 48 dá ideia dos perfis obtidos.

Salienta-se que as ondas de maior altura não chegaram a formar barra e fossa no perfil. Melhor dizendo, verifica-se que a grande mobilidade destes materiais permite que as fossas e barras produzidas pelo impacto das cristas mergulhantes possam ser logo de seguida desfeitas pela turbulência criada nesse ponto.

Um outro aspecto de grande importância é o depósito anormalmente elevado produzido no extremo superior do espraiado. Quase todos os espraiamentos produzem uma escarpa no limite da berma, que tende a elevar-se progressivamente, transfigurando o perfil do espraiado e dando origem a reflexões muito importantes da ondulação. Esta escarpa só é atenuada quando se empregam ondas policromáticas.

Finalmente salientam-se as cambiantes do movimento sobre o talude de rebentação. Como se vê na fig. III-13, a ondulação do ensaio H_2 , mais baixa do que a do ensaio anterior, deu origem a um depósito na base do talude de rebentação à custa de materiais extraídos da parte superior do talude. O mesmo fenómeno se pode observar nos restantes ensaios, confirmando portanto a hipótese enunciada no capítulo IV sobre a movimentação dos ma-

teriais.

Deve notar-se que o transporte de massa junto ao fundo em perfis de tão elevadas inclinações como os destes ensaios, parecem afastar-se muito das previsões de Longuet-Higgins, aliás deduzidas para o caso de fundos horizontais. Isto pode significar que a determinação da distorção geométrica dos modelos baseada na intensidade do transporte de massa terá de sofrer algumas revisões.

Na fig. 14 do Anexo III apresenta-se a sucessão de perfis obtidos no decorrer de uma maré.

Pode verificar-se que o perfil final revela uma acumulação muito grande de materiais sobre o espriado superior, originada pelas sucessivas deixas do espriamento. Inclusivamente, o perfil da baixa-mar apresenta uma egr carpa extravagante a meio do espriado, que nunca apareceu nos ensaios com areia.

5.6 - Ensaio da série I

Estes ensaios, do mesmo tipo dos ensaios H, constituem também um estudo sumário sobre as possibilidades do emprego de baquelite nos modelos.

A baquelite utilizada, de peso específico $1,41 \text{ g.cm}^{-3}$ e diâmetro mediano $0,93 \text{ mm}$, tinha a composição indicada na fig. 49, cuja distribuição granulométrica é apresentada na fig. 6 do Anexo I.

Os perfis transversais obtidos são apresentados na fig. 15 do Anexo III. A fig. 50 mostra um aspecto dos ensaios.

Este material revelou grandes possibilidades para utilização em modelos de fundo mó-

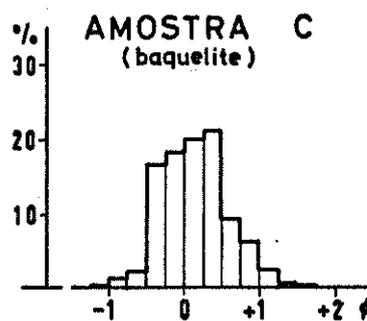


Fig. 49 - Histograma granulométrico (Ensaio I)

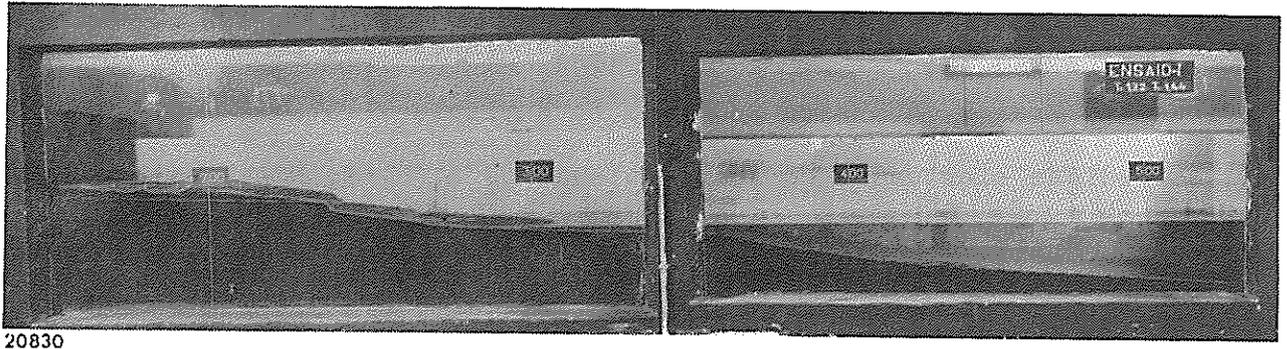
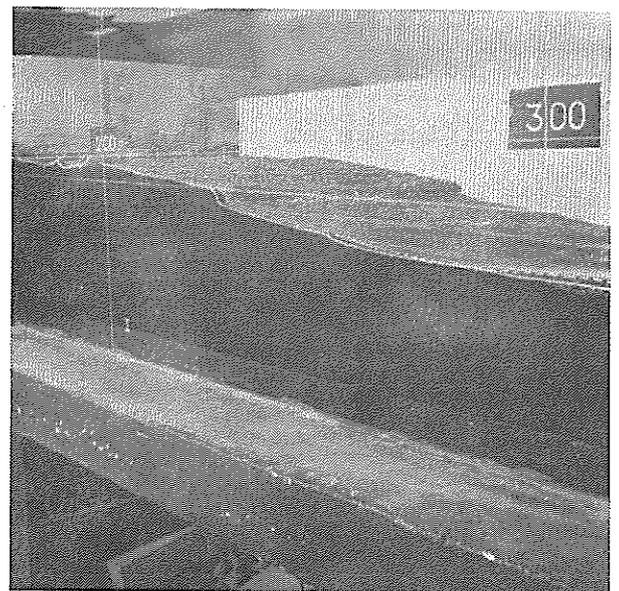


Fig. 50 - Perfil do ensaio I em baixa-mar

vel, devido à sua facilidade de movimentação. Ao contrário da pedra-pomes, os movimentos nos fundos produziam-se geralmente em regime de rugas, o que certamente favorece a semelhança com a realidade.

Salienta-se também a formação de uma grande acumulação de materiais largados pelo espraia-mento formando escarpa a meio do espraia-mento no decorrer da maré va-zante, como se vê pela fig. 51.

Fig. 51 - Pormenor da escar-
pa produzida a meio do es-
praia-mento no ensaio I



6 - CONCLUSÕES DOS ENSAIOS

6.1 - Observações gerais

Como já se disse, os resultados de todos os ensaios e a evolução observada permitiram a elaboração da síntese sobre a evolução dos perfis, que será apresentada no capítulo VII, e, a determinação das principais características das praias, que será indicada no capítulo VIII.

As medidas efectuadas em todos os ensaios A, B, C, D e E estão apresentadas no Anexo IV. A partir dessas medidas podem extrair-se alguns resultados esclarecedores sobre as características das zonas mais elevadas dos perfis dos modelos reduzidos de areia natural, válidas para as condições definidas nos ensaios realizados.

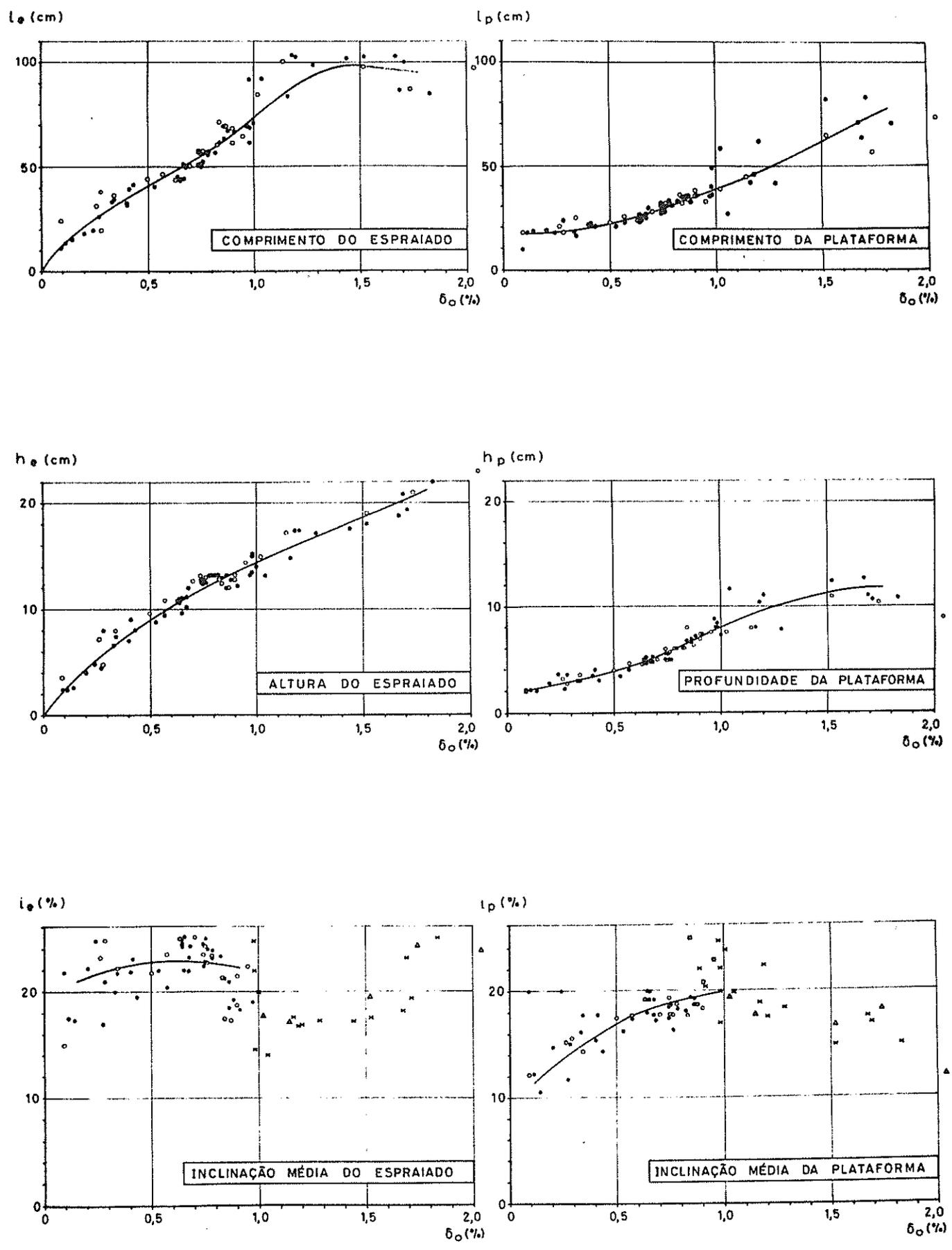
A seguir serão analisados, primeiramente, os resultados dos ensaios A; as conclusões finais serão obtidas considerando também os ensaios B, C, D, e E.

6.2 - Resultados gerais dos ensaios A

Tomando como base os ensaios A, mais completos e de maior duração, elaboraram-se os gráficos da fig. 52 tendo em conta não só as situações verificadas no fim de cada ensaio como ainda no fim de cada fase dos ensaios.

Verifica-se em primeiro lugar que, de um modo geral, os resultados relativos a declividade de onda ao largo maiores do que 1% apresentam uma dispersão muito grande, tornando incertas as relações de dependência das variáveis estudadas. Este facto não é de estranhar, pois como se disse, a partir do 18º ensaio observaram-se no canal balançamentos de longo período.

Contudo, a correlação obtida para baixas declividades parece muito bem definida. Assim, relacionando as diversas variáveis com a declividade da



○ { RESULTADOS FINAIS DE CADA ENSAIO }

⊗ { RESULTADO DE CADA FASE }

CARACTERÍSTICAS DOS PERFIS TRANSVERSAIS
ENSAIOS A

onda ao largo, verifica-se:

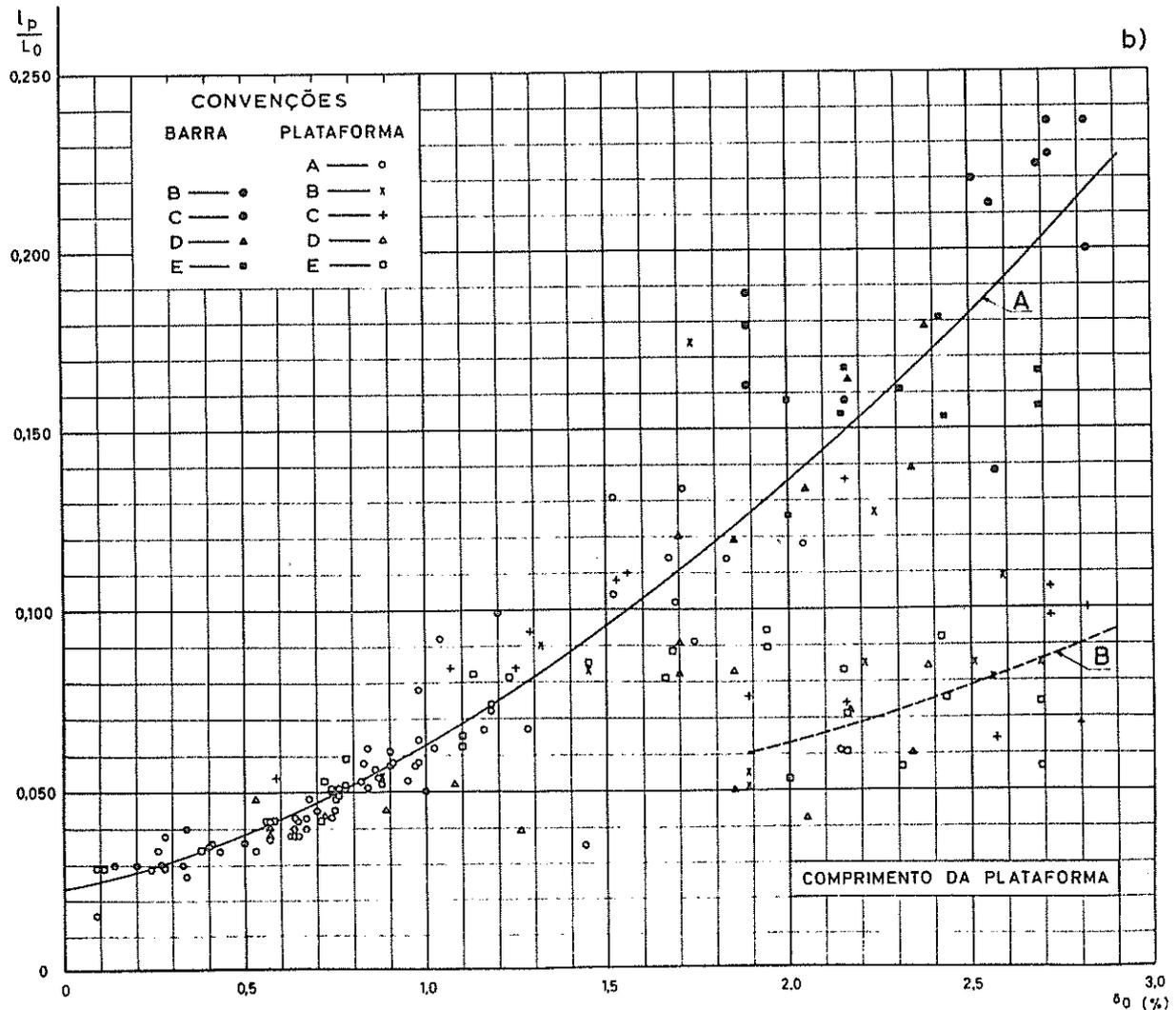
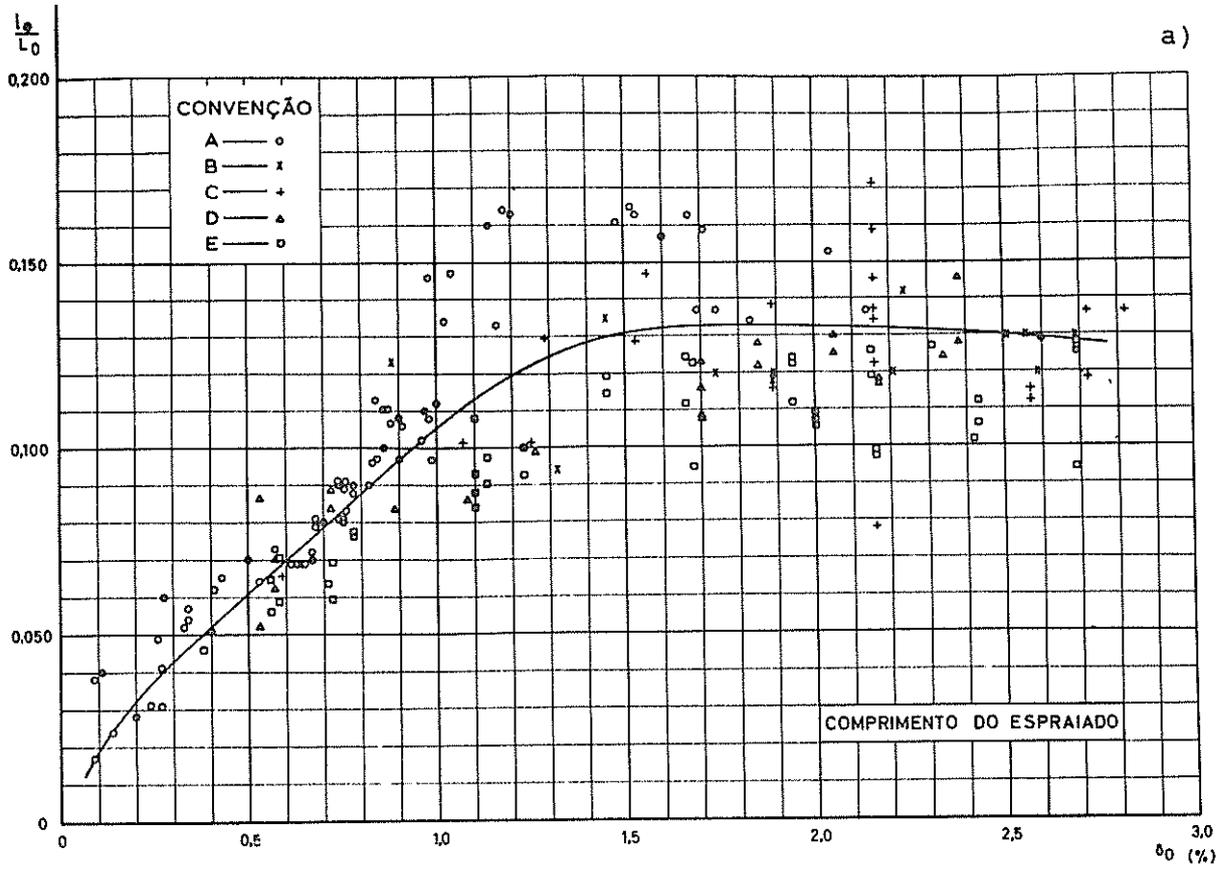
- a) O comprimento l_e do espraído aumenta progressivamente com a altura da ondulação.
- b) O comprimento l_p da plataforma de rebentação aumenta, cada vez mais, à medida que aumenta a altura da ondulação.
- c) A altura h_e do espraído sobre o nível das águas em repouso aumenta, cada vez menos, com a altura da ondulação.
- d) A profundidade h_p do extremo da plataforma de rebentação aumenta rapidamente quando aumenta a altura da onda, tendendo depois a aumentar mais lentamente.
- e) A inclinação média do espraído oscila de 20 a 25%, com um valor médio de 22%.
- f) A inclinação média da plataforma de rebentação aumenta rapidamente desde um valor inicial de 10% até atingir 20%, tendendo depois a diminuir.

6.3 - Conclusões gerais

6.3.1 - Resultados utilizados

Para se poder relacionar entre si todos os resultados dos ensaios A, B, C, D e E (realizados com períodos diferentes), as medidas obtidas foram divididas pelo comprimento de onda ao largo correspondente a cada ensaio. Obtiveram-se assim valores adimensionais que permitiram o traçado dos gráficos das figs. 53 e 54. Os gráficos da fig. 55, relativos às inclinações dos perfis, são também apresentados de forma adimensional.

Deve salientar-se, desde já, que os resultados dos ensaios B, C, D e E, de muito curta duração, integram-se de maneira notável nos resultados obtidos pelos ensaios A, de muito longa duração. Mais ainda: aqueles en-



CARACTERÍSTICAS DOS PERFIS TRANSVERSAIS
ENSAIOS A-B-C-D-E

saios permitem esclarecer as relações de dependência para declividades muito mais elevadas do que as dos ensaios A.

Deste modo podem extrair-se as conclusões a seguir indicadas.

6.3.2 - Comprimento do espraçado

Medindo o comprimento l_e do espraçado desde a linha de água até ao limite do espraçamento, verifica-se (fig. 53a) que este comprimento - ou, o que é equivalente, a extensão do espraçamento - aumenta proporcionalmente à altura das ondas para declividades de onda inferiores a 1%; cresce depois de modo menos rápido até um limite máximo que é atingido com declividades da ordem de 1,6% a 1,8%; e, finalmente, com declividades ainda maiores decresce sensivelmente.

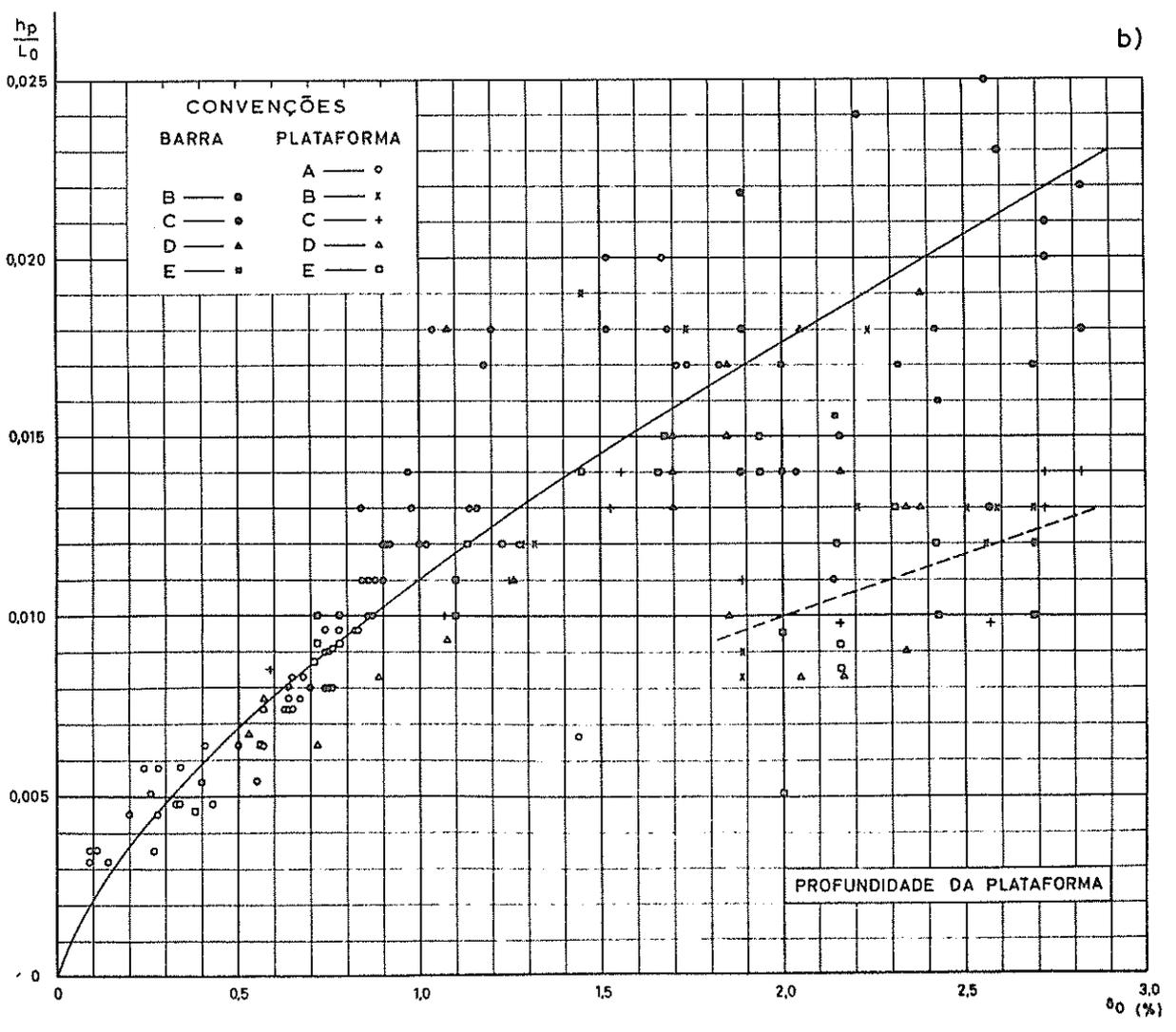
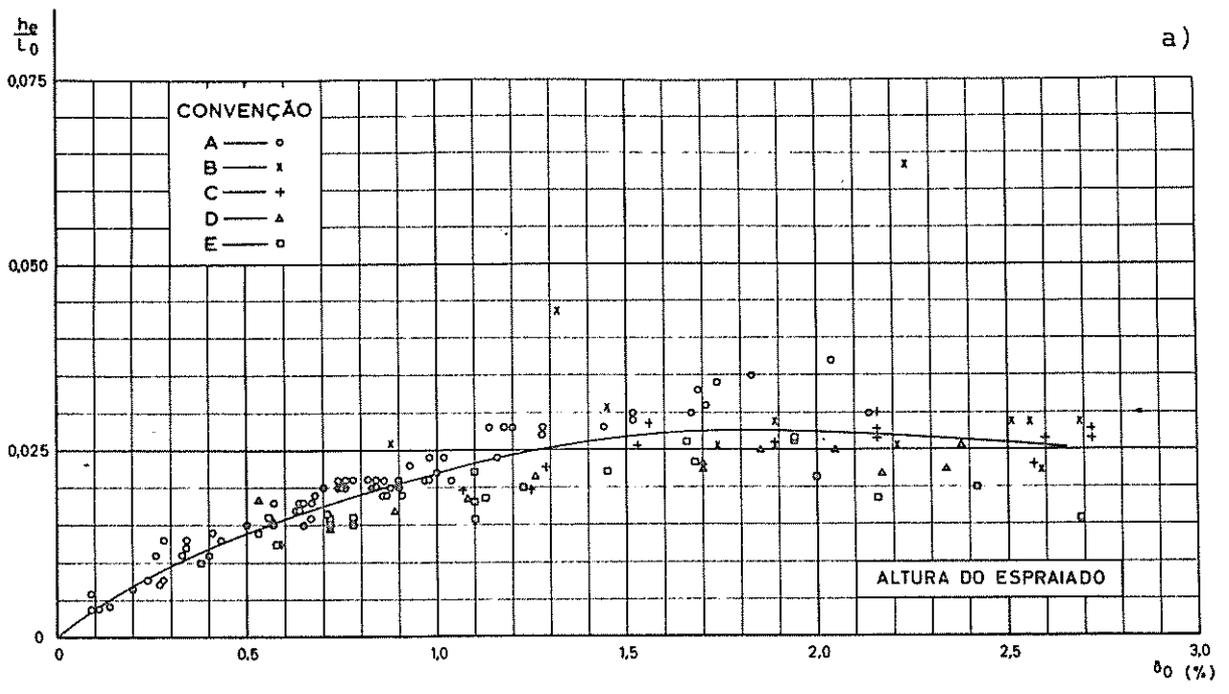
Esta diminuição do espraçamento para grandes declividades explica-se perfeitamente pela maior dissipação de energia produzida pela rebentação mergulhante, a grande distância da linha de água.

6.3.3 - Comprimento da plataforma de rebentação

O comprimento l_p da plataforma, medido desde a linha de água até ao talude de rebentação, aumenta continuamente com a altura da ondulação.

Até declividades da ordem de 1,8% esse aumento segue uma lei aproximadamente parabólica, tornando-se depois linear.

Deve esclarecer-se que a evolução da plataforma inclui três fases principais: - na primeira o perfil da plataforma assemelha-se a um arco de parábola, apresentando inclinações relativamente elevadas no extremo de barlar; na segunda estas inclinações diminuem, até quase formar um patamar; e na terceira inicia-se a formação de uma fossa sobre este patamar, originando uma barra que, na verdade, é parte integrante da plataforma. A curva A da fig. 53b foi estabelecida incluindo na plataforma a barra formada a barlar.



CARACTERÍSTICAS DOS PERFIS TRANSVERSAIS
ENSAIOS A-B-C-D-E

Entretanto, considerando o comprimento da plataforma definido até à primeira fossa, pode traçar-se, a partir de declividades da ordem de 1,8% uma outra curva que, afinal, mais não é do que o comprimento da banquetta formada logo a seguir à linha de água.

Estes resultados conduzem a uma conclusão do maior interesse: a formação de barras e fossas inicia-se com declividades de onda de 1,8% - algo mais baixas, portanto, do que os valores de 2,5 a 3% geralmente admitidos por diversos autores.

6.3.4 - Altura do espraído

O gráfico da fig. 54 mostra que a cota h_e do espraído, medida entre o nível médio das águas e o limite do espraimento, aumenta até declividades da ordem de 1,8%, diminuindo depois sensivelmente.

Estes resultados concordam bastante bem com os obtidos por Rector [26] numa grande série de ensaios com areia conduzidos até à obtenção do perfil de equilíbrio. Segundo Rector, a altura do espraído até declividades da ordem de 1,8% segue a seguinte lei:

$$\frac{h_e}{L_o} = 0,18 \delta_o^{0,5}$$

Os resultados dos ensaios efectuados no LNEC permitem estabelecer que a altura do espraído devida a ondas de declividade inferior a 1,8% segue aproximadamente a seguinte lei:

$$\frac{h_e}{L_o} = 0,21 \delta_o^{0,5}$$

com declividades superiores a 1,8% a altura do espraído é sensivelmente definida por:

$$\frac{h_e}{L_0} = 0,027$$

Este valor é um pouco mais elevado do que o valor de 0,024 encontrado por Rector.

6.3.5 - Profundidade de plataforma de rebentação

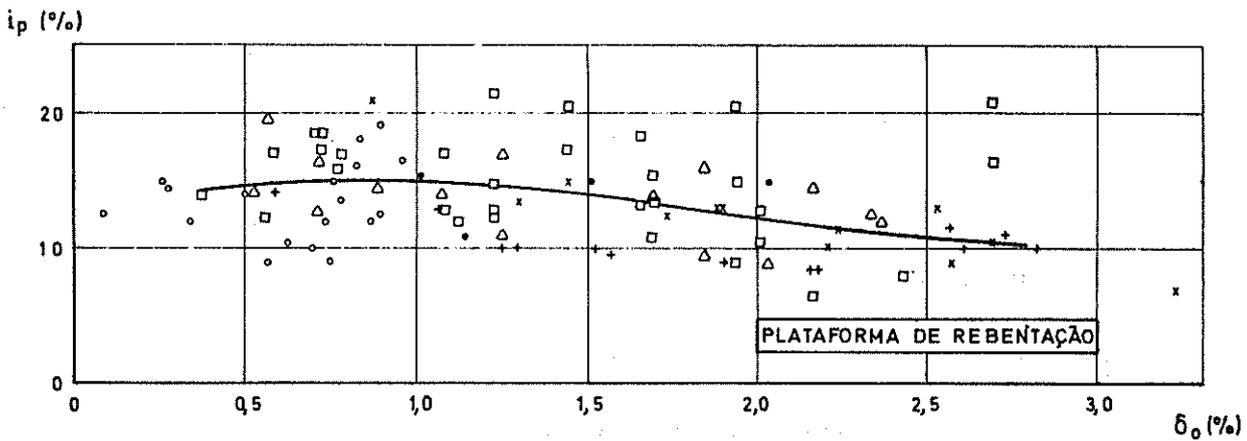
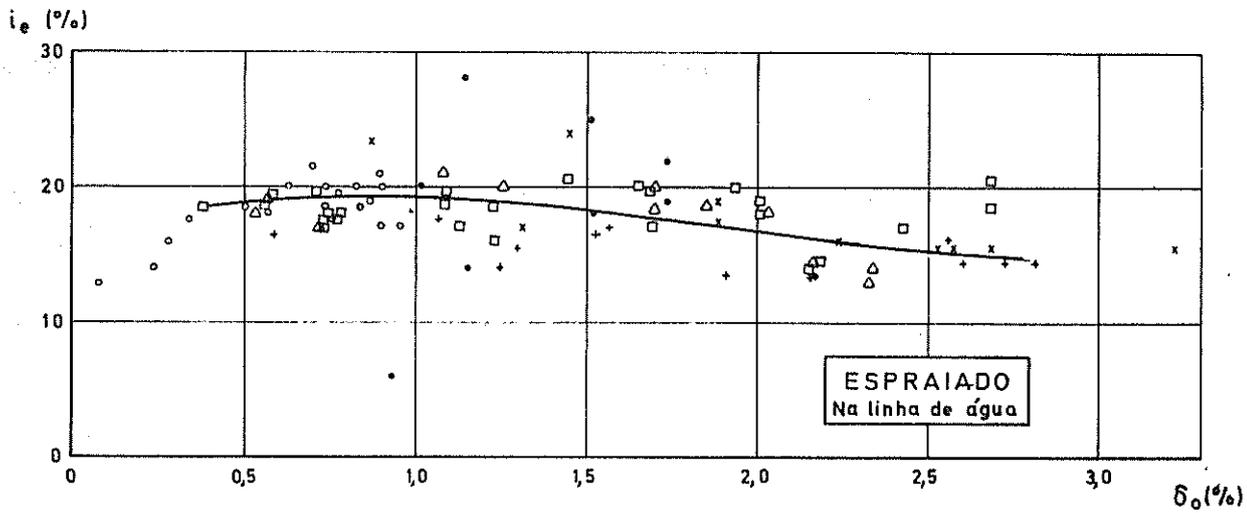
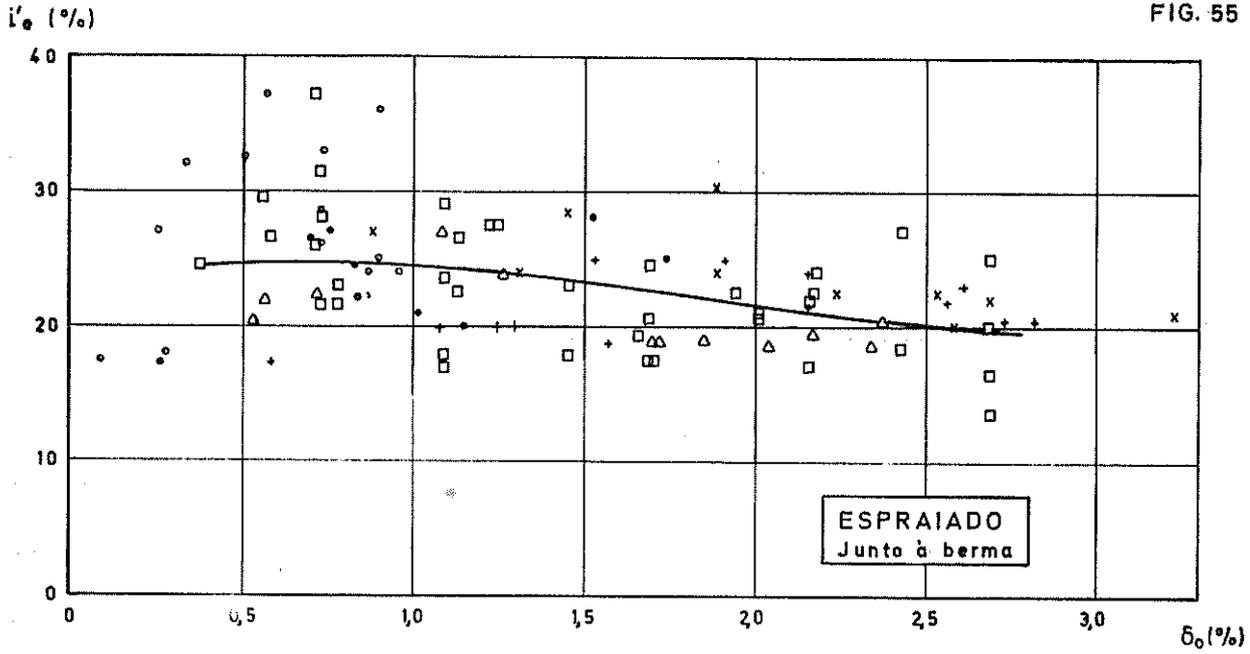
Definindo a profundidade h_p da plataforma pela altura medida desde o nível médio da água até ao extremo de barlar da plataforma, verifica-se pelo gráfico da fig. 54 b que essa profundidade aumenta continuamente com a declividade da ondulação. Nesse gráfico estão incluídos os valores correspondentes à barra formada com ondas de declividade superior a 1,8%.

A banqueta formada logo a seguir à linha de água aparece evidenciada pela curva B da mesma figura.

Tendo em conta que as grandezas adimensionais adoptadas relacionam a declividade H_0/L_0 da onda ao largo com a profundidade relativa h_e/L_0 da plataforma, o mesmo é dizer que o gráfico apresentado liga directamente a altura H_0 das ondas com a profundidade h_p da plataforma. Verifica-se, assim, que a profundidade do extremo da plataforma começa por ser superior à altura das ondas para se tornar progressivamente menor, embora aumentando continuamente. Este facto explica-se facilmente considerando que as ondas de maior declividade têm, na rebentação, características que as aproximam de ondas solitárias.

6.3.6 - Inclinações do espraiado e da plataforma de rebentação

Na fig. 55 apresentam-se as inclinações dos perfis tomadas em três pontos especiais: no limite superior do espraiado, junto à berma; no início do espraiado, junto à linha de água; e no extremo de barlar da plataforma de rebentação.



- - Ensaios A ($\delta_o < 1,0$) - T = 2,000 s + - Ensaios C - T = 1,225 s
- - " A ($\delta_o > 1,0$) - T = 2,000 s Δ - " D - T = 1,414 s
- x - " B - T = 1,000 s □ - " E - T = 1,500 s

INCLINAÇÕES DO ESPRAIADO E DA PLATAFORMA DE REBENTAÇÃO

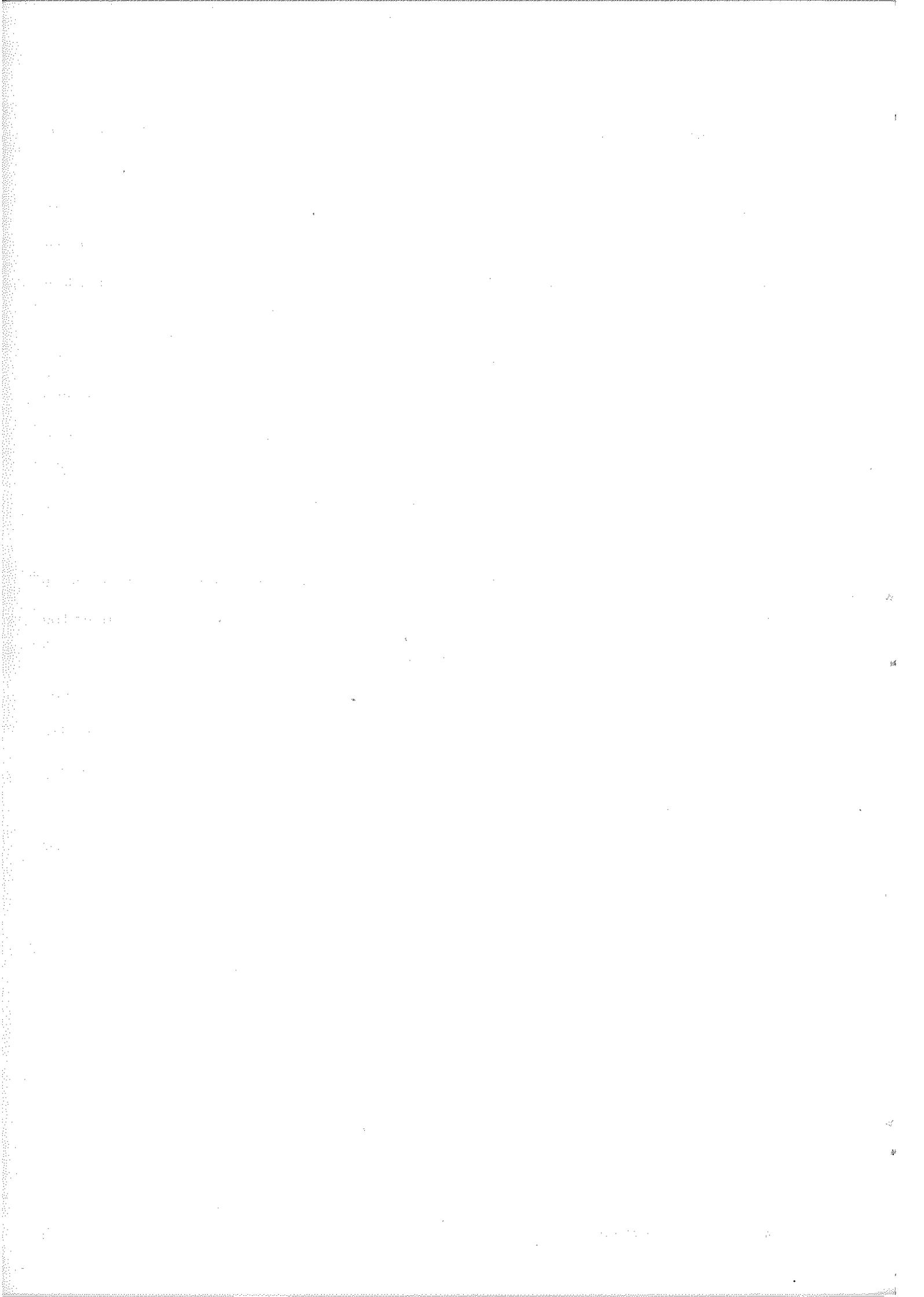
— ENSAIOS A-B-C-D-E —

É interessante notar que todas essas séries de inclinações variam de modo idêntico com a declividade das ondas, mantendo-se praticamente constantes até declividades da ordem de 1,0 a 1,2%, diminuindo depois daí por diante. O andamento atribuído às curvas médias na zona de maiores declividades utilizadas nos ensaios carece evidentemente de correcção posterior, a obter com a realização de novos ensaios.

Pode verificar-se que, à medida que aumenta a declividade da ondulação, as inclinações no espriado superior oscilam inicialmente em torno dos 25%, baixando depois para cerca de 20%; na linha de água variam de certa de 19% até 15 ou 16%; e no extremo da plataforma passam de 15% até 10 ou 11%. Todas estas inclinações são consideravelmente mais elevadas do que as das praias naturais.

Uma vez que as inclinações dos perfis dos ensaios não aumentam com a altura da onda conclue-se que a distorção das alturas de onda nos modelos não conduz à distorção do perfil transversal.

Além disso, uma vez que as inclinações seguem um andamento muito bem definido, conclui-se ainda que um modelo reduzido funciona sempre com uma distorção própria, que lhe é dada essencialmente pelas propriedades intrínsecas do material móvel utilizado. Esta distorção não pode ser alterada pela mudança das características da ondulação, pelo que será em função dessa distorção que as escalas do modelo terão de ser determinadas.



CAP. VII - EVOLUÇÃO DO PERFIL TRANSVERSAL

1 - GENERALIDADES

No estudo que a seguir se apresenta, procurou-se efectuar uma síntese que englobasse os resultados de ensaios e observações e as conclusões das teorias anteriormente descritas. Mau grado este estudo partir de um imperfeito conhecimento dos fenómenos naturais, julga-se que as conclusões obtidas não se afastarão muito da realidade uma vez que o esquema geral proposto harmoniza entre si as informações fornecidas por um grande número de observações.

No desenvolvimento deste estudo, seguiu-se o caminho tradicional de isolar as variáveis em causa, analisando-se primeiro a influência da variável mais importante - a ondulação - e conjugando todas as conclusões assim obtidas com os efeitos resultantes da variação do nível das águas com a maré.

2 - EVOLUÇÃO COM ONDAS DE PERÍODO CONSTANTE

2.1 - Fase I - Ondas de muito pequena declividade

Quando a primeira onda do comboio atinge as proximidades da linha de água da praia em estudo, começa por produzir-se, momentos antes da rebentação, um pequeno fluxo de águas em direcção ao largo, com velocidades porventura suficientes para provocar o arrastamento de algumas partículas.

Simultaneamente, a propagação da primeira onda, dando origem a velocidades de arrastamento no fundo progressivamente maiores à medida que vão diminuindo as profundidades, é assinalada, a partir de certo ponto, pelo transporte de algumas partículas em direcção a terra.

Estes dois movimentos, de sentidos opostos, saldram-se por uma primeira acumulação de sedimentos nos fundos correspondentes à linha de rebentação, que é, sensivelmente, a linha em que se observa o máximo empolamento da onda (fig.56).

Uma vez realizada a rebentação, o espraiamento que se lhe segue submete os sedimentos a velocidades de arrastamento já bastante elevadas, pelo que haverá o transporte de alguns materiais no sentido da terra.

Uma parte destes materiais será a seguir transportado, em sentido inver

so, pelo refluxo subsequente, ficando porém outra parte depositada sobre o espraiado, em virtude de as velocidades de arrastamento correspondentes ao refluxo serem necessariamente inferiores às do espraiamento que lhe deu origem. De facto, o espraiamento de uma onda é sempre acompanhado de uma pequena dissipação de energia e, além disso, parte da água do espraiamento, sobretudo a que atinge cotas mais elevadas, perde-se por percolação entre as areias do espraiado.

O transporte dos sedimentos produzido pelo refluxo prossegue até um pouco para além da linha de água inicial, cessando em virtude da oposição oferecida pela chegada da nova onda. Como a esta onda corresponde, por sua vez, novo transporte para terra de materiais erodidos nos fundos adjacentes à zona de rebentação, resulta desses movimentos antagónicos um aumento da acumulação já iniciada na zona de rebentação. Esta acumulação é assim a origem da plataforma de rebentação.

O processo repete-se e acentua-se com as ondas seguintes, atenuando-se depois, progressivamente, de modo que, ao fim de um tempo suficiente -

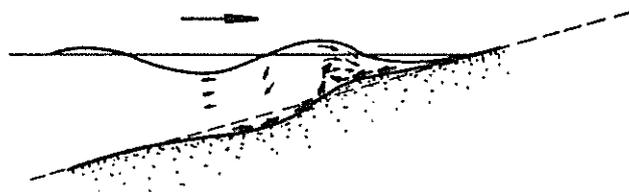


Fig. 56 - Início da evolução do perfil transversal

mente longo, o perfil estará completamente estabilizado. A configuração final apresentará, de acordo com a figura 57, as seguintes zonas características:

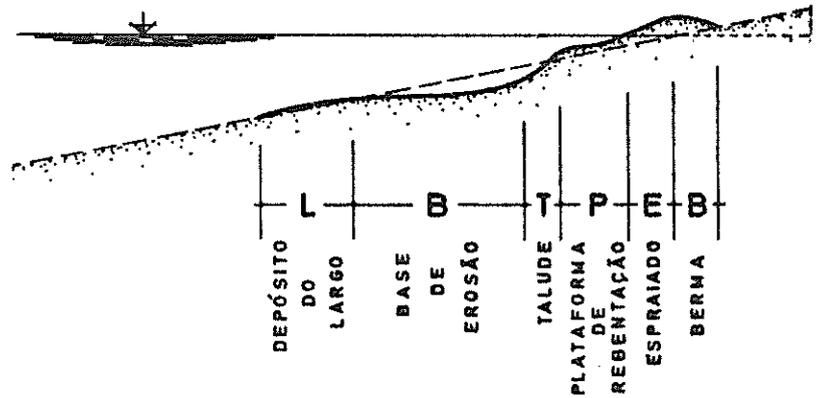


Fig. 57 - Configuração produzida na fase I da evolução

- Zona B, base da erosão nos fundos, de muito pequena inclinação ou até de inclinação negativa (isto é, descendo do mar para terra).
- Zona T, formada pelo talude de rebentação, de inclinação muito elevada (próxima do ângulo de talude natural).
- Zona P, da plataforma de rebentação, estendendo-se desde o limite do talude de rebentação até à linha de água do perfil. Possui inclinações pequenas, progressivamente mais elevadas no sentido da terra, assemelhando-se a sua configuração a um arco de uma curva do tipo parabólico.
- Zona E, do espraçado, estabelecendo a continuação natural da plataforma de rebentação, com inclinações também progressivamente maiores no sentido da terra.
- Zona B, da berma, de inclinação nula ou, mais frequentemente, negativa, formada pela acumulação de sedimentos largados pelas deixas dos sucessivos espraçamentos.

Com ondas muito pequenas não se observa em geral transporte de sedimentos para o largo em profundidades além da zona B de erosão dos fundos, a não ser que a inclinação inicial da praia seja muito elevada. Neste caso, aparece então uma zona L, formada pelos sedimentos arrastados para o largo

por influência da acção da força de gravidade sobre as partículas que, sob a acção da ondulação, fiquem submetidas a um movimento oscilatório de vai-vém.

Em resultado da modificação produzida no perfil inicial, a nova configuração diferencia-se fundamentalmente da rampa inicial por apresentar uma erosão abaixo da linha de água e, conseqüentemente, um enchimento na parte emersa do perfil inicial. Nestas condições, como o volume de materiais erodidos tem de, necessariamente, ser igual ao volume de materiais depositados, é óbvio que a posição final da linha de água terá sofrido um deslocamento em direcção ao mar. Em linguagem vulgar, a praia "encheu".

Aumentando de novo a altura da onda, o perfil manterá a configuração acima indicada, embora, naturalmente, ganhando maior desenvolvimento. Assim:

- iniciar-se-á, efectivamente, o depósito que caracteriza a zona L;
- a erosão de base começará a maiores profundidades;
- o talude de rebentação, mantendo a mesma elevada inclinação, aumentará de altura e formar-se-á a maior profundidade;
- a plataforma de rebentação será mais extensa, mas terá uma inclinação cada vez menor no extremo vizinho da rebentação, mantendo-se a inclinação anterior junto à linha de água;
- o espraído será mais extenso, tendendo a apresentar inclinações ligeiramente maiores para ondas um pouco mais altas do que as iniciais e, depois, com ondas ainda maiores, inclinações sensivelmente menores;
- a berma formar-se-á a uma cota mais elevada, visto que o espraíamento será também maior. Em cada novo aumento de altura de onda observar-se-á inicialmente o galgamento da berma anteriormente formada, com a deposição de pequenos depósitos de sedimentos que, a pouco e

pouco, farão elevar a sua altura. A nova berma estará consolidada quando tiver altura suficiente para impedir novos galgamentos.

2.2 - Fase II - Ondas de declividade média

Com o aumento sucessivo da altura das ondas, a rebentação modificar-se-á, passando progressivamente do tipo rebentação de fundo para o tipo de rebentação mergulhante.

No estágio intermédio que caracteriza esta fase, verifica-se que as cristas ganham um balanço suficientemente grande para rebentarem de mergulho, mas ao mesmo tempo nota-se que, junto ao fundo, subsiste ainda um im

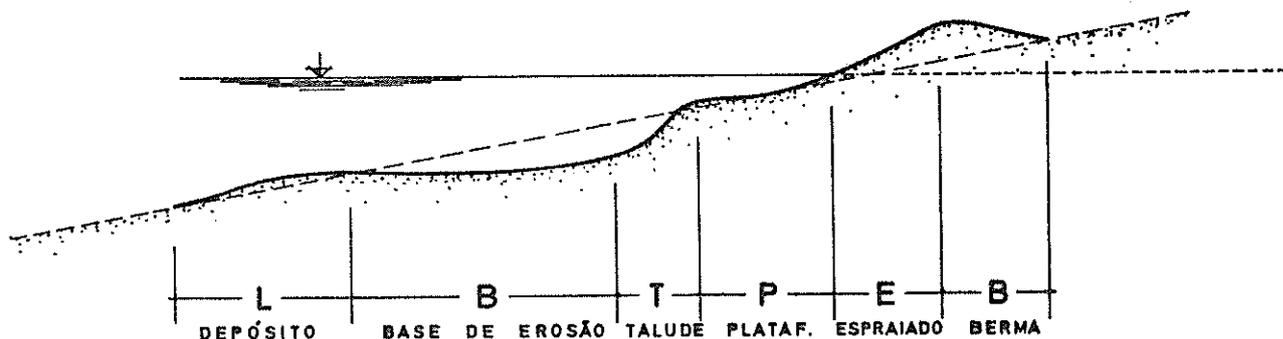


Fig. 58 - Configuração produzida na fase II da evolução

pulso suficientemente grande para se produzir uma rebentação pelo fundo. Com este tipo misto de rebentação, a plataforma ganha uma maior extensão, o refluxo retarda-se e, em consequência, o espraiamento inicia-se contra o escoamento ainda não completado desse refluxo.

No limite do desenvolvimento nesta fase, o perfil final apresentará:

- a zona L, formada a maiores profundidades;
- a zona B, de pequenas inclinações, com tendência para aumentarem, iniciada também a maiores profundidades;
- a zona T do talude, ligeiramente menos íngreme do que na fase anterior;

- a zona P, da plataforma de rebentação, muito desenvolvida, com um patamar no extremo marítimo e inclinações pequenas junto à linha de água. Nesta fase não se forma ainda fossa de rebentação na plataforma, mas pode surgir alguma pequena fossa na linha em que o fluxo de cada espraiamento vence o refluxo do espraiamento anterior;
- a zona E, de inclinações ligeiramente mais baixas;
- a zona B, da berma, sem elevação de altura, mas podendo apresentar uma pequena escarpa em consequência da diminuição de inclinações no espraiado.

2.3 - Fase III - Ondas de grande declividade

Aumentando um pouco mais a altura da ondulação, a rebentação passa a efectuar-se segundo o tipo mergulhante puro.

A queda em voluta das cristas rebentadas dá-se sobre um colchão de líquido em movimento para o mar (fig 59), seja por o refluxo do espraiamento anterior ainda não estar terminado, seja também por a estrutura de uma rebentação mergulhante implicar, junto ao fundo, uma corrente de sentido contrário ao da propagação das ondas. A re-



17363

bentação produz uma dissipação súbita de energia (fig. 60) e o volume de água súbitamente acumulado na zona de impacto cria um desnível acentuado em relação à camada de líquido formada pelo refluxo ainda em curso. Nessas condições, gera-se imediatamente um macaréu, que progride no sentido da ter

ra apesar da oposição que lhe oferece aquele refluxo. A progressão do macaréu tende a fazer-se predominantemente por sobre a camada do líquido do refluxo.

Um espriamento deste tipo (macaréu) introduz modificações notáveis no esquema das velocidades de arrastamento sobre o espriado, podendo observar-se em alguns pontos uma

corrente de refluxo sobre o fundo com o sentido do mar e, simultâneamente, uma corrente de espriamento à superfície com o sentido de terra, o que implica, evidentemente, um transporte de sedimentos para o mar. Consequentemente, subsistindo este transporte no sentido do mar durante o espriamento, o espriado entra em erosão, baixando rapidamente de inclinação. A erosão terminará quando se der o equilíbrio entre esse transporte para o mar, efectuado essencialmente sobre o fundo, e o transporte para terra, constituído predominantemente pelos materiais postos em suspensão pela turbulência criada pela rebentação.

Entretanto, a queda em voluta das cristas rebentadas e a turbulência criada na zona de impacto produzirá uma escavação sobre a plataforma, originando, assim, a primeira fossa.

Dos materiais arrancados ao fundo, uma parte entra em suspensão no meio do turbilhão produzido, podendo ser transportada em qualquer sentido, ao sabor de variadas solicitações; outra parte é imediatamente deslocada sobre o fundo no sentido do mar. Com a passagem da nova cava de onda, gera -



17372

Fig. 60 - Dissipação da energia da onda rebentada

-se um refluxo sobre o extremo marítimo da plataforma e as aluviões são lançadas sobre o talude de rebentação. No momento seguinte dá-se a passagem de outra crista, mas verifica-se que as velocidades de arrastamento que esta crista provoca sobre o talude não são suficientes para anular aquele caminhamento de materiais para o mar, provavelmente por o transporte de massa com ondas mais declivosas não ser agora tão predominante junto ao fundo como no caso das ondas das fases anteriores.

Uma vez que se produz um enchimento do talude de rebentação, o extremo marítimo da plataforma de rebentação desloca-se um pouco no sentido do mar. Por isso, a rebentação seguinte ocorrerá um pouco mais cedo e o impacto da crista rebentada dar-se-á, não sobre o meio da fossa existente, mas sim sobre o seu talude posterior (lado do mar). Consequentemente, a fossa deslocar-se-á um pouco para o largo e novos materiais serão lançados no talude de rebentação, cuja inclinação irá a pouco e pouco diminuindo.

O enchimento do talude de rebentação dá-se, pois, à custa dos materiais arrancados à plataforma e, em última análise, arrancados ao espraiaido. A profundidade a que se prolonga este enchimento aumenta com a declivi

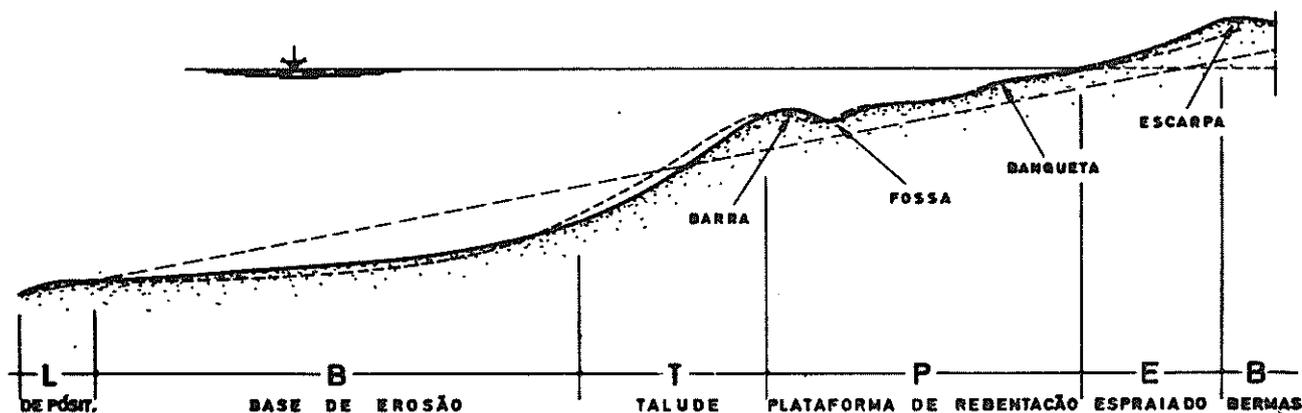


Fig. 61 - Configuração produzida na fase III da evolução

dade da ondulação, diminuindo ao mesmo tempo a inclinação do talude.

Não obstante este movimento para o largo sobre o talude de rebentação, o movimento de arrastamento para terra ainda é predominante a grandes profundidades. Forma-se assim uma zona de erosão em parte semelhante à das faixas anteriores. E, no limite marítimo desta zona, aparece também a zona de depósitos de materiais arrastados para o largo por influência predominante da força de gravidade.

Uma vez atingido o equilíbrio final, a estrutura do perfil apresenta: (fig.61).

- Zona L, formada a grandes profundidades com materiais levados para o largo.
- Zona B, base de erosão de materiais levados para terra.
- Zona T, do talude de rebentação, formada essencialmente com materiais arrancados à plataforma e ao espraçado.
- Zona P, da plataforma de rebentação, comportando uma barra, uma fossa, um patamar e, junto à linha de água, uma banquetta de rebentação junto ao espraçado. Esta banquetta é originada pelo encontro do macaréu em progressão com o refluxo da onda anterior, podendo vir a desenvolver-se a ponto de formar nova barra e nova fossa de dimensões inferiores à formada no extremo da plataforma. Tal acontecerá se o macaréu em progressão se transformar em onda progressiva, isto é, se a onda rebentada se reformar.
- Zona E, do espraçado, de inclinação suave.
- Zona B, da berma, em geral assinalada com uma escarpa, devida à erosão do espraçado.

Neste perfil, a posição da linha de água apresenta-se bastante deslocada para terra. Em linguagem vulgar, diz-se que a praia "erodiu".

3 - EVOLUÇÃO COM ONDULAÇÃO VARIÁVEL

3.1 - Considerações gerais

A evolução produzida numa praia por ondas de período e altura variáveis, como as que habitualmente se observam em qualquer ponto da costa, é extremamente difícil de definir, atendendo à constante variação de características da ondulação, não só de onda para onda como até de grupo para grupo de ondas. O seu comportamento, sobretudo nas imediações da rebentação, difere flagrantemente do da ondulação monocromática normalmente empregada nos ensaios em modelo ou considerada, para efeitos de cálculo, em projectos de trabalhos marítimos. Essa diferença pode atribuir-se ao facto de a propagação e rebentação de cada onda ser muito influenciada pelas correntes e níveis originados pela passagem da onda precedente. Em muitos casos produz-se um cavalgamento de ondas na faixa de rebentação, observando-se, então, duas ondas perfeitamente distintas a rebentarem simultaneamente e qua-



20829

Fig. 62 - Rebentação simultânea de duas ondas sucessivas

se na mesma linha (fig.62).

Com as considerações a seguir desenvolvidas, não se pretende descrever todos os aspectos que pode apresentar o fenómeno, mas tão somente apresentar uma primeira contribuição para o estudo de tão complexa como pertinente questão.

Observando atentamente a ondulação que atinge as nossas praias, ou o que, até certo ponto, é equivalente - analisando os registos da ondulação fornecidos pelos ondógrafos, verifica-se que, apesar da constante variação de características, a ondulação revela uma certa periodicidade, mais ou menos bem definida. As ondas surgem em grupos, com alturas sucessivamente crescentes e decrescentes, repetindo-se depois a sequência numa cadência mais ou menos bem ritmada. Na verdade, os grupos de ondas diferem sempre uns dos outros, sendo impossível encontrar uma periodicidade perfeita.

Apesar disso, numa tentativa para abordar o problema, admitiremos, simplificada, que a periodicidade é de facto perfeita e que a sucessão de ondas se repete rítmicamente em grupos de, por exemplo, 9 ondas. Este esquema particular, que não invalida as considerações gerais apresentadas a seguir, equivale a admitir que a ondulação resulta de uma sobreposição de dois comboios de ondas uniformes, com os períodos respectivamente iguais, por exemplo, a 11 e 12 segundos.

Para analisar os efeitos produzidos por estas ondas convém considerar, separadamente, cada uma das seguintes zonas típicas: - zona dos fundos do largo, talude de rebentação e plataforma. Assim:

3.2 - Nos fundos do largo

Em primeira aproximação pode considerar-se que, ao largo, cada uma das ondas do grupo comporta-se como se fizesse parte de um comboio de ondas de período constante, definindo-se este período como sendo o tempo que medeia

entre a passagem da cava ou crista anterior e a cava ou crista seguinte. A velocidade do fluído no fundo poderá então ser computada pela aplicação das expressões deduzidas para o caso de ondulação constante.

Nestas condições, a onda de maior altura determinará a máxima profundidade a que se dará o início do movimento dos sedimentos. Por outro lado, a onda de menor altura ditará o nível da profundidade acima do qual todas as ondas produzirão movimento nos sedimentos. O perfil resultante de todas estas solicitações poderá ser determinado por uma sobreposição de efeitos.

Em segunda aproximação, será preciso ter em conta o transporte de massa global produzido pela passagem de cada grupo de ondas. Como se viu (pg. 27), esse transporte de massa corresponde a uma oscilação global do fluído para terra durante a fase de diminuição de altura das ondas e para o mar durante a fase de aumento das mesmas. Como essa oscilação do fluído favorece o transporte de sedimentos para o largo, conclui-se imediatamente que o perfil dos fundos tenderá a apresentar menores inclinações do que as devidas a ondas monocromáticas equivalentes, quanto à movimentação dos sedimentos, às ondas que compõem o grupo.

3.3 - Na plataforma de rebentação

Consideremos, por hipótese, que o perfil possui uma plataforma completamente desenvolvida e apresenta, portanto, barra e fossa na faixa de rebentação e banquetta junto à linha de água. Pode admitir-se ainda que a barra e a fossa correspondem à actividade da onda de maior altura de cada grupo, visto que, se assim não fosse, em pouco tempo as ondas mais possantes formariam a barra e a fossa que lhes fossem apropriadas.

Nestas condições, é óbvio que a onda de menor altura do grupo deverá passar sobre a barra sem rebentar. Como a plataforma de rebentação se de-

envolve sempre a pequenas profundidades e como a sua inclinação média é sempre muito pequena, essa onda encontrará condições propícias a uma deformação lenta e, por isso, poderá dissipar-se mediante uma rebentação progressiva antes de atingir o espraiado. Surgindo uma variação brusca no perfil da plataforma, como no caso da banquetta geralmente formada junto à linha de água, a propagação regular da onda altera-se e a rebentação passa imediatamente ao tipo mergulhante.

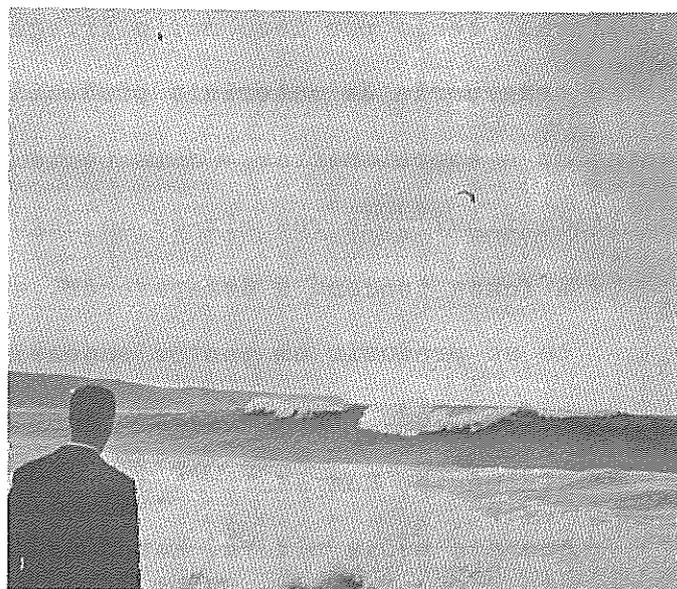
A onda seguinte, um pouco mais alta, tenderá também a rebentar progressivamente (fig. 63), mas o processo de dissipação de energia iniciará-se um pouco mais cedo. A sua propagação em direcção a terra prosseguirá de modo idêntico à da onda anterior.

A onda poderá então rebentar de mergulho a meio da plataforma de rebentação, com geração de um macaréu de pequena altura.

A rebentação mergulhante da terceira onda dar-se-á ainda um pouco mais cedo e o macaréu dela resultante iniciará a sua propagação para terra antes do anterior ter terminado.

Finalmente, com as ondas mais altas do grupo, a rebentação dar-se-á imediatamente de mergulho, no extremo da plataforma de rebentação.

Se o período das ondas for suficientemente grande e a plataforma estiver completamente desenvolvida, poderá mesmo observar-se, após a rebentação das ondas seguintes, uma sequência de três, quatro ou cinco macaréus em propagação simultânea para terra (fig. 64). O espraiamento final dependerá



17371

Fig. 63 - Rebentação progressiva



17360

Fig. 64 - Sequência de três macarés simultâneos

também da acumulação de água produzida pelas sucessivas rebentações sobre a plataforma, sendo por isso muito irregular.

O transporte de materiais produzido por esta sucessão irregular de rebentações e espraiaamentos, é conseqüentemente, também muito irregular, mas o resultado final pode resumir-se do seguinte modo:

- A fossa tenderá a desaparecer, em virtude de a rebentação mergulhante se produzir em pontos sucessivamente diferentes;
- O espraiado tenderá a encher na sua parte mais baixa, à custa, especialmente, dos sedimentos arrancados à banquetta pelas ondas de pequena e média altura. Este enchimento do espraiado explica o aparecimento da plataforma de baixa-mar, tão frequente nas nossas praias, sendo curioso notar que a regularidade do espraiado resulta da irregularidade dos sucessivos espraiaamentos.

3.4 - No talude de rebentação

De acordo com o esquema desenvolvido para o caso das ondas uniformes, as ondas de altura média deveriam produzir uma erosão de base a partir de uma profundidade sensivelmente equivalente à ocupada pela zona média do talude. Mas, realizando-se a erosão sobre um talude demasiado inclinado pa-

ra as características da onda a essa profundidade, origina-se imediatamente um arrastamento de materiais para o largo, formando-se, de modo acelerado, o que anteriormente se designou por depósito do largo. Por consequência, o talude de rebentação tenderá a apresentar menores inclinações.

Esta tendência acentua-se por efeito da oscilação global da massa líquida, já referida anteriormente.

4 - EVOLUÇÃO COM ONDAS VARIÁVEIS E MARES

Quando o nível do mar varia, mudam-se as condições de propagação e rebentação das ondas. E como o perfil da praia deve ajustar-se constantemente às características da ondulação, todos os acidentes do perfil deverão modificar-se, acompanhando de certo modo as sucessivas variações do nível das águas.

Se a subida ou descida do nível fosse suficientemente lenta, o perfil transversal deslocar-se-ia pura e simplesmente sem qualquer alteração de características, visto que a ondulação teria o tempo suficiente para operar as transformações adequadas a cada posição sucessiva do nível de água. Dado, porém, que a maré decorre num tempo limitado - cerca de 6h e 12 m, em média, para cada enchente ou vazante - o perfil da praia em baixa-mar irá diferir substancialmente do perfil em preia-mar.

Com efeito, suponhamos ainda que o perfil apresenta em baixa-mar uma plataforma de rebentação completamente desenvolvida, com fossa, barrae banqueta junto à linha de água.

Durante a primeira meia-hora da fase de enchente, a subida de nível é muito lenta - cerca de 7 cm, para uma maré de amplitude total de 4 metros, ou seja, uma variação média de nível de 2,3 mm em cada minuto. A ondulação poderá ter tempo suficiente para operar o deslocamento geral da plataforma

de rebentação, mas não o talude de rebentação, que será alterado mais intensamente nas cotas superiores. A plataforma de baixa-mar tenderá a encher um pouco mais.

Na segunda meia-hora a subida do nível será mais rápida, correspondendo-lhe a elevação de 20 cm à média de 7 mm/min. A plataforma de rebentação deixa de ser totalmente removida e a plataforma de baixa-mar é vencida por um espraiamento suave, produzido por macaréus, favorável à constituição de inclinações muito pequenas no espraiado e na banquetta adjacente.

Da segunda até à quarta hora, a subida de nível atinge a máxima rapidez, com uma elevação total de 200 cm (metade da amplitude da maré) à média quase constante de 16 mm/min. Compreende-se bem que a ondulação não tenha então possibilidade de remover com suficiente intensidade os sedimentos da plataforma de rebentação, tanto mais que o nível da água sobre a plataforma estará acrescido de 1 a 3 metros.

Essa elevação do nível da água será em geral suficiente para impedir que as ondas mais altas rebentem no extremo da plataforma. Consequentemente, toda a sequência de rebentação e espraiamento apresentado para o caso de nível constante será profundamente alterada: as ondas mais altas passarão sobre a plataforma em rebentação progressiva, enquanto que as "mais baixas rebentarão de mergulho directamente sobre o espraiado. O respectivo espraiamento é então favorável à formação de inclinações mais elevadas do espraiado. Imediatamente abaixo da linha de água dar-se-á o aparecimento de uma pequena plataforma de rebentação.

Na fase final da maré enchente, a elevação de nível apresentará um ritmo de subida cada vez menor, inversamente idêntico ao ritmo de subida durante a fase inicial. Estando o nível praticamente estacionário durante cerca de 1 hora (incluindo meia-hora da vazante seguinte), a ondulação poderá operar transformações mais profundas no perfil do espraiado. As ondas re-

bentarão em regra muito próximo da linha de água, sem formação de macaréis, e o espraído será por isso muito íngreme.

Na maré vazante que se segue, a evolução do perfil será idêntica, embora, evidentemente, de sentido inverso.

Do esquema acima apresentado podem extrair-se algumas conclusões da maior importância.

- A plataforma de rebentação desempenha um papel capital na evolução das características da rebentação durante o curso da maré, e, portanto, na variação de inclinações do espraído aos diversos níveis.

- O perfil transversal de uma praia, sobretudo o das zonas de cotas mais elevadas, varia profundamente com o nível da maré. Consequentemente, o perfil será diferente para marés de diferentes coeficientes de altura.

- O perfil transversal de uma praia depende não só da ondulação actuante e da maré, como ainda da configuração criada pela ondulação e maré anteriores.

5 - EVOLUÇÃO GERAL

O perfil transversal de uma praia, formada por materiais de determinada granulometria, varia de momento para momento ao sabor das flutuações da ondulação, da maré, dos ventos, etc.

Se as características de cada um destes agentes modeladores permanesse invariável durante um tempo suficientemente longo, acabaria por se formar um perfil bem determinado, denominado perfil de equilíbrio, para o qual já não haveria qualquer evolução, embora continuasse a haver oscilação do material móvel da praia.

O tempo necessário a esta estabilização final depende não só das caracte

terísticas da ondulação como da própria situação inicial. Quanto maior for o período e mais elevada for a altura da onda, maior será o volume de materiais em movimento e mais longo será o tempo necessário à estabilização. A transformação será muito rápida nos pontos de cotas mais elevadas, mas ao largo, com grandes profundidades, será muito lenta. A evolução completa exigirá, pois, um tempo quase infinito. Pode aceitar-se, porém para efeitos práticos, que a evolução estará terminada quando as transformações se tornarem muito pequenas, segundo um critério arbitrário previamente fixado⁽¹⁾.

Considerando, pois, que a utilização transversal será sempre atingida ao fim de um tempo limitado, resulta daí, como consequência inevitável, que a evolução de um perfil depende da situação original de que se partiu e das características que apresentar a sequência da ondulação actuante.

Com efeito, suponhamos, por exemplo, que, à actuação prolongada de uma ondulação de período elevado e grande altura de onda se segue uma ondulação de período curto e muito pequena altura. A segunda ondulação, não podendo movimentar os sedimentos que a primeira ondulação fez depositar a maiores profundidades, provocará uma evolução que interessará apenas os materiais jazendo nos pontos de cotas mais elevadas. Porém, se antes da segunda ondulação houvesse actuado uma outra de características intermédias, é evidente que mais sedimentos teriam sido removidos e, portanto, a configuração final teria sido outra.

Para catalogar as modalidades que poderão resultar para a configuração do perfil transversal será, pois, indispensável observar a evolução da praia quando submetida a ondulações de diversas características variando segundo diferentes programas.

(1) - Por exemplo, aceitando que é insignificante uma alteração de profundidades da ordem de 1 cm.

Em face de todas as considerações anteriores, vê-se que o perfil transversal de uma praia pode apresentar um ror infindo de variações, carecendo, por isso, de sentido dizer-se que determinada praia é caracterizada por tal ou qual perfil.

Não obstante, a observação corrente mostra que, quaisquer que sejam as transformações sofridas pelas praias, o perfil transversal evolui dentro de "certos limites" de maior ou menor erosão ou enchimento. É de esperar, portanto, que, para cada praia, haja certas sequências de ondulação, de marés, de ventos, etc., que conduzam o perfil a uma configuração extrema de "máxima erosão" e, também, que haja outras sequências que, inversamente, conduzam a uma configuração extrema de "máximo enchimento".

Sendo assim, a determinação desses perfis limite apresenta-se desde logo como um problema fundamental a resolver, por o seu conhecimento se tornar até indispensável quando estiverem em causa questões de enchimento e erosão - como no caso, por exemplo, da criação de praias artificiais. Por outro lado, com a definição desses perfis o estudo da evolução transversal simplificar-se-á imediatamente, visto que, a partir deles, se poderão deduzir, com maior aproximação, todas as configurações intermédias que haja necessidade de conhecer, nomeadamente para a resolução de problemas de transporte litoral.

A determinação destes perfis extremos apresenta contudo grandes dificuldades, como se verá pela análise seguinte.

Partindo de uma praia de configuração inicial qualquer - por exemplo, um talude de inclinação constante - determinemos primeiro o perfil transversal de equilíbrio correspondente à ondulação de maior período e maior altura que se prevê possa actuar a praia.

Como as ondas de maior período e declividade dão origem a plataformas de rebentação mais extensas, formadas à custa de materiais arrancados ao

espraiado, o perfil P_1 assim produzido constitui um "perfil de erosão" ou de inverno (fig. 65).

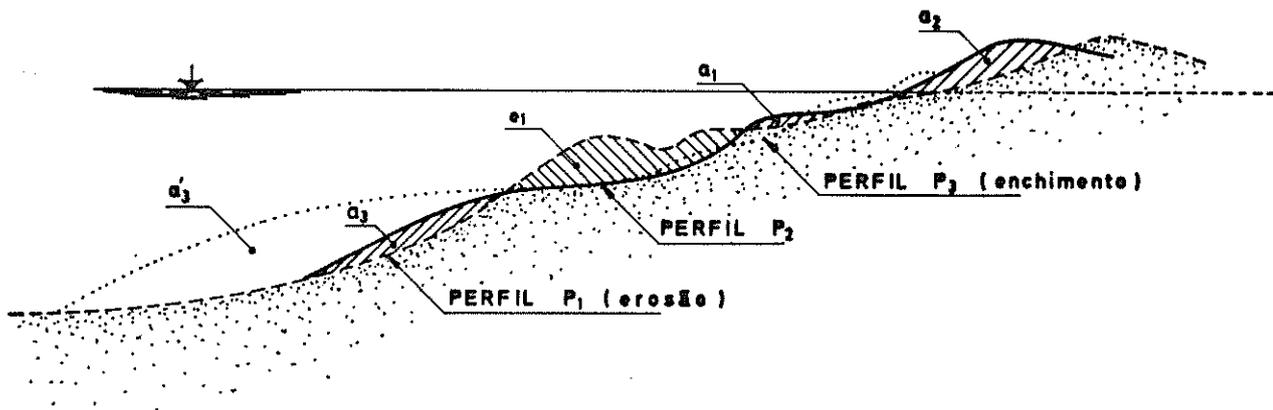


Fig. 65 - Perfis transversais de enchimento e de erosão

Suponhamos agora que, permanecendo constante o período de ondulação, se diminui a altura das ondas.

O perfil de erosão anterior modificar-se-á, dando origem a um novo perfil P_2 , caracterizado essencialmente por um enchimento mais pronunciado do espraiado produzido à custa da erosão de plataforma de rebentação anteriormente formada.

O jogo dos volumes erodidos e depositados está assinalado na fig. 65, salientando-se:

- A erosão e_1 no extremo de barlar da rebentação anterior.
- A acreção ou assoreamento a_1 , formando a nova plataforma de rebentação.
- A acreção a_2 no espraiado, com uma berma formada sensivelmente ao nível anterior, embora mais avançada para o mar.
- A acreção a_3 , formando um depósito ao largo, à custa de materiais

transportados no sentido do mar.

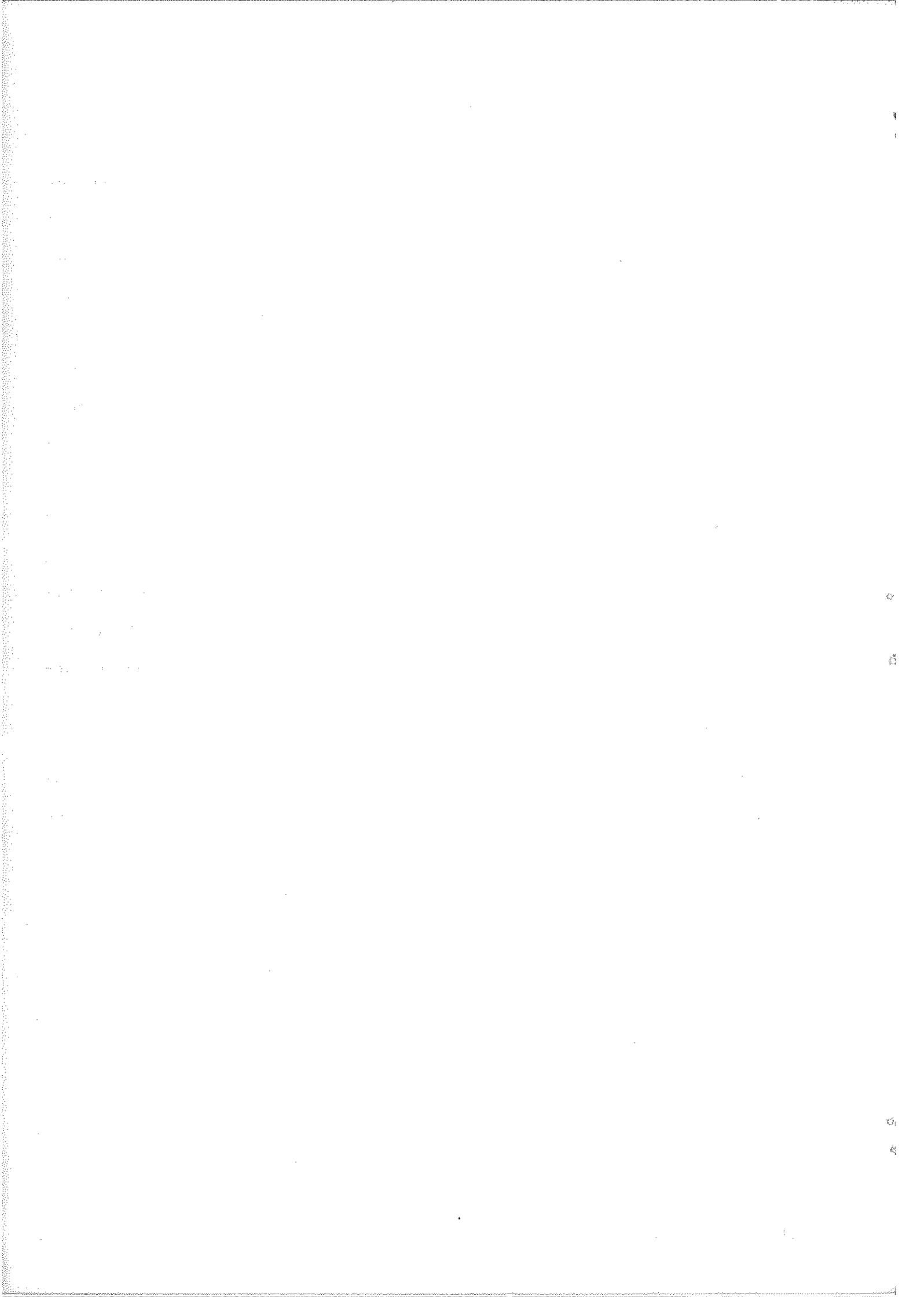
Todos estes movimentos de material são relativamente rápidos, completando-se em pouco tempo, à excepção da acreção a_3 do largo, que será tanto maior quanto maior a duração de actuação da ondulação. Se o tempo de actuação da onda fosse mais longo formar-se-ia o depósito suplementar a'_3 , à custa de materiais arrancados ao espraiado.

Suponhamos, finalmente, que diminui ainda mais a altura de onda. Obtém-se um novo perfil P_3 , formado por uma movimentação de materiais semelhantes à anterior mas com a berma fixada a uma cota mais baixa. Este perfil P_3 constitue em geral o "perfil de enchimento" ou de verão.

Esta breve análise demonstra que ondulações iguais podem dar origem a perfis transversais diferentes, visto que, na natureza, uma determinada ondulação nunca actua num tempo infinito e, consequentemente, a evolução fica sempre dependente da situação anteriormente criada. Convém notar, entretanto, que as inclinações do espraiado pouco dependem das situações anteriores, uma vez que os materiais reagem aí com grande rapidez ao modo de actuação de cada onda.

A determinação dos perfis de máxima erosão ou enchimento, exigirá um estudo mais acurado sobre os volumes movimentados e a intensidade dessa movimentação a diferentes profundidades.

De momento pode tirar-se a conclusão de que ondas de grande altura e grande período tendem a transportar materiais para o largo depositando-os rapidamente em profundidades donde já não sejam removidas - ou que só muito lentamente o sejam - por ondas de menor altura. Desse modo se explica que cada tempestade dê origem a uma erosão das praias que nem sempre chega a ser anulada pela ondulação do tempo bonançoso.



CAP. VIII - DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE UMA PRAIA

1 - GENERALIDADES

Os ensaios realizados em canal de vagas evidenciaram que a plataforma de rebentação formada na ante-praia, longe de constituir um acidente insignificante, é, pelo contrário, de uma importância fundamental.

Esta plataforma desenvolve-se à custa de materiais arrancados ao espriado, que, por isso, ficará menos cheio ou erodido. Quanto maior for a declividade da ondulação mais extensa e possante será a plataforma de rebentação.

Tudo leva a crer que é o volume de água acumulado entre a linha das primeiras rebentações (barra exterior) e o espriado que determina a extensão da plataforma. Os ensaios realizados em canal mostraram que, efectivamente, para uma mesma declividade da ondulação, quanto mais longo é o período mais extensa é a plataforma.

A questão está em saber se o mesmo se verifica na natureza, uma vez que se sabe que os efeitos de escala próprios dos modelos não permitem a reprodução totalmente exacta dos fenómenos da rebentação, turbulência e espriamento.

2 - EVOLUÇÃO DA PRAIA DA FIGUEIRA DA FOZ

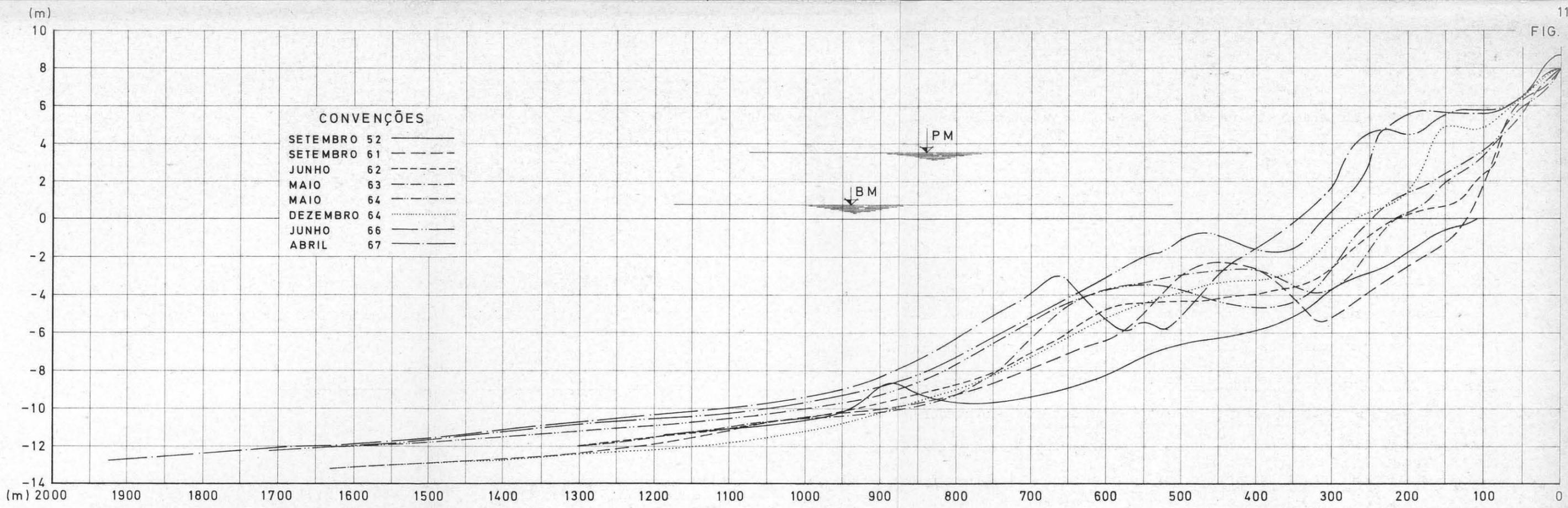
No intuito de esclarecer até que ponto se desenvolve a plataforma de rebentação na natureza, foram estudados numerosos levantamentos hidrográficos de praias da costa portuguesa. Contudo, os elementos colhidos revelaram-se insuficientemente pormenorizados para esse fim, excepto no que se refere à praia da Figueira da Foz.

Essa praia tem sido observada com muita atenção nos últimos 15 anos, desde que se empreendeu o estudo mais acelerado das obras a executar para regularização da foz do Mondego e melhoria das condições de navegabilidade nos acessos ao porto fluvio-marítimo. Em 1961 iniciou-se a construção de dois molhes na embocadura do rio Mondego, com a extensão de cerca de 900 m, tendo ficado concluídos em 1966.

A construção destes molhes deu origem a uma obra de retenção no extremo sul da praia da Figueira da Foz. Desse modo, havendo nesta zona da costa um intenso caudal sólido de norte para sul - oscilando anualmente entre 6 e 10 centenas de milhar de metros cúbicos - iniciou-se imediatamente um enchimento de toda a praia. Consequentemente, o perfil transversal modificou-se, deslocando-se no sentido do mar, como se pode verificar pelos perfis apresentados na fig. 66, referentes a 8 situações observadas de 1952 a 1966.

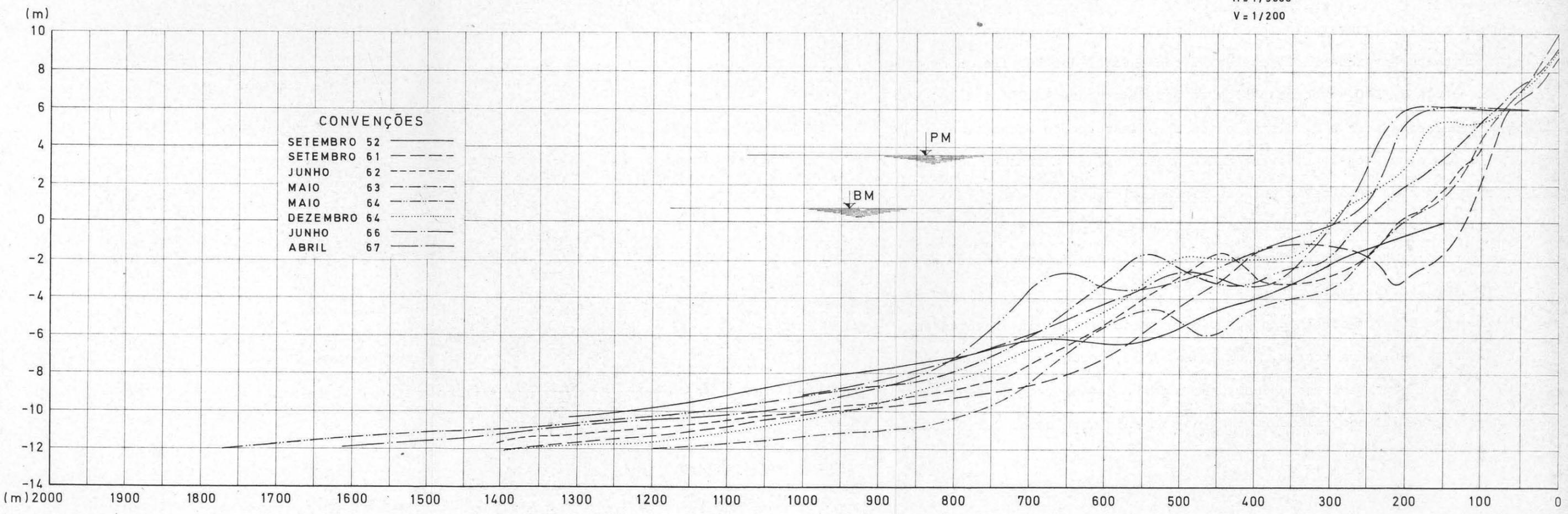
Esses perfis transversais foram obtidos a partir dos levantamentos efectuados pelos Serviços Marítimos da Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos, à escala 1/5000, e correspondem ao perfil transversal médio de duas secções transversais A e B, distantes da obra de retenção respectivamente 370 e 620 m, ou seja, suficientemente afastadas da embocadura do rio para não serem afectadas pelas correntes aí originadas.

Como os levantamentos denunciavam a presença de correntes transversais de concentração ("rip-currents") - evidenciada pela formação de canais transversais cortando a barra exterior da plataforma de rebentação - as secções A e B foram escolhidas de modo a que os perfis intersectassem as barras e os referidos canais. Além disso, e de acordo com o enunciado na pag. 44, os perfis correspondiam, não à linha de intersecção de um plano vertical, mas sim aos valores médios de uma faixa com cerca de 50 m de largura.



FIGUEIRA DA FOZ — (A)

ESCALAS
H = 1/5000
V = 1/200



FIGUEIRA DA FOZ — (B)

O enchimento a que a praia esteve submetida está bem evidenciada pela evolução seguida pelos perfis, traduzida fundamentalmente num deslocamento lateral de cerca de 190 a 210 m.

É interessante observar que esse deslocamento se processou praticamente por igual até profundidades da ordem de (-8) a (-10 m), e que até à profundidade (-12,0 m) o enchimento dos fundos foi também sensível. Este facto permite concluir desde já que o talude de rebentação está intimamente relacionado com o desenvolvimento e localização da plataforma de rebentação, acompanhando sempre a sua evolução com grande prontidão.

Um outro aspecto também significativo é a inclinação do talude de rebentação. Verifica-se, pela inspecção de todos os perfis, que o talude apresenta sempre inclinações relativamente elevadas - as mais elevadas de todas as zonas submersas - e que essas inclinações se mantêm praticamente invariáveis numa extensão bastante grande. Além disso, todos os perfis parecem apresentar taludes de rebentação com inclinações muito semelhantes.

Para evidenciar a semelhança de inclinações dos taludes decidiu-se deslocar lateralmente todos os perfis de modo a obter uma sobreposição tão perfeita quanto possível. Depois de algumas tentativas chegou-se à conclusão de que a melhor coincidência se obtinha ajustando os perfis da maneira a sobrepor os pontos de cota (-9,0 m), como se mostra na fig. 67. Excluiu-se para esse efeito, o primeiro perfil, referente a 1952, por apresentar características muito diferentes em virtude de o processo de enchimento da praia só ter começado em 1961.

Os resultados obtidos por esse deslocamento dos perfis permite extrair algumas conclusões de maior interesse em relação à praia da Figueira da Foz e, muito provavelmente, em relação a outras praias:

1º - O perfil dos fundos do largo tende a assumir uma configuração praticamente invariável.

- 2º - O talude de rebentação mantém a inclinação sensivelmente constante até profundidades da ordem de 2,5 vezes a profundidade da barra exterior de rebentação (em relação ao nível das águas em baixa-mar).
- 3º - A profundidade a que se forma a barra exterior é tanto maior quanto mais extensa é a plataforma de rebentação.
- 4º - O perfil dos fundos do largo para além do limite do talude de rebentação tende a assumir uma forma côncava que se verifica ser semelhante ao ramo de uma parábola de expoente fraccionário.

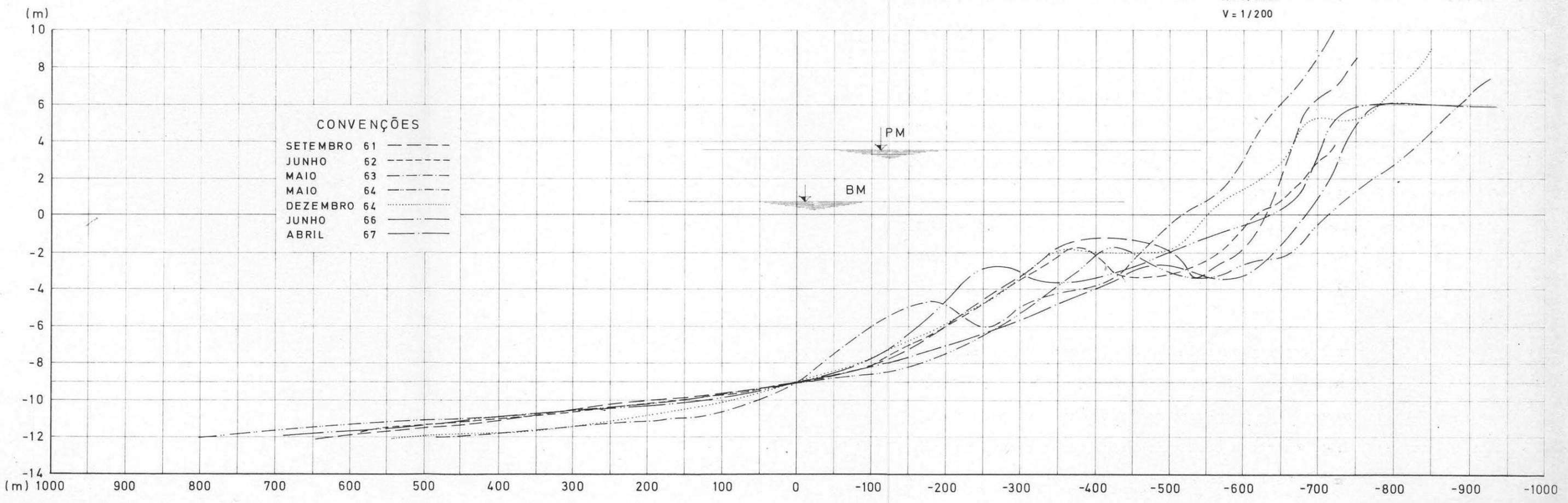
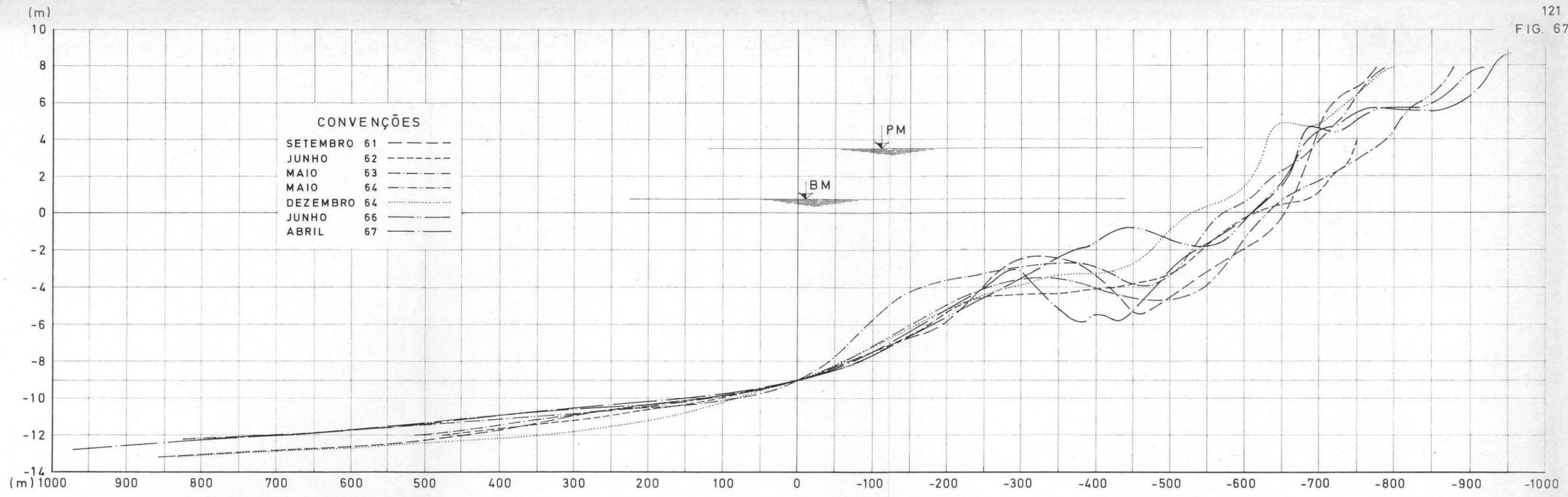
3 - PERFIS OBTIDOS EM CANAL DE VAGAS DE GRANDES DIMENSÕES

Os ensaios normalmente realizados em laboratório, têm, em regra, o inconveniente de obrigarem ao emprego de escalas muito pequenas, introduzindo por isso determinados efeitos de escala muitas vezes não conhecidos.

Saville [27], utilizando o grande canal de vagas da B.E.B. (Beach Erosion Board) - com 200 m de comprimento, 6 m de altura e 4,5 m de largura, podendo trabalhar com ondas até 2 m de altura - mostrou que os perfis resultantes do emprego de grandes escalas são em geral muito diferentes dos obtidos com pequenas escalas.

Na fig.68 apresentam-se 3 dessas configurações, obtidas com ondas de período 11,3 s e com alturas respectivamente iguais a 1,70, 1,30 e 0,55 m, a que correspondem declividades de onda ao largo iguais a 0,69, 0,53 e 0,23 %.

Estes perfis mostram que a plataforma de rebentação atinge o desenvolvimento correspondente à fase III mesmo com declividades tão baixas como 0,23 %. De certo modo este resultado concorda com o vulgarmente observado nas nossas praias, em que a declividade das ondas oscila em geral entre 0,5 e 1%, raramente passando dos 2% [15].



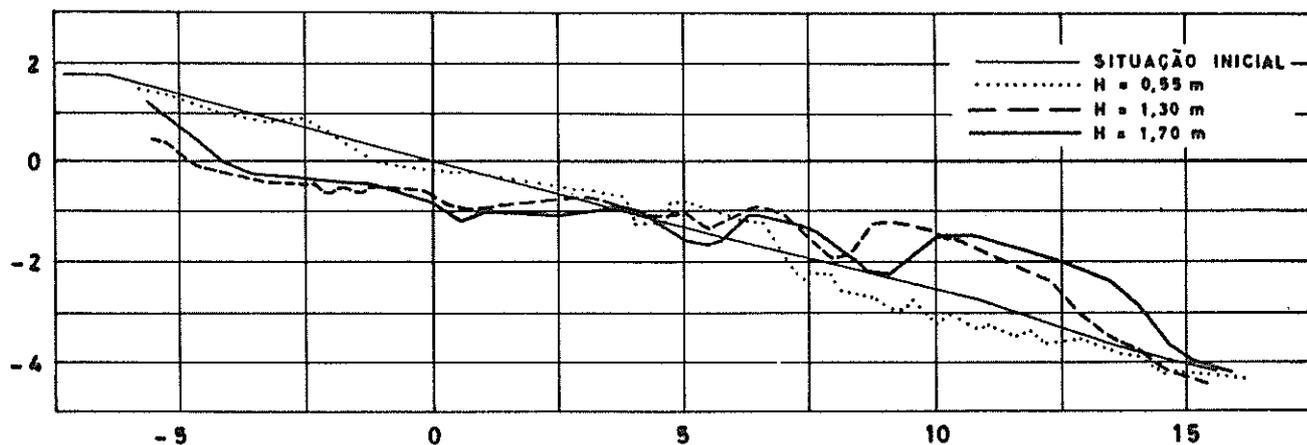


Fig. 68 - Perfis transversais obtidos em canal de vagas de grandes dimensões

Um outro resultado do maior interesse diz respeito à formação e extensão da plataforma de rebentação. Verifica-se que, de facto, a plataforma de rebentação é formada à custa de materiais arrancados ao espraiaido; que a erosão do espraiaido é tanto maior quanto maior a extensão da plataforma; e que a profundidade da barra exterior é sensivelmente igual à altura da onda ao largo.

Nos ensaios efectuados por Saville o talude de rebentação não atinge completo desenvolvimento, o que se deve atribuir à insuficiente profundidade do canal.

4 - DETERMINAÇÃO APROXIMADA DO PERFIL TRANSVERSAL DA PLATAFORMA

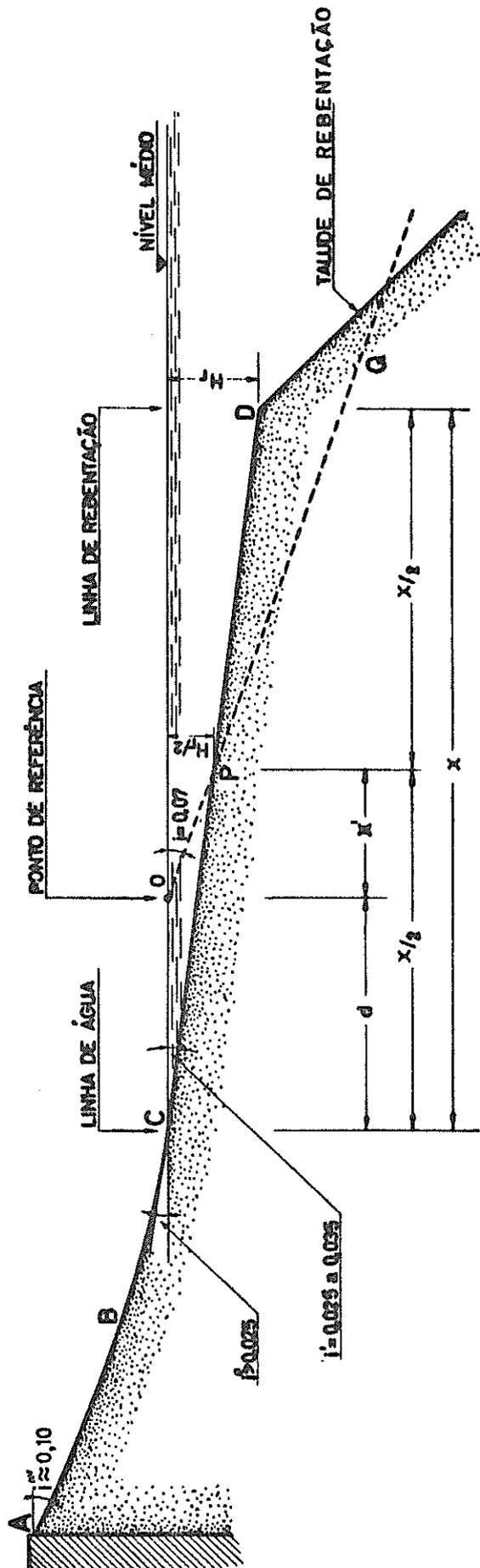
Relacionando os elementos apresentados por Saville com as conclusões colhidas noutras fontes e com os resultados obtidos no LNEC, pode-se avançar um procedimento gráfico capaz de descrever aproximadamente a extensão da plataforma de rebentação e a sua localização em relação a um ponto fixo O tomado como referência. Admite-se que este processo gráfico se poderá aplicar com êxito às praias de litoral aberto da costa portuguesa.

Assim, conforme se indica na fig. 69, para determinar a forma e localização da plataforma de rebentação, poderá proceder-se do seguinte modo:

- 1º - Toma-se um ponto O como referência. Este ponto deverá ficar mais ou menos afastado da muralha limite da praia consoante se pretender uma praia de maior ou menor largura.
- 2º - A partir do ponto O traça-se a linha OPQ com a inclinação i de cerca de 7% em relação à horizontal.
- 3º - A plataforma de rebentação CPD pode assimilar-se a uma rampa de inclinação i' (variável entre 2,5 e 3,5%) e será traçada de modo a que a interseccione a linha OP a uma profundidade igual a metade da altura das ondas na rebentação.

Esta plataforma terá, portanto, o seu início no ponto C, ou seja, na "linha de água", e terminará no ponto D situado a uma profundidade igual, aproximadamente, à altura das ondas na rebentação. Para lá do ponto D a inclinação do perfil será a do talude de rebentação, que, em primeira aproximação, se pode tomar igual a 4%.

Verifica-se, portanto, que basta conhecer o valor H_r da altura da onda na rebentação (desde que o período seja próximo de 11 segundos) para se ficar a conhecer logo as características principais da plataforma de rebentação.



DETERMINAÇÃO GRÁFICA APROXIMADA DA PLATAFORMA DE REBENTAMENTO

Quando variar a ondulação variará o perfil da praia, ajustando-se este a pouco e pouco à configuração própria de cada tipo de onda.

A extensão x da plataforma, contada a partir da linha de água, pode ser calculada pela expressão:

$$x = \frac{H_r}{i'}$$

A inclinação média i' da plataforma podem atribuir-se valores variando de 3,5% (para ondas de 0,50 metros) a 2,5% (para ondas de 2,0 metros).

A distância d , que mede a erosão verificada no espraiado, também pode ser calculada. Será dada pela expressão:

$$d = \frac{x}{2} - \frac{H_r/2}{i} = \frac{H_r}{2} \left(\frac{1}{i'} - \frac{1}{i} \right)$$

Os restantes elementos do perfil da praia resultarão como consequência da localização e extensão da plataforma. Assim, de acordo com o que anteriormente foi dito, a inclinação da praia desde a linha de água até à berma, variará gradualmente desde 2,5 ou 3% até cerca de 10%.

5 - DETERMINAÇÃO APROXIMADA DO PERFIL TRANSVERSAL DO LARGO

Como se viu, os fundos do largo podem dividir-se em três zonas de características sensivelmente diferentes:

- o depósito do largo, acumulado a grandes profundidades;
- a base de erosão, formada a profundidades médias;
- o talude de rebentação, constituído logo a seguir à plataforma de rebentação.

A configuração dos fundos do largo depende, como qualquer outra zona da praia, da actuação da ondulação.

Cada tipo de ondulação introduz, como é óbvio, modificações no perfil do largo. Contudo, verifica-se - de acordo com as conclusões atrás apresentadas - que só no talude de rebentação a evolução do perfil acompanha rapidamente a actuação da ondulação, enquanto que, a maiores profundidades, a evolução é muito lenta.

A expressão preconizada por Larras - descrita na pag. 55 - permite obter com boa aproximação o perfil da zona de erosão de base, que, de facto, se pode assimilar a uma parábola de expoente fraccionário com origem na linha de água.

Para a configuração do talude de rebentação poderá seguir-se o critério simplificado de traçar uma rampa de inclinação constante desde o extremo da plataforma de rebentação até à curva definida pelo método de Larras. A única dificuldade resulta de não se saber bem qual o declive a atribuir ao talude (que deverá oscilar entre 2 e 4%), o que só poderá ser esclarecido com estudos e observações mais detalhados.

Este procedimento conduz a uma aproximação suficiente para a determinação do volume de materiais em jogo nas zonas de maior movimentação, permitindo, por exemplo, calcular o volume de areias a lançar numa praia artificial.



CAP. IX - VARIAÇÕES DE GRANULOMETRIA NO MATERIAL

MÓVEL DOS MODELOS

1 - GENERALIDADES

A evolução de um modelo de fundo móvel é habitualmente descrita e interpretada tendo em conta unicamente as modificações introduzidas na sua configuração pelos agentes modeladores.

O conjunto dessas interpretações sobre a configuração das praias constitui, sem dúvida, a essência das informações que se procuram obter com a exploração de um modelo de fundo móvel.

Não obstante, verifica-se, como se mostrará a seguir, que o comportamento do material móvel pode também ser interpretado pelo estudo das características da composição granulométrica dos diferentes estratos, obtendo-se desse modo uma série de novas informações sobre a evolução do modelo e, conseqüentemente, sobre a evolução do protótipo. Esta nova interpretação baseia-se na variação dos parâmetros estatísticos da granulometria de diversas amostras de sedimentos colhidas no modelo segundo técnicas semelhantes às usadas na natureza.

No exemplo que a seguir se apresenta, o estudo das variações granulométricas é baseado no comportamento do material móvel de um modelo tridimensional - o modelo da Baía de Guanabara [28] - construído no LNEC para estudo da criação de uma praia artificial. Outros estudos realizados sobre amostras colhidas no canal de vagas conduziram a resultados igualmente esclarecedores, que não se incluem neste trabalho para não alargar a exposição.

2 - CARACTERÍSTICAS DO MODELO DE FUNDO MÓVEL

O modelo de fundo móvel da baía de Guanabara foi construído às escalas vertical de 1/100 e horizontal de 1/300, empregando-se como material móvel grãos de baquelite com o peso específico de $1,41 \text{ g.cm}^{-3}$ e o diâmetro mediano de 0,64 mm. A composição granulométrica do material, representada pela amostra A₀, adiante referida, afastava-se bastante da distribuição log-normal que, aproximadamente, caracteriza as areias das praias. Assim aconteceu porque, na verdade, não se conhecendo a influência que uma ou outra distribuição granulométrica poderia ter na evolução dos fundos, pouca atenção foi dispensada a esse aspecto.

O modelo foi submetido a numerosos ensaios que se prolongaram por mais de uma centena de horas, empregando-se ondas simples de períodos 0,8 a 1,4 s e uma altura de onda máxima de cerca de 2 cm na zona em estudo. O modelo funcionava com uma maré de 0,96 cm de amplitude, que originava um campo de correntes com velocidades máximas da ordem de 4 cm/s.

A observação visual do fundo móvel revelou que a movimentação dos materiais por ação da ondulação e das correntes estendia-se por vezes até às zonas de maior profundidade do modelo (10 cm), muito embora as variações batimétricas aí produzidas fossem reduzidas. Deve notar-se, em especial, que as aluviões eram, por vezes, transportadas para além do limite do fundo móvel, depositando-se então sobre o fundo fixo do modelo, situado à distância de 4 metros da orla da praia em estudo.

3 - LOCALIZAÇÃO E GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS

Para estudo das variações granulométricas dos sedimentos colheram-se 9 pequenas amostras de baquelite, com o peso aproximado de 50 g, ao longo de

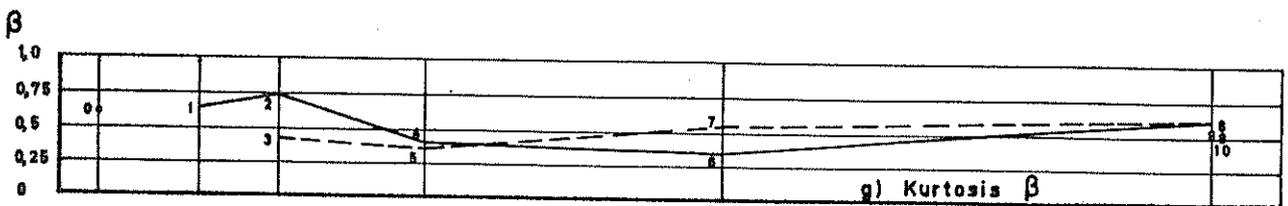
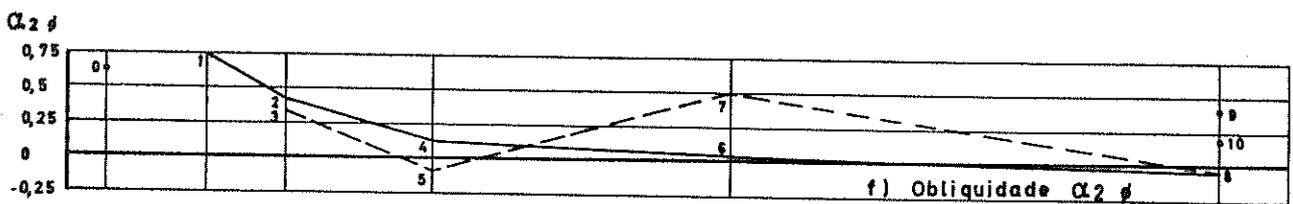
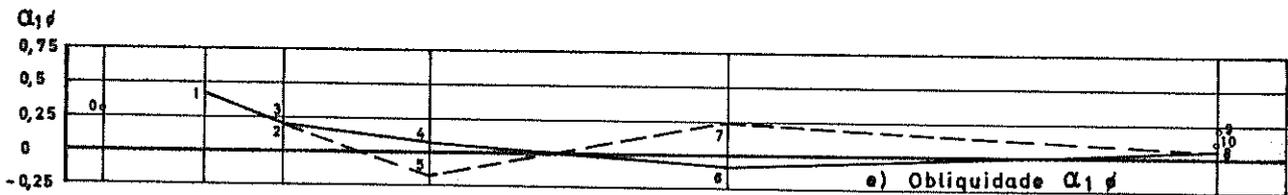
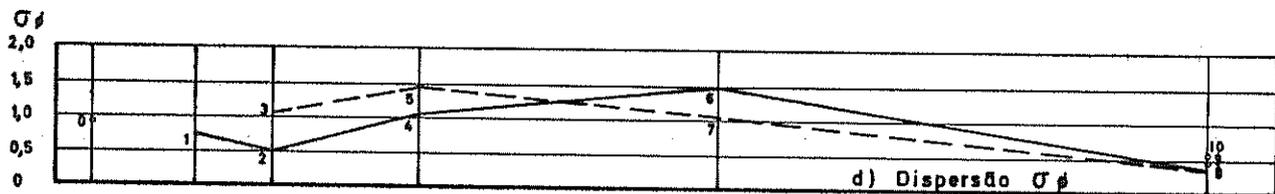
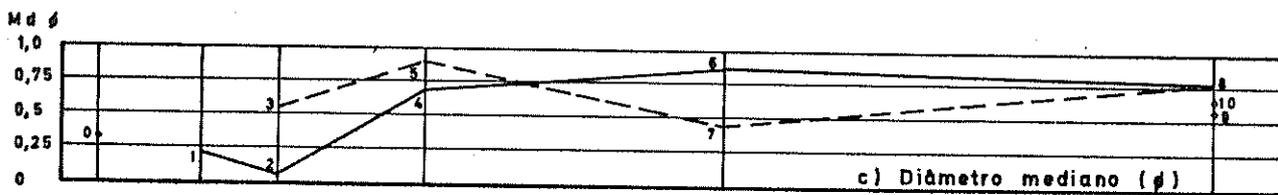
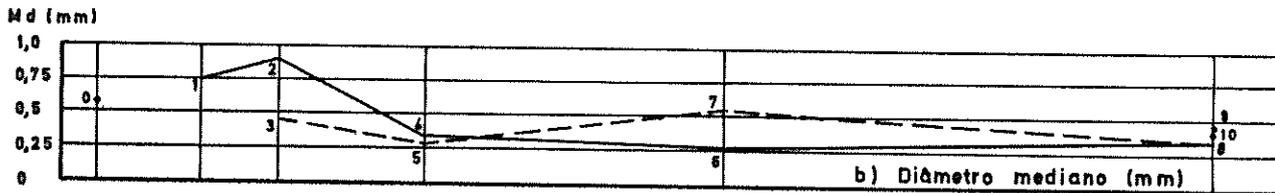
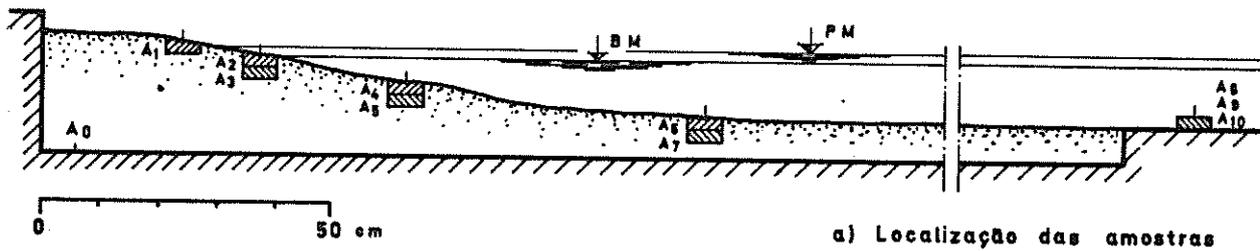
um determinado perfil transversal (perfil K) e nos pontos indicados no esquema a da fig. 70. Obtiveram-se, assim, as seguintes amostras típicas:

- Amostra A_0 - Obtida junto ao fundo, em local não afectado pela ondulação. Representa a composição média do material lançado por igual no modelo.
- " A_1 - Colhida na berma, camada superficial.
- " A_2 - Colhida na zona de rebentação, camada superficial.
- " A_3 - Idem, 3 a 4 cm abaixo da amostra A_2 .
- " A_4 - Colhida no talude de rebentação, camada superficial.
- " A_5 - Idem, 3 a 4 cm abaixo da amostra A_4 .
- " A_6 - Colhida nos fundos do largo, camada superficial.
- " A_7 - Idem, 3 a 4 cm abaixo da amostra A_6 .
- " A_8 - Colhida na zona mais ao largo, sobre o fundo fixo do modelo.

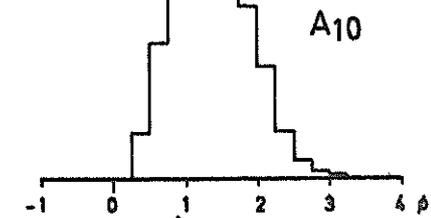
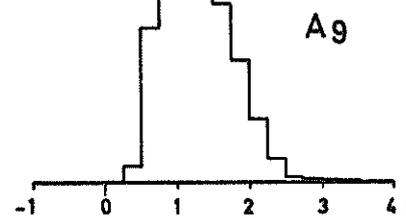
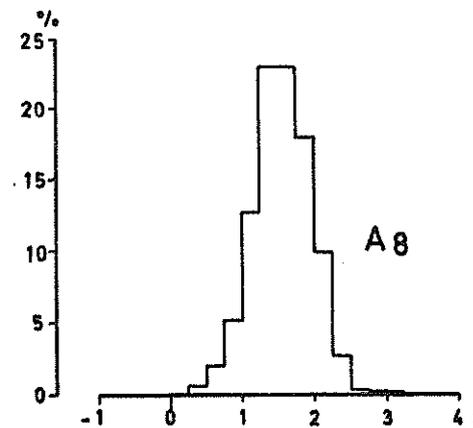
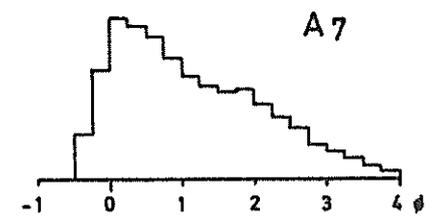
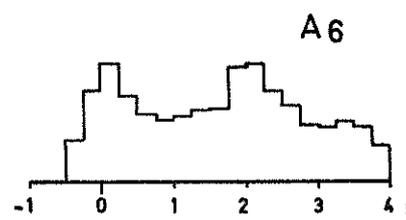
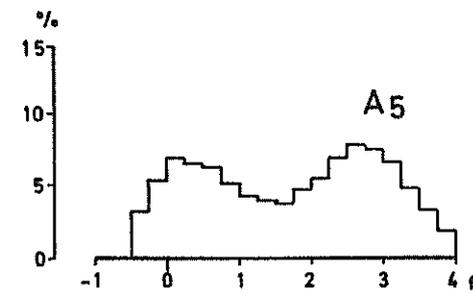
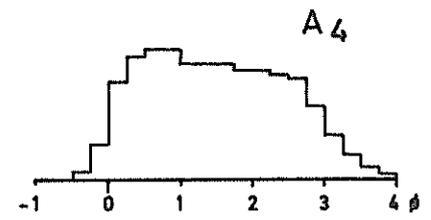
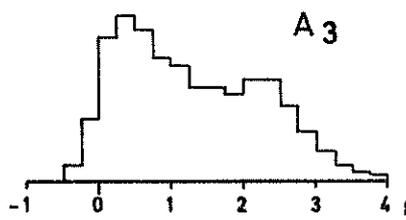
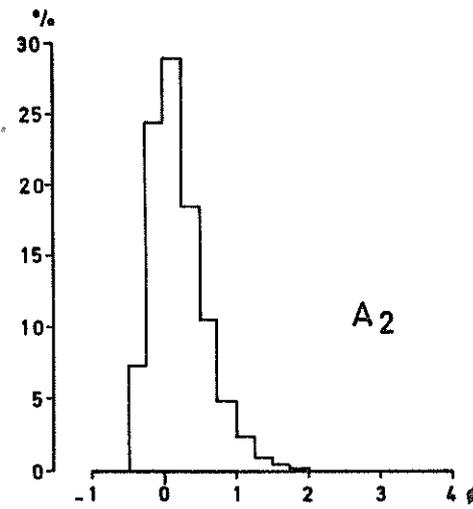
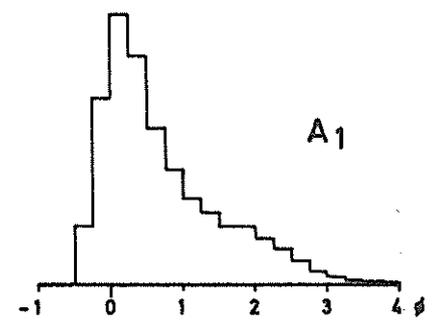
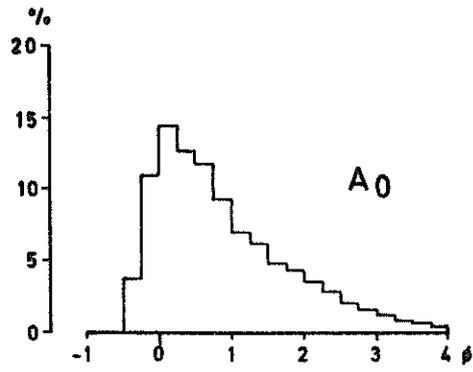
Atendendo ao interesse especial que despertou a formação de depósitos de material sobre o fundo fixo, julgou-se do maior interesse incluir neste estudo duas outras amostras, A_9 e A_{10} , colhidas também sobre esse fundo fixo mas em secções transversais distanciadas 2 a 4 metros, respectivamente, do perfil considerado (lado norte da praia).

Efectuada a análise granulométrica das amostras, traçaram-se as respectivas curvas granulométricas cumulativas em papel aritmético de probabilidade e determinaram-se os correspondentes parâmetros estatísticos na escala ϕ , segundo o método gráfico de Inman (figs. 7 a 9 do Anexo I). Na fig. 71 representa-se a evolução dessas características paramétricas ao longo do perfil, visualizada pelos esquemas b a g da fig. 70.

Além disso, para facilitar a interpretação dos resultados, desenharam-se ainda (fig. 71) os histogramas de frequência de cada amostra.



VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS NUM PERFIL
TRANSVERSAL DE MODELO REDUZIDO.



HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIAS GRANULOMÉTRICAS DAS
AMOSTRAS DO MODELO DE FUNDO MÓVEL.

4 - ESTUDO DAS VARIAÇÕES DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Numa primeira inspecção geral dos valores obtidos, verifica-se imediatamente que os ensaios efectuados introduziram uma profunda diferenciação na granulometria de cada zona, a tal ponto que a composição inicial do material móvel dificilmente se reconhece nalgumas amostras. Contudo, como se verá a seguir, o estudo detalhado de cada um dos parâmetros estatísticos permite dar um sentido muito claro a essas diferenciações.

Vejamos primeiro a natureza das variações operadas nas camadas superficiais.

Pela análise dos gráficos b e c da fig. 70 referentes à evolução dos diâmetros medianos, verifica-se que, este diâmetro apresenta uma evolução muito bem definida, com os grãos grossos concentrados na zona de rebentação e na berma e com as partículas finas progressivamente mais frequentes nos fundos do largo. É flagrante a semelhança do gráfico b com as curvas apresentadas por Bascom sobre a evolução dos diâmetros das areias nas praias naturais (fig. 21, pag. 47). Pode comprovar-se também a analogia com a evolução dos diâmetros na praia da Figueira da Foz (fig. 22, pag. 49).

O esquema d referente à dispersão dos sedimentos mostra que, na zona de rebentação, tem lugar uma marcada selecção de diâmetros. Esta triagem é também evidente na amostra A_8 e é confirmada pelas amostras A_9 e A_{10} , igualmente colhidas sobre o fundo fixo. Nas amostras intermédias a calibração vai-se degradando progressivamente de terra para o mar.

Os valores correspondentes ao esquema e mostram que, em todas as amostras, com excepção da da berma, a obliquidade da composição granulométrica é menor do que a da areia média espalhada no modelo, o que demonstra ter a ondulação efectuado uma redistribuição do material móvel de modo a aproximar a composição granulométrica dos sedimentos da de uma distribuição normal, semelhantemente ao que se observa na natureza. É notável, particular-

mente, o significado da composição das amostras A_2 e A_8 : - a primeira por pertencer à zona mais agitada, onde a actividade das águas provoca a movimentação de todos os materiais, fixando uns e expulsando os restantes; - a segunda por ser formada unicamente à custa de materiais segregados pela ondulação, pois, ao contrário de todas as outras amostras, é isenta de misturas com os sedimentos iniciais.

O esquema f, relativo ao 2º índice de obliquidade, revela em que sentido continua a preponderância de elementos muito finos e muito grossos denunciada pelos valores do 1º índice de obliquidade. Confirma-se, assim, que em todos os sedimentos, excepto os da berma, a composição granulométrica apresenta menor obliquidade do que a da amostra A_0 representativa do material móvel original. Em particular, deve notar-se o sinal positivo do 2º índice de obliquidade da amostra A_6 , contrário ao sinal do 1º índice, o que bem revela o carácter bimodal do sedimento.

Finalmente, os valores da kurtosis, referidos no esquema g, completam as informações anteriores. Tendo em conta que o valor 0,65 corresponde à kurtosis de uma distribuição normal, é de salientar, mais uma vez, a normalidade da amostra A_2 , e mais ainda a das amostras A_8 , A_9 e A_{10} . A amostra A_2 é do tipo lepticúrtico, esclarecendo o significado do baixo índice de dispersão; ao contrário, as amostras dos fundos são em regra do tipo mesocúrtico, dado o carácter ou tendência bimodal desses sedimentos.

Paralelamente a esta análise dos sedimentos superficiais, o estudo das amostras A_3 , A_5 e A_7 , relativas a estratos inferiores, permite averiguar até que ponto as camadas subjacentes são afectadas pela movimentação.

Assim, a amostra A_3 , subjacente à amostra A_2 , patenteia uma percentagem de grãos finos mais elevados do que a amostra média inicial e do que a própria amostra A_2 . O baixo valor da kurtosis traduz o seu carácter bimo-

dal, aliás bem evidenciado pelo respectivo histograma. A sua distribuição aproxima-se mais de uma distribuição normal do que a da amostra inicial, mas a dispersão é maior do que a da amostra A_2 .

Na amostra A_5 a presença de elementos finos é ainda mais acentuada, emprestando à granulometria características vincadamente bimodais.

Finalmente, a amostra A_7 apresenta-se muito pouco diferenciada da amostra média A_0 , ao contrário da amostra A_6 que lhe é sobrejacente.

5 - INTERPRETAÇÃO

As amostras das camadas intermédias sugerem uma interpretação simples da evolução dos fundos. Assim, a presença de elementos finos na amostra A_3 pode explicar-se como consequência de uma anterior erosão do local, durante a qual a rebentação se processou mais perto da terra e, conseqüentemente, proporcionou na região da amostra A_3 condições de tranquilidade suficientes para a deposição de elementos finos. De modo semelhante se explica a composição da amostra A_5 . Pelo contrário, a amostra A_7 , que permanece essencialmente idêntica à amostra média inicial, prova que a movimentação nessa zona se deu quase exclusivamente à superfície.

Verifica-se, em suma, que a movimentação dos materiais é bastante mais intensa nas posições batimétricas mais elevadas, o que está de acordo com a realidade. O transporte é em geral no sentido de terra, mas, a grandes profundidades, há encaminhamento para o largo. O material em movimento nas zonas do largo é constituído essencialmente pelas partículas de menores dimensões, enquanto que, na zona de maior agitação, predominam os grãos mais grossos.

A observação conjunta dos histogramas de todas as amostras permite ainda outra interpretação do maior interesse. De facto, comparando os his

togramas das amostras A_3 , A_4 , A_5 , A_6 e A_7 com o da amostra A_0 verifica-se que em todas essas amostras houve uma diminuição das percentagens dos diâmetros mais grossos e um aumento acentuado das frequências dos grãos finos. Aparentemente tudo se passa como se ao sedimento inicial se juntasse um sedimento mais fino numa proporção mais ou menos predominante..

Vejamos, por exemplo, o caso da amostra A_7 .

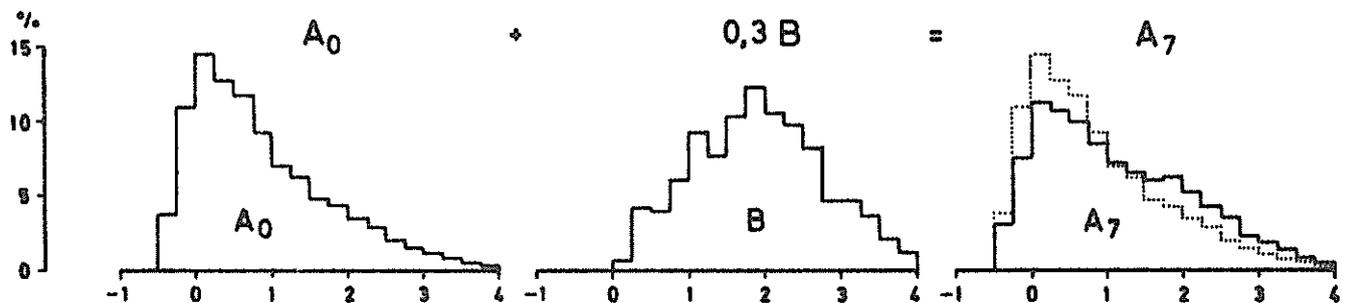


Fig. 72 - Decomposição da amostra A_7

O sedimento a que diz respeito pode ter resultado da mistura do sedimento inicial A_0 com um sedimento B na proporção de 10 para 3, respectivamente. Este sedimento B teria um diâmetro mediano de $1,85 \phi$, ou seja $0,28 \text{ mm}$, uma dispersão $\sigma = 0,85 \phi$, obliquidades $\alpha_1 = 0,000 \phi$ e $\alpha_2 = 0,000 \phi$, kurtosis $\beta = 0,65 \phi$. Quer dizer, o sedimento B, responsável pela modificação da granulometria local do material móvel, apresenta características que se aproximam notavelmente de uma distribuição normal, conforme se pode verificar também pelo histograma da fig. 72.

Resultado idêntico se poderia obter com o estudo das outras amostras.

6 - CONCLUSÕES

Como conclusões desta análise, podem extrair-se desde já algumas ilações de grande interesse para o estudo de escalas em modelos reduzidos e para a própria exploração destes modelos:

a) Os parâmetros estatísticos de estratos diferentes apresentam características suficientemente diferenciadas para permitir a interpretação da evolução do fundo móvel.

b) Qualquer que seja a distribuição granulométrica inicial do material móvel do modelo, a actuação da ondulação tende a redistribuir os materiais de modo a que, para cada zona, a composição granulométrica se aproxime de uma distribuição normal.

c) Não é necessário que a colocação do material móvel no modelo seja feita de modo diferenciado de ponto para ponto, pois que a ondulação acaba por impor a distribuição granulométrica mais adequada a cada zona⁽¹⁾. Contudo, é indispensável que o material móvel contenha partículas de diâmetros tão variados que permitam à ondulação efectuar a triagem mais conveniente.

Estas conclusões demonstram que o estudo dos parâmetros estatísticos das areias dos modelos de fundo móvel pode constituir um fecundo método de investigação relativamente ao estudo da movimentação dos materiais sob a

(1) - Desejando-se que a distribuição granulométrica do material móvel do modelo se aproxime, desde o início dos ensaios, da distribuição que normalmente se observa em qualquer praia, pode-se começar por submeter o modelo à actuação prévia de algumas das ondas de maior altura previstas para os ensaios.

acção das ondas e, conseqüentemente, em relação às leis de semelhança que convêm a esses modelos. Por outro lado, esses parâmetros permitem uma interpretação mais completa da evolução dos sedimentos, nomeadamente em relação ao sentido e à profundidade da movimentação.

CONCLUSÕES FINAIS

Os movimentos aluvionares numa praia revelam-se extremamente complexos, em virtude da variabilidade dos numerosos factores em jogo - ondulação, marés, correntes, ventos, material móvel, temperatura e salinidade da água, etc. - tornando-se difícil, se não impossível, prever exactamente toda a possível evolução da configuração das praias. Os estudos até agora apresentados baseiam-se, regra geral, em hipóteses mais ou menos simplificadas quanto às características desses factores, pelo que, como é óbvio, as soluções encontradas constituem uma primeira aproximação da realidade.

Dentro deste panorama geral, pretendeu-se com este trabalho esclarecer os aspectos mais característicos do perfil transversal das praias com o fim imediato de determinar a sua importância na resolução dos problemas de erosão costeira e, desse modo, permitir uma melhor orientação na execução dos trabalhos marítimos e no delineamento dos estudos subsequentes a efectuar.

A conclusão mais importante a que se chega é a que, efectivamente, a configuração global de uma praia e a movimentação longitudinal dos materiais depende de uma maneira primordial do perfil transversal formado, sendo por isso imprescindível que, entre os primeiros elementos a obter para o estudo de uma praia, figurem as principais características do perfil transversal - variação granulométrica dos materiais, inclinações, perfis de máxima erosão ou de máximo enchimento, etc.

As soluções apresentadas permitem resolver de uma maneira aproximada

o problema da determinação das principais características e da evolução dos perfis.

Nestas condições, resulta ser indispensável realizar novos e mais profundos estudos com o fim de precisar e completar os conhecimentos já obtidos.

Pode-se dividir em três sectores o domínio dos trabalhos a empreender: - ondulação, observação das praias e técnicas de estudos experimentais.

a) - Ondulação

Em relação à ondulação apresentam-se dois aspectos de primordial acuidade: - as características das ondas na rebentação e o mecanismo da movimentação nos fundos.

Quanto às características da rebentação das ondas o problema tem sido abordado com grande extensão por diversos autores, nomeadamente por Castanho [29], nos casos de ondas monocromáticas e praias de inclinação constante.

No seguimento natural desses trabalhos impõe-se, por isso, que sejam agora estudadas as características na rebentação das ondas policromáticas, que, como se viu, introduzem consideráveis modificações na evolução do perfil transversal das praias.

Quanto ao mecanismo da movimentação dos materiais nos fundos, importa verificar como se processam, efectivamente, os movimentos na natureza. O problema só poderá ser devidamente esclarecido mediante observações "in situ", utilizando técnicas muito aperfeiçoadas, como as empregadas por Inman [7].

b) - Observação das praias

Em relação às características das praias o panorama geral dos conhe-

cimentos não pode considerar-se ainda satisfatório, como se verifica pela aproximação dos resultados obtidos, e se conclui da descrição geral apresentada sobre o assunto por Bascom [30]. Por isso, tornando-se necessário completar e precisar as características gerais enunciadas no presente trabalho, parece indispensável proceder à realização de um largo programa de observações e medições ao longo de toda a costa portuguesa.

c) - Estudos experimentais

A realização de estudos em modelos reduzidos está dependente do problema fundamental, ainda não satisfatoriamente resolvidos, da determinação das escalas a utilizar, podendo dizer-se que cada experimentador utiliza um critério diferente, conforme é posto em relevo por Bijker [31].

Os resultados dos ensaios efectuados neste trabalho evidenciam a necessidade de se efectuar uma total revisão dos critérios presentemente adoptados na determinação dessas escalas, muito especialmente no que se refere às distorções introduzidas no perfil transversal quando se utilizam escalas reduzidas.

Para a resolução deste candente problema torna-se indispensável proceder à realização de novos estudos em canal de vagas, utilizando materiais de diferentes granulometrias e pesos específicos e, sobretudo, empregando ondas policromáticas.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Junho de 1968



NARCISO TEÓFILO PIRES ELIAS
Estagiário para especialista

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - KING, C.A.M. - Beaches and Coasts - London, 1959 - Edward Arnold, Lda.
- 2 - ROGERS, J.J.W. - Reproducibility and significance of measurements of sedimentary size distributions - Journal of Sedimentary Petrology - New York, Set. 1965, Vol. 35, pp. 722/32
- 3 - FRIEDMAN, G.M. - Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics - J. Sedimentary Petrology - New York, Dez. 1961, Vol. 31 pp. 514/29
- 4 - LABORATORIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - Vocabulário de Estradas e Aeródromos - Lisboa, 1962 - 4ª edição.
- 5 - WIEGEL, R.L. - Oceanographical Engineering - Prentice-Hall, Inc/Englewood Cliffs, N.J., 1964.
- 6 - KRUMBEIN, W.C. - Application des moments logarithmiques aux distributions de fréquence granulométrique des sédiments - Trad. nº 326 da E.D.F. do J. of Sedimentary Petrology, Vol. 6, nº 1, pp. 35-47.
- 7 - INMAN, D.L. - Parametres representant la distribution granulométrique des sédiments - Trad. nº 324 da Elect. France do J. Sedimentary Petrology, Vol. 22, nº 3, pp. 125-145.
- 8 - ZENKOVICH, V.P. - Processes of Coastal Development - Oliver and Boyd, Edinburgh and London, 1967.

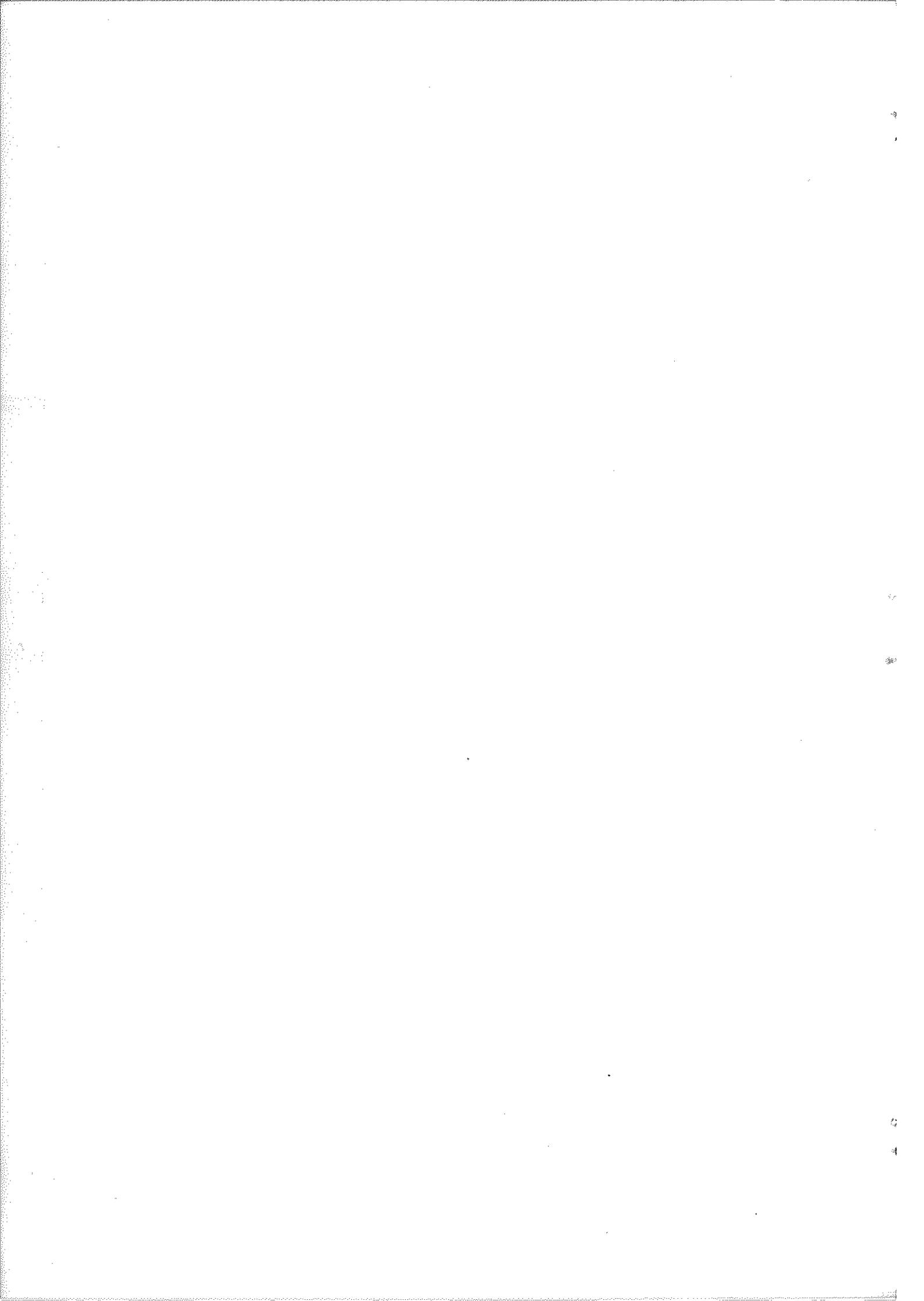
- 9 - GODDET, J. - Étude du début d'entraînement des matériaux mobiles sous l'action de la houle - La Houille Blanche - Grenoble, Mar/
/Abr, 1960, pp. 122/35
- 10 - KUENEN, Ph. H. - Marine Geology - John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950.
- 11 - LONGUET-HIGGINS, M.S. - Mass transport in water waves - London, Philos Trans. Roy. Soc. Sér. A., Math. and Phys. Sci. - n° 903, Vol. 245, p. 535-581, Mar. 1953.
- 12 - RUSSEL, R.C.H.; OSÓRIO, J.D.C. - An experimental investigation of drift profiles in a closed channel. Proc. 6th Conf. Coastal Engineering, 1958
- 13 - BAGNOLD, R.A. - Sand movement by waves: Some small scale experiments with sand of very low density - J. Inst. Civil Engrs. - London, Paper 5554: 447-469, 1947.
- 14 - BAGNOLD, R.A. - Mechanics of marine sedimentation. In: M.N.HILL, E. D. GOLDBERG, C. O'D. ISELIN and W. H. MUNK (Editors), The Sea Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas. Wiley, New York. N.Y., 3: 507-528, 1963
- 15 - CARVALHO, J.J.R. e BARCELÓ, J.P. - Agitação marítima na costa oeste de Portugal metropolitano, LNEC, Mem. 290, Lisboa, 1966.
- 16 - CORNAGLIA, P. - Du flot de fond dans les liquides en état d'ondulation - Ann. des Ponts et Chaussées, 1881.

- 17 - IPPEN, A.T. e EAGLESON, P.S. - A study of sediment sorting by waves shoaling on a plane beach - Massachusetts Institute of Technology - Techn. Rep. nº 18, Junho 1955.
- 18 - SCOTT, T. - Sand movement by waves - Beach Erosion Board. - Techn. Mem. nº 48, 1954.
- 19 - INMAN, D.L. - Wave - Generated ripples in nearshore sand - Beach Erosion Board - Tech. Mem. nº 100, Outubro, 1957.
- 20 - KRUMBEIN, W.C. - Statistical designs for sampling beach sand - Trans. Amer. Geoph. Union, Vol. 34, nº 6 pp. 57/67 - Dez. 1953.
- 21 - BASCOM, W.N. - The relationship between sand size and beach-face slope - Trans. Amer. Geoph. Union. Vol. 32, nº 6 - 866/74 Dez. 1951.
- 22 - OLIVEIRA, R. - Contribuição para o estudo do estuário do Tejo - Sedi-
mentologia - LNEC - Mem. 296, 1967.
- 23 - CHERRY, J. - Sand movement along a portion of the northern Califor-
nia Coast - Coastal Engineering Research Center - Techn.
Mem. 14 - Outubro, 1965.
- 24 - PER BRUUN - Coast erosion and the development of beach profiles -
Beach Eros. Bd. - Tech. Mem. 44 - Jan. 1954.
- 25 - LARRAS, J. - Les profiles d'équilibre des fonds de sable sous la mer
- Ann. Ponts Chaussées - Vol. 129 nº 4, pp. 391/404 - Jul/Ago.
1959.

- 26 - RECTOR, R.L. - Laboratory study of equilibrium profiles of beaches -
Beach Eros. Bd. Tech. Mem. 41 - Agosto, 1954.
- 27 - SAVILLE, JR, T. - Scale effects in two dimensional beach studies -
Comptes-rendus de la VII Assemblée Gen. AIRH, Lisboa, 1957.
- 28 - ELIAS, N.P. - Estudo em modelo reduzido de praias artificiais na baía
de Guanabara (Brasil) - Técnica, Separata nº 346, Lisboa
1965.
- 29 - CASTANHO, J.P. - Rebentação das ondas e transporte litoral - LNEC,
Mem. 275 - Lisboa, 1966.
- 30 - BASCOM, W. - Characteristics of natural beaches - Proc. 6th Conf.
Coastal Engineering - pp. 163/79 - Out., 1953.
- 31 - BIJKER, E.W. - Some considerations about scales for coastal models
with movable bed - Delft Hyd Lab. - pub. nº 50 - Nov.,
1967.

ANEXO I

ELEMENTOS DO ESTUDO GRANULOMÉTRICO

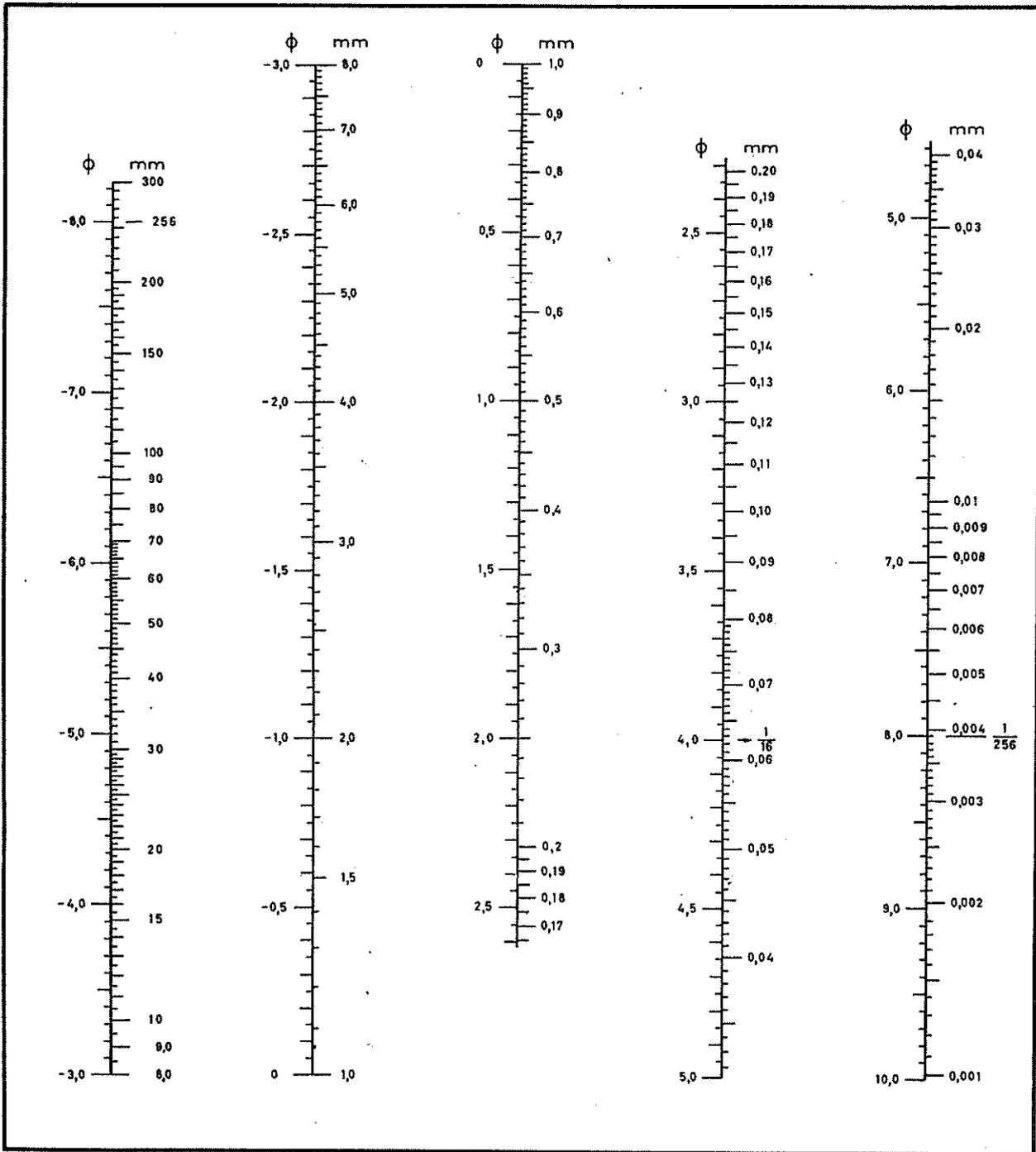


PENEIROS A.S.T.M.

(American Society for Testing and Materials)

Peneiro Nº.	Abertura (μ)	Unidades ϕ	Peneiro Nº.	Abertura (μ)	Unidades ϕ
400	37	4,75	35	500	1,00
325	44	4,50	30	595	0,75
270	53	4,25	25	707	0,50
230	63	4,00	20	841	0,25
200	74	3,75	18	1000	0,00
170	88	3,50	16	1190	-0,25
140	105	3,25	14	1410	-0,50
120	125	3,00	12	1680	-0,75
100	149	2,75	10	2000	-1,00
80	177	2,50	8	2380	-1,25
70	210	2,25	7	2830	-1,50
60	250	2,00	6	3360	-1,75
50	297	1,75	5	4000	-2,00
45	354	1,50	4	4760	-2,25
40	420	1,25	3 1/2"	5660	-2,50

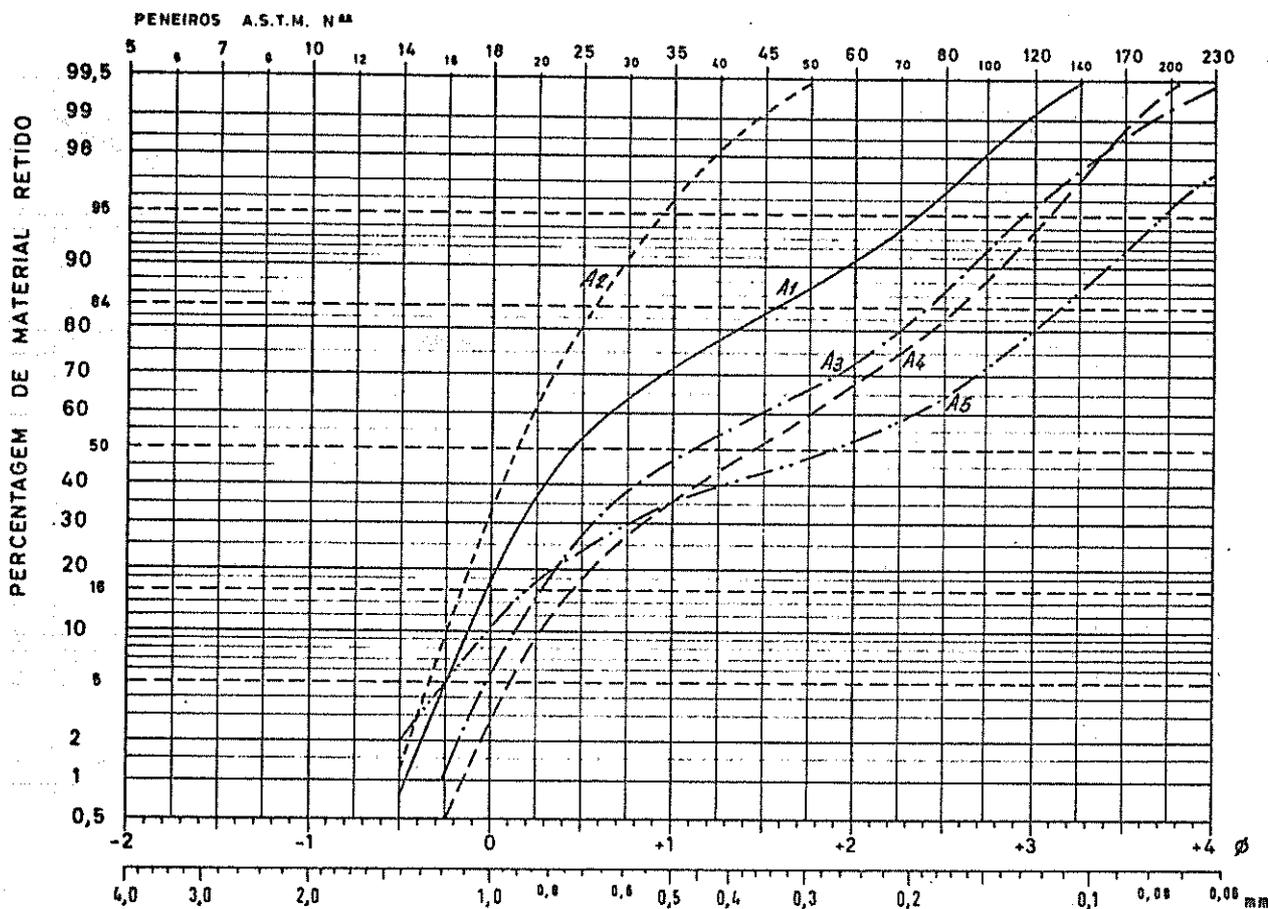
FIG. I-2



EQUIVALÊNCIA DOS VALORES DOS DIÂMETROS
NA ESCALA ϕ E EM MILIMETROS.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

AMOSTRAS Nº DA PRAIA Modelo da Baía de Guanabara (Baquelite)
COLHIDA EM 6/2/1964; às 10h30; cota -



FINO	GROSSA	MÉDIA	FINA
SEIXO		AREIA	

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

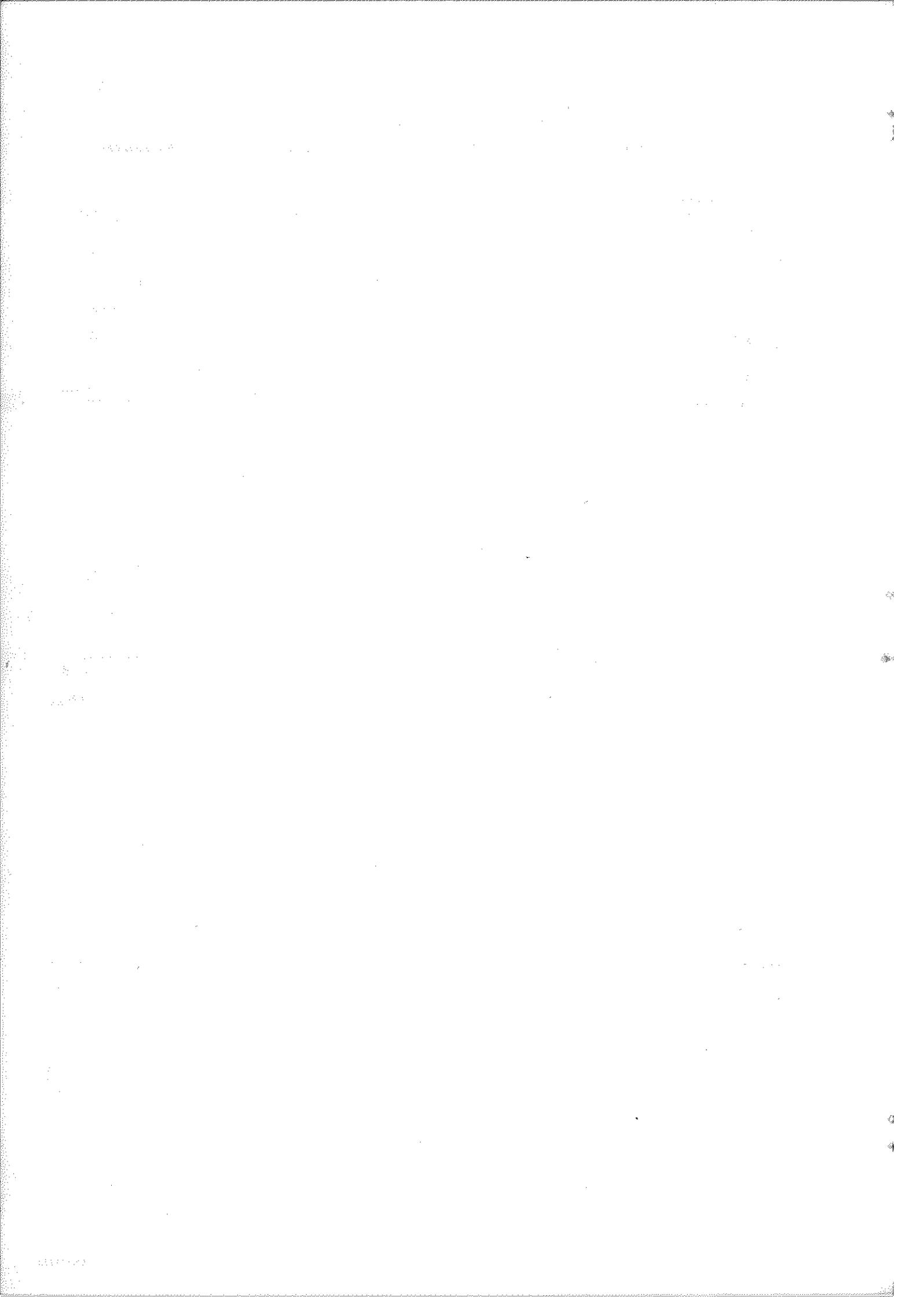
$\phi_{84} =$	Mediana	$Md_{\phi} =$ <input style="width: 50px;" type="text"/>	$\phi_{95} =$	
$\phi_{16} =$		= mm	$\phi_5 =$	
$\phi_{84} - \phi_{16} =$	(1/2) — Dispersão	$\sigma_{\phi} =$ <input style="width: 50px;" type="text"/>	$\phi_{95} - \phi_5 =$	(1/2) — $K =$
$\phi_{84} + \phi_{16} =$	(1/2) — Média	$M_{\phi} =$ <input style="width: 50px;" type="text"/>	$\frac{K}{\sigma_{\phi}} - 1 =$ <input style="width: 50px;" type="text"/>	Kurtosis $\beta =$ <input style="width: 50px;" type="text"/>
	$S = M_{\phi} - Md_{\phi}$	=	$\phi_{95} + \phi_5 =$	(1/2) — $M_2 =$
	$\frac{S}{\sigma_{\phi}} =$ Obliquidade ₁	$\alpha_{\phi} =$ <input style="width: 50px;" type="text"/>	$M_2 - Md_{\phi} =$	$S_2 =$
			$\frac{S_2}{\tau_{\phi}} =$	Obliquidade ₂ $\alpha_{2\phi} =$ <input style="width: 50px;" type="text"/>

Visto

Calculado por Alcides B.S.

[Handwritten Signature]

— 1/196 —



ANEXO II

CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO UTILIZADA NOS ENSAIOS



CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO

- ENSAIOS DA SÉRIE A -

ENSAIO	FASE	TEMPO				ONDULAÇÕES			K _r	δ _o
		PARCIAL		TOTAL		MÁXIMA H _M	MÍNIMA H _m	MÉDIA H		
		h	min	h	min	(cm)	(cm)	(cm)		
A ₁	1	-	15	-	-	1,00	0,66	0,83	0,204	0,4
	2	-	30	-	-	0,66	0,41	0,53	0,233	0,09
	3	1	30	-	-	1,00	0,41	0,70	0,418	0,11
	4	-	15	2	30	0,83	0,33	0,58	0,431	0,09
A ₂	1	-	15	-	-	2,30	1,00	1,65	0,393	0,27
	2	-	30	-	-	1,83	0,66	1,24	0,469	0,20
	3	1	30	-	-	2,16	0,75	1,45	0,484	0,24
	4	2	15	4	30	2,58	0,83	1,70	0,557	0,28
A ₃	1	-	15	-	-	3,25	0,83	2,04	0,593	0,33
	2	-	30	-	-	3,16	1,06	2,11	0,497	0,34
	3	1	30	2	15	2,25	1,00	1,62	0,384	0,26
A ₄	1	-	15	-	-	3,83	1,41	2,62	0,461	0,43
	2	-	30	-	-	3,41	1,50	2,45	0,389	0,40
	3	1	30	-	-	2,50	1,00	1,75	0,428	0,28
	4	1	30	-	-	2,99	1,26	2,12	0,405	0,34
A ₅	1	-	15	-	-	4,73	1,80	3,26	0,448	0,53
	2	-	30	-	-	3,45	1,60	2,52	0,366	0,41
	3	1	30	-	-	4,90	2,10	3,50	0,400	0,57
	4	1	30	3	45	4,30	1,90	3,10	0,387	0,50
A ₆	1	-	15	-	-	5,53	2,50	4,01	0,377	0,63
	2	-	30	-	-	6,00	2,23	4,11	0,458	0,67
	3	1	30	-	-	5,36	2,50	3,93	0,363	0,64
	4	1	30	3	45	5,30	2,45	3,87	0,367	0,63

CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO

- ENSAIOS DA SÉRIE A -
(Continuação)

(continuação)

ENSAIO	FASE	TEMPO		ONDULAÇÕES			K _r	δ _o
		PARCIAL	TOTAL	MÁXIMA H _M (cm)	MÍNIMA H _m (cm)	MÉDIA H (cm)		
		h min	h min					
A ₇	1	- 15	- -	5,60	2,30	3,95	0,417	0,64
	2	- 30	- -	5,60	2,40	4,00	0,400	0,65
	3	1 30	- -	5,56	2,30	3,93	0,414	0,64
	4	2 00	- -	5,66	2,54	4,10	0,350	0,67
	5	1 00	5 15	4,70	2,30	3,50	0,342	0,57
A ₈	1	- 15	- -	-	-	-	-	-
	2	- 30	- -	5,90	2,41	4,15	0,419	0,68
	3	1 30	- -	6,00	2,41	4,20	0,426	0,67
	4	2 45	5 00	5,93	2,66	4,29	0,380	0,70
A ₉	1	- 15	- -	6,40	2,80	4,60	0,391	0,75
	2	- 30	- -	6,40	2,66	4,53	0,412	0,74
	3	1 30	2 15	6,50	2,70	4,60	0,413	0,75
A ₁₀	1	- 15	- -	6,30	3,00	4,65	0,354	0,76
	2	- 30	- -	6,46	2,83	4,64	0,390	0,76
	3	3 -	3 45	6,30	3,06	4,68	0,346	0,76
A ₁₁	1	- 15	- -	6,00	3,16	4,58	0,310	0,74
	2	1 30	1 45	5,90	3,16	4,53	0,302	0,74
A ₁₂	1	- 15	- -	6,26	3,30	4,78	0,309	0,78
	2	- 30	- -	6,06	3,50	4,78	0,267	0,78
	3	1 30	2 15	6,06	3,50	4,78	0,267	0,78
A ₁₃	1	- 15	- -	6,50	3,60	5,05	0,287	0,82
	2	3 20	3 35	6,60	3,60	5,10	0,294	0,83
A ₁₄	1	- 15	- -	6,50	3,83	5,16	0,258	0,84
	2	4 -	4 15	7,00	4,00	5,50	0,272	0,90
A ₁₅	1	- 15	- -	6,60	4,00	5,30	0,245	0,86
	2	4 30	4 45	6,83	3,83	5,33	0,281	0,87

CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO

- ENSAIOS DA SERIE A -

(Continuação)

ENSAIO	FASE	TEMPO		ONDULAÇÕES			K_r	δ_o	
		PARCIAL		TOTAL	MÁXIMA	MÍNIMA			MÉDIA
		h	min	h min	H_M (cm)	H_M (cm)			H (cm)
A ₁₆	1	-	15	- -	6,56	4,00	5,28	0,242	0,86
	2	-	15	- -	6,83	4,00	5,41	0,261	0,88
	3	1	-	1 30	6,33	4,00	5,16	0,225	0,84
A ₁₇	1	-	15	- -	6,73	4,50	5,61	0,198	0,92
	2	-	15	- -	6,86	4,30	5,58	0,229	0,89
	3	1	30	2 --	7,06	4,00	5,53	0,276	0,90
A ₁₈	1	-	15	- -	7,06	4,30	5,68	0,242	0,91
	2	-	15	- -	7,39	4,00	5,69	0,297	0,91
	3	1	-	1 30	7,43	4,30	5,86	0,266	0,94
A ₁₉	1	-	15	- -	8,20	4,10	6,15	0,333	0,98
	2	1	-	- -	7,60	4,50	6,05	0,256	0,99
	3	2	-	- -	7,70	4,40	6,05	0,272	0,98
	4	4	-	- -	7,60	4,50	6,05	0,256	0,98
	5	4	-	- -	8,36	4,40	6,38	0,310	1,02
	6	4	-	15 15	8,08	4,50	6,28	0,284	1,00
A ₂₀	1	-	15	- -	8,80	5,50	7,15	0,230	1,14
	2	1	-	- -	11,70	8,20	9,95	0,175	1,58
	3	4	-	- -	9,30	5,20	7,25	0,282	1,16
	4	4	-	- -	9,40	5,00	7,20	0,305	1,15
	5	8	-	17 15	8,55	5,50	7,02	0,217	1,12

CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO

- ENSAIOS DA SÉRIE A -

(Continuação)

ENSAIO	FASE	TEMPO		ONDULAÇÕES			K_r	δ_o	
		PARCIAL		TOTAL	MÁXIMA	MÍNIMA			MÉDIA
		h	min	h min	H_M (cm)	H_m (cm)			H (cm)
A ₂₁	1	-	15	- -	9,25	5,50	7,37	0,254	1,18
	2	-	15	- -	11,50	6,20	8,85	0,299	1,42
	3	-	30	- -	9,75				
	4	2	-	- -	10,25	8,37	9,31	0,100	1,49
	5	4	-	7 -	10,18	8,45	9,31	0,928	1,49
A ₂₂	1	-	30	- -	11,08	10,00	10,54	0,512	1,71
	2	2	-	- -	10,87	9,20	10,03	0,832	1,67
	3	-	30	- -	15,30	11,00	13,15	0,163	2,14
	4	2	-	5 -	11,87	9,50	10,68	0,110	1,74
A ₂₃	1	-	30	- -	13,30	7,50	10,40	0,278	1,69
	2	-	30	- -	12,00	10,50	11,25	0,666	1,83
	3	2	30	3 30	13,00	12,00	12,50	0,400	2,04
TOTAL				106,20					

CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO

- ENSAIOS DA SERIE B -

ENSAIO	FASE	TEMPO		ONDULAÇÃO			K_r	δ_o %	
		PARCIAL		TOTAL	MÁXIMA	MÍNIMA			MÉDIA
		h	min	min.	H_m (cm)	H_m (cm)			H (cm)
B ₁	1	--		15	1,60	1,00	1,30	0,23	0,88
B ₂	1	--		45	2,40	1,85	2,13	0,135	1,45
B ₃	1	--		40	3,15	2,40	2,78	0,135	1,89
B ₄	1	--		40	3,22	2,34	2,78	0,158	1,89
B ₅	1	--		20	2,87	2,25	2,56	0,121	1,74
B ₆	1	--		50	3,80	2,50	3,25	0,206	2,21
B ₇	1	--		100	4,33	3,27	3,80	0,139	2,59
B ₈	1	--		20	4,15	3,30	3,73	0,114	2,51
B ₉	1	--		5	4,46	3,46	3,96	0,126	2,69
B ₁₀	1	--		50	5,52	4,00	4,76	0,160	3,23
B ₁₁	1	--		--	2,10	1,80	1,95	0,077	1,32
B ₁₂	1	--		15	4,00	2,60	3,30	0,212	2,24

CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO

- ENSAIOS DA SÉRIE C -

ENSAIO	FASE	TEMPO		ONDULAÇÃO			K_r	δ_o %
		PARCIAL	TOTAL	MÁXIMA H_M (cm)	MÍNIMA H_m (cm)	MÉDIA H (cm)		
		min	min					
C ₁	1	-	15	1,69	0,85	1,27	0,33	0,59
C ₂	1	-	30	3,08	1,50	2,29	0,345	1,07
C ₃	1	-	15	3,54	1,82	2,68	0,32	1,25
C ₄	1	-	30	3,12	2,46	2,79	0,118	1,29
C ₅	1	-	15	3,84	2,76	3,36	0,163	1,56
C ₆	1	-	15	3,76	2,81	3,29	0,144	1,53
C ₇	1	-	20	4,76	3,38	4,07	0,169	1,89
C ₈	1	-	35	5,54	3,74	4,64	0,193	2,16
C ₉	1	15	-	5,53	3,77	4,65	0,189	2,16
	2	30	45	5,53	3,77	4,65	0,189	2,16
C ₁₀	1	-	10	6,42	4,77	5,60	0,147	2,82
C ₁₁	1	-	15	6,46	4,58	5,52	0,170	2,57
C ₁₂	1	6	-	6,54	5,15	5,85	0,119	2,72
	2	20	26	6,54	5,15	5,85	0,119	2,72
C ₁₃	1	-	10	6,69	5,41	6,05	0,105	2,82

CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO

- ENSAIOS DA SÉRIE D -

ENSAIO	FASE	TEMPO		ONDULAÇÃO			K_r	δ_o %
		PARCIAL	TOTAL	MÁXIMA H_M	MÍNIMA H_m	MÉDIA H		
		min	min	(cm)	(cm)	(cm)		
D ₁	1	15	-	2,00	1,00	1,50	0,33	0,53
	2	15	30	2,08	1,15	1,62	0,59	0,57
D ₂	1	-	15	2,54	1,54	2,04	0,24	0,72
D ₃	1	-	10	2,90	2,20	2,55	0,137	0,89
D ₄	1	-	10	3,54	2,60	3,07	0,153	1,08
D ₅	1	-	20	4,15	3,00	3,58	0,160	1,26
D ₆	1			5,75	3,94	4,85	0,187	1,70
	2	30	30	5,75	3,94	4,85	0,187	1,70
D ₇	1	-	10	6,29	4,25	5,27	0,194	1,85
D ₈	1	-	15	6,98	4,68	5,83	0,197	2,05
D ₉	1	10	-	7,78	5,56	6,67	0,165	2,34
	2	5	-	7,13	5,23	6,18	0,153	2,17
	3	30	45	7,13	5,23	6,18	0,153	2,17
D ₁₀	1	10	10	7,96	5,56	6,76	0,177	2,38

CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO

- ENSAIOS DA SERIE E -

ENSAIO	FASE	TEMPO		ONDULAÇÃO			K_r	δ_o %
		PARCIAL	TOTAL	MÁXIMA H_M (cm)	MINIMA H_m (cm)	MÉDIA H (cm)		
		min	min					
E ₁	1	5	5	1,76	0,94	1,35	0,30	0,38
E ₂	1	5	-	3,00	1,19	2,09	0,432	0,58
	2	20	-	3,54	1,61	2,57	0,375	0,71
	3	20	45	2,71	1,35	2,03	0,334	0,56
E ₃	1	20	20	3,65	1,98	2,81	0,297	0,78
E ₄	1	20	20	3,65	1,56	2,61	0,401	0,74
E ₅	1	15	15	4,58	3,23	3,91	0,173	1,10
E ₆	1	15	15	4,58	3,54	4,06	0,128	1,13
E ₇	1	10	10	4,80	4,06	4,43	0,083	1,23
E ₈	1	12	12	6,04	4,38	5,21	0,159	1,45
E ₉	1	10	10	6,98	5,10	6,04	0,155	1,68
E ₁₀	1	15	15	7,08	4,90	5,99	0,182	1,66
E ₁₁	1	25	25	7,81	6,15	6,98	0,119	1,94
E ₁₂	1	12	-	7,91	6,56	7,24	0,093	2,00
	2	20	-	7,91	6,56	7,24	0,093	2,00
	3	70	-	8,54	7,08	7,81	0,093	2,16
	4	95	3h17	8,54	7,08	7,81	0,093	2,16
E ₁₃	1	5	-	10,00	7,46	8,73	0,145	2,42
	2	20	-	10,00	7,46	8,73	0,145	2,69
	3	30	-	10,00	7,46	8,73	0,145	2,69
	4	40	-	9,47	7,16	8,32	0,139	2,69
	5	20	-	11,46	7,92	9,69	0,183	2,69
	6	35	2h30	11,46	7,92	9,69	0,183	2,31
E ₁₄	1	5	5	9,79	7,71	8,75	0,119	2,43
E ₁₅	1	15	15	8,96	6,56	7,76	0,154	2,15

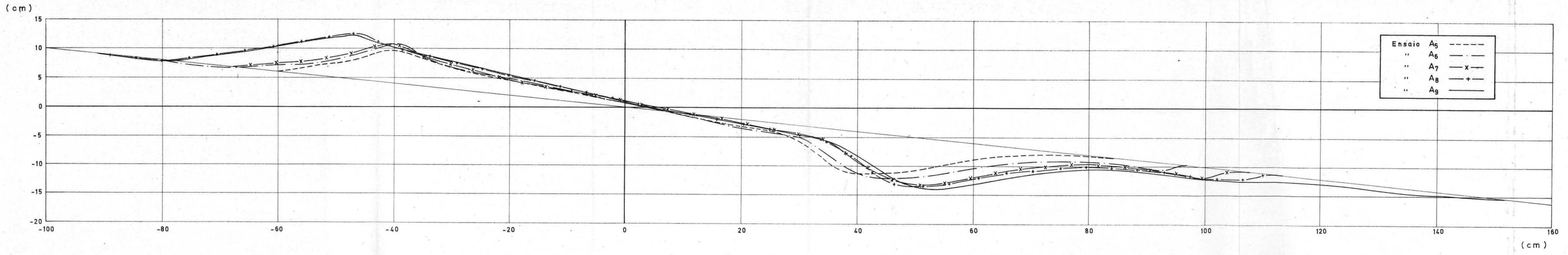
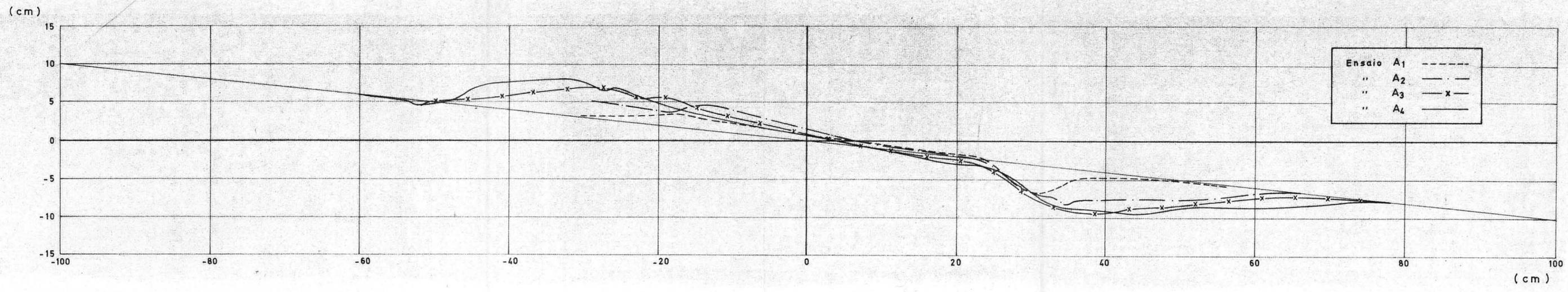
ANEXO III

PERFIS TRANSVERSAIS DOS ENSAIOS



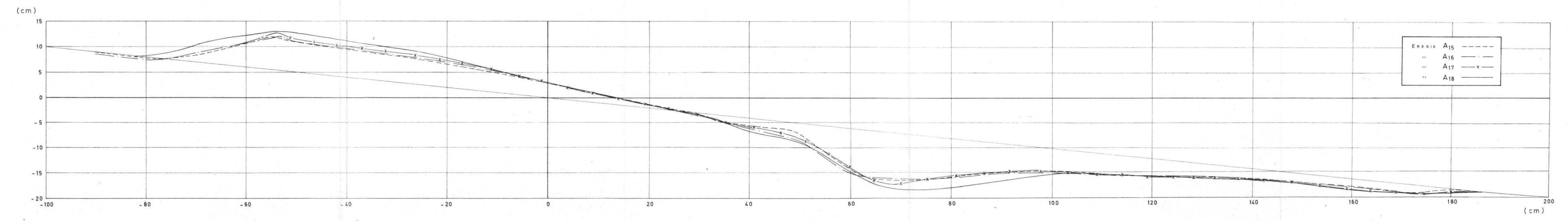
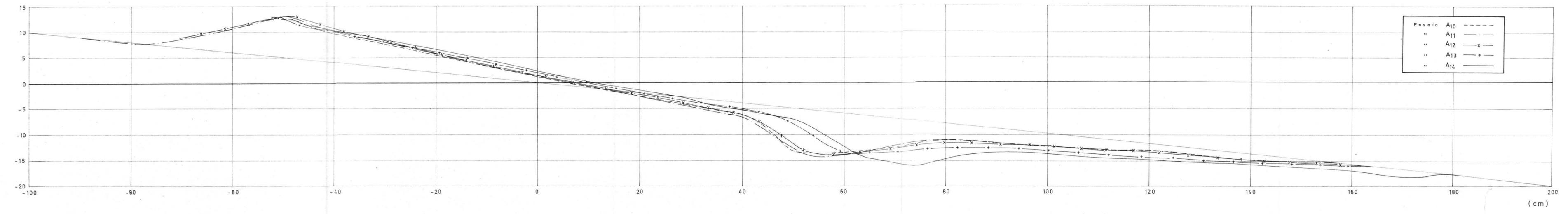
ENSAIOS DA SÉRIE A

ondulação T = 2,00 s



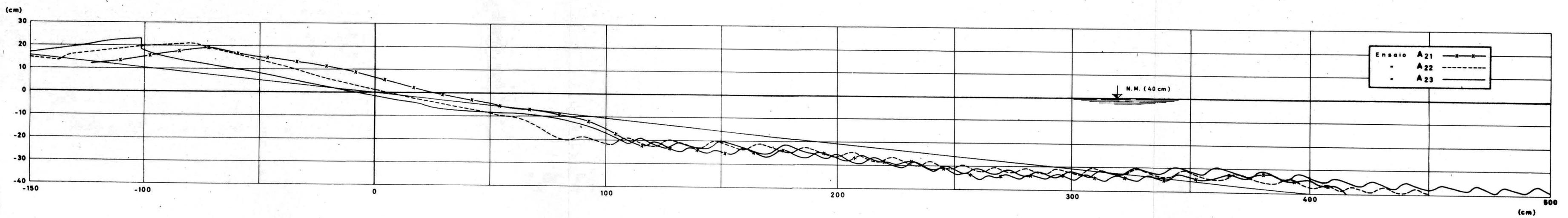
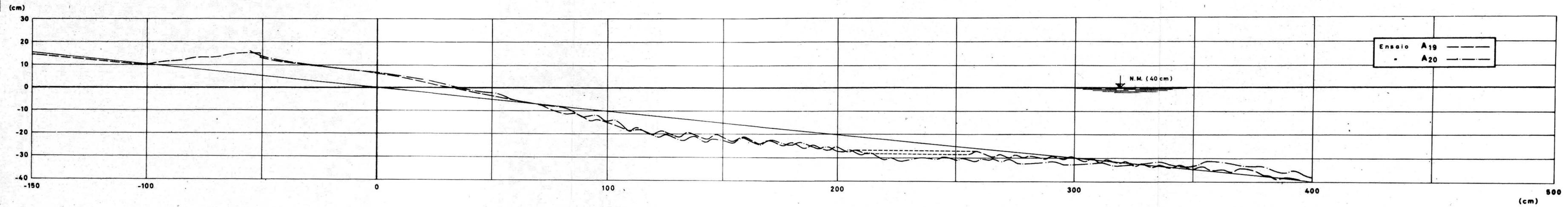
ENSAIOS DA SÉRIE A

ondulação T = 2,00 s

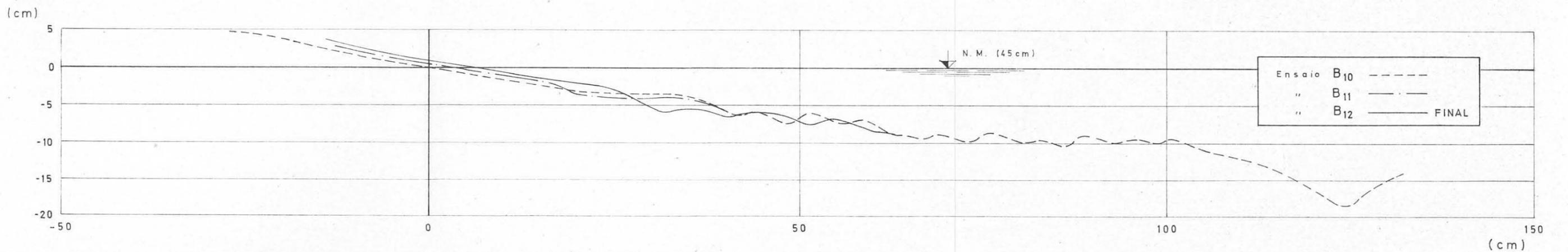
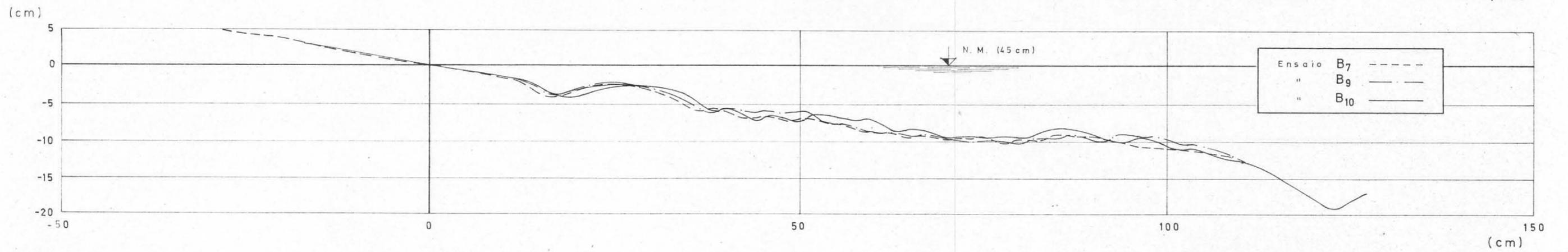
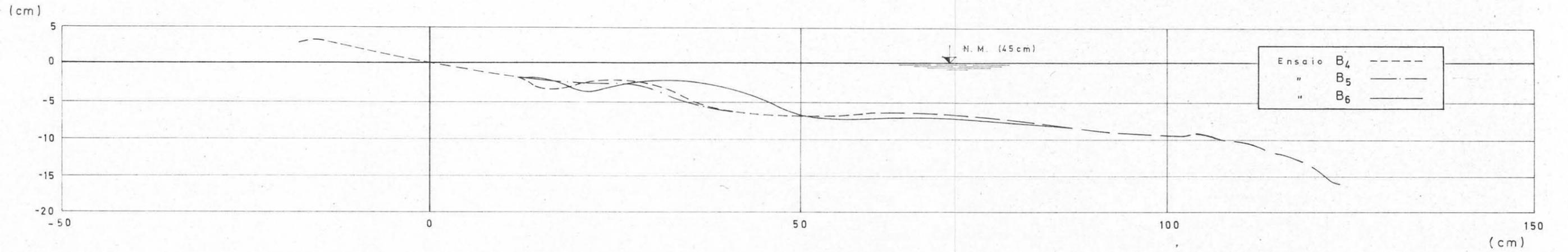
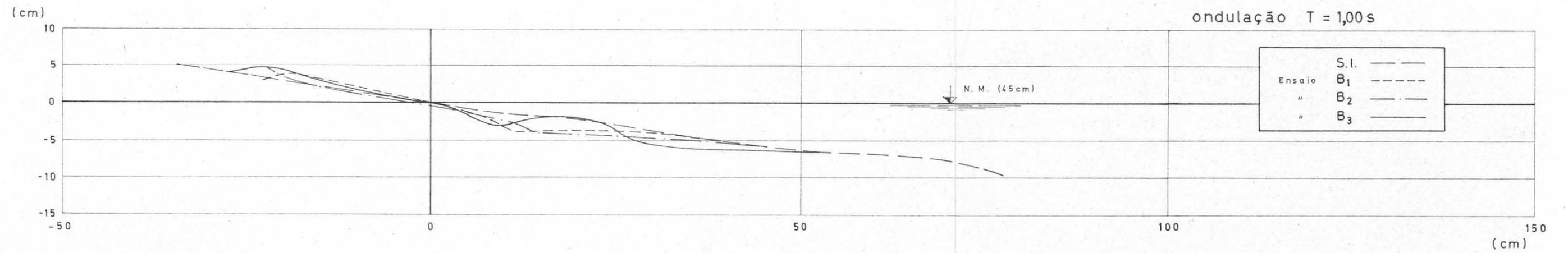


ENSAIOS DA SÉRIE A

ondulação T = 2,00 s

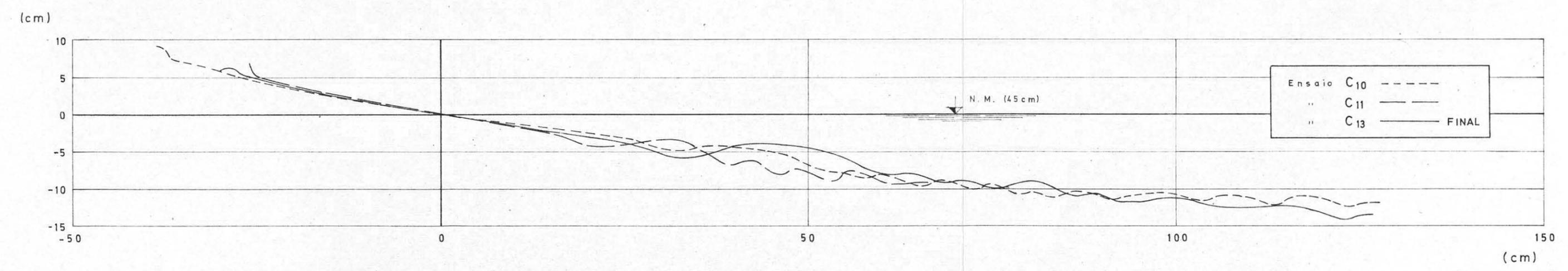
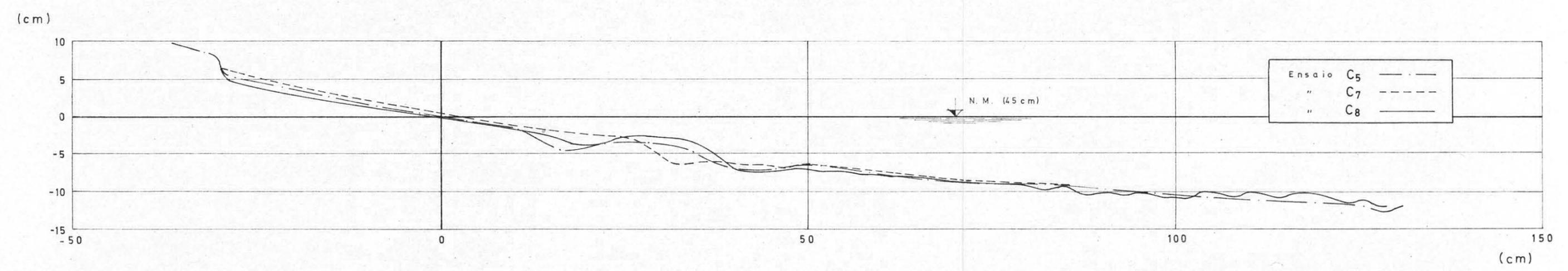
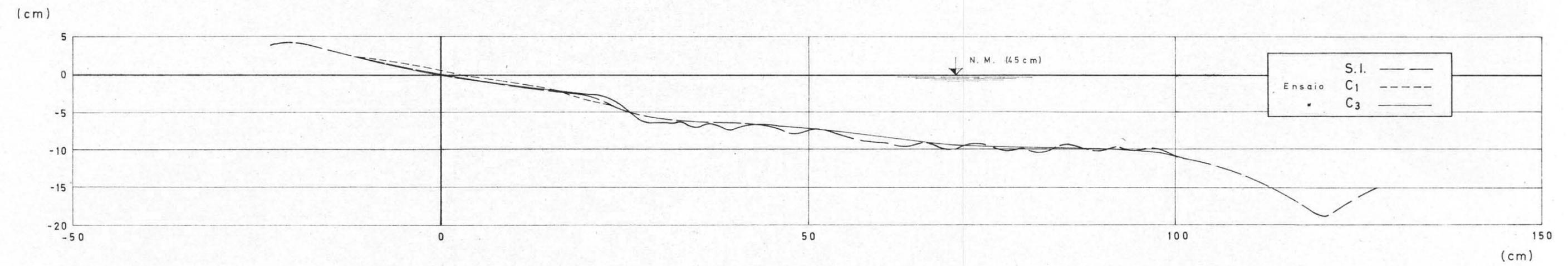


ondulação T = 1,00s



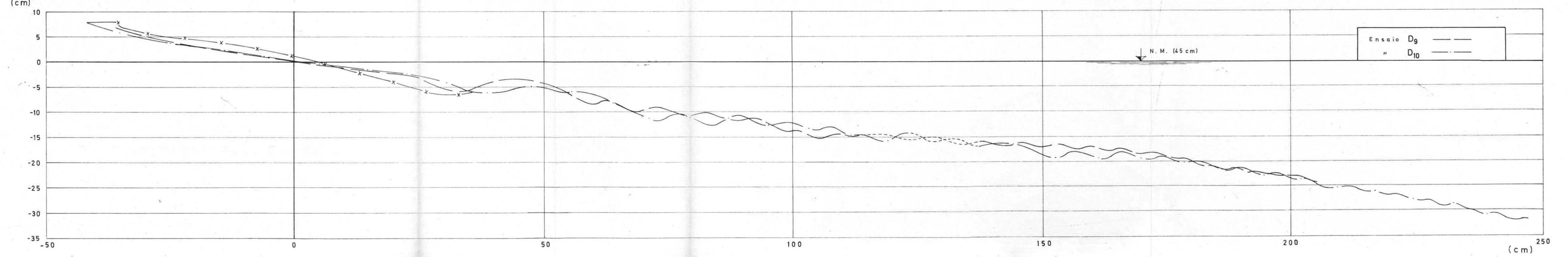
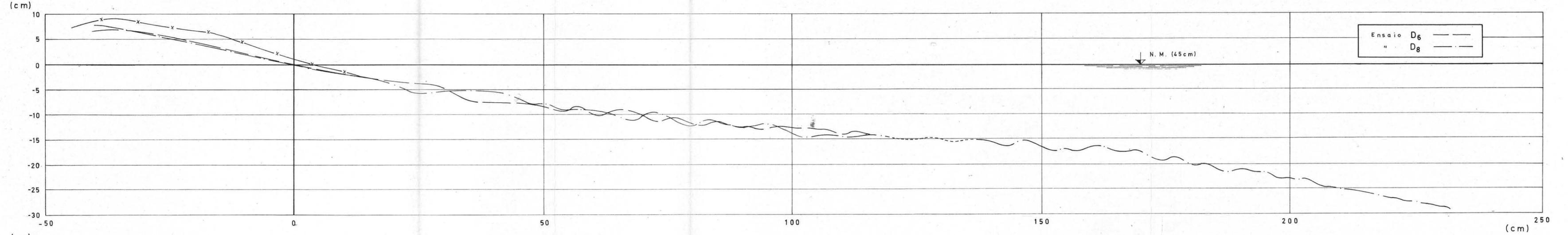
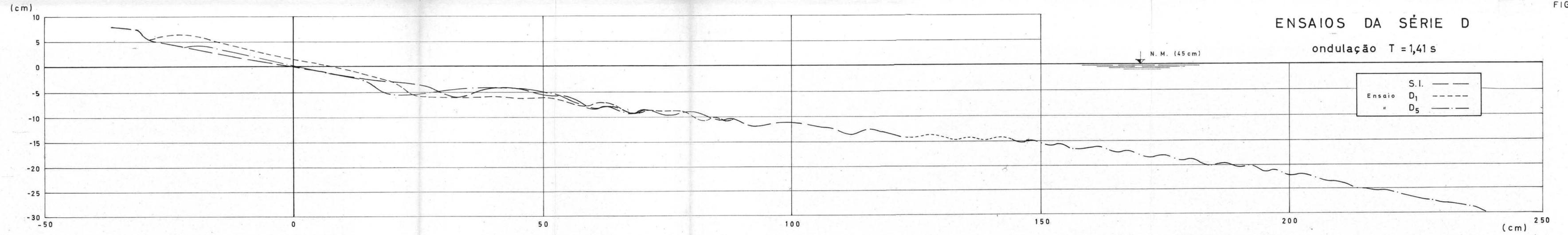
ENSAIOS DA SÉRIE C

ondulação T = 1,22 s



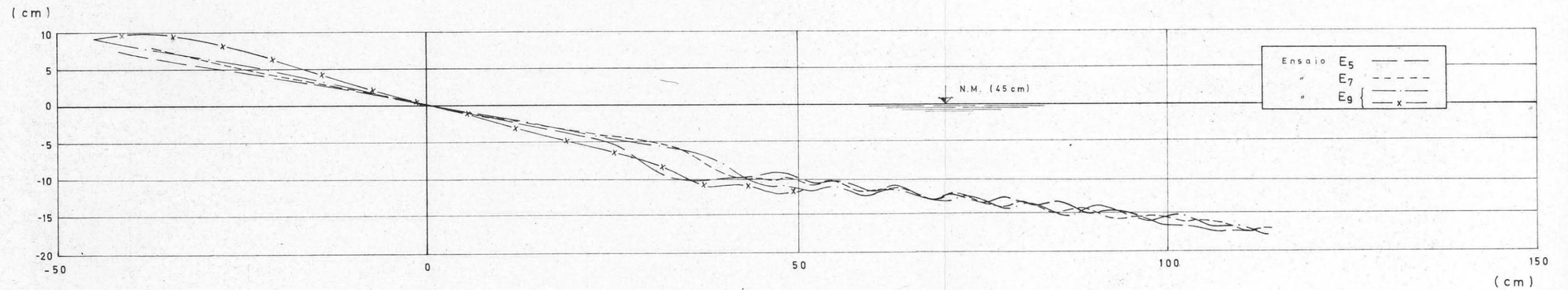
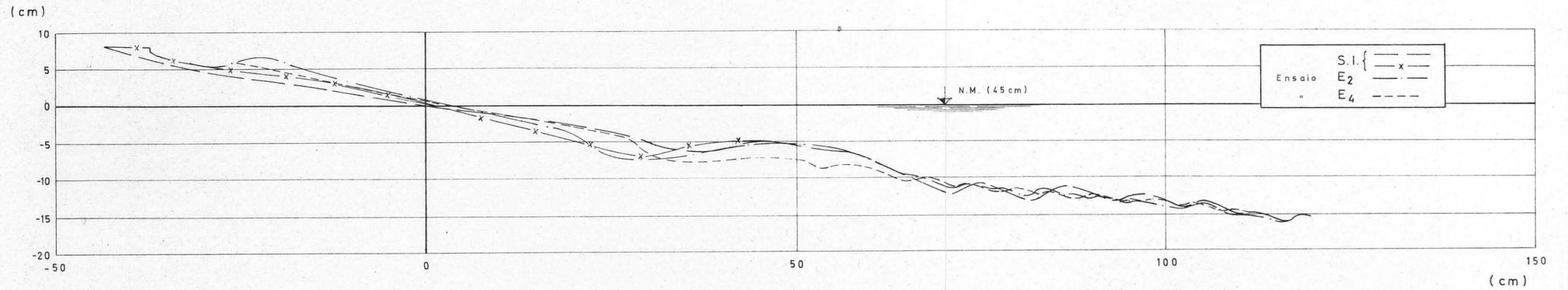
ENSAIOS DA SÉRIE D

ondulação T = 1,41 s



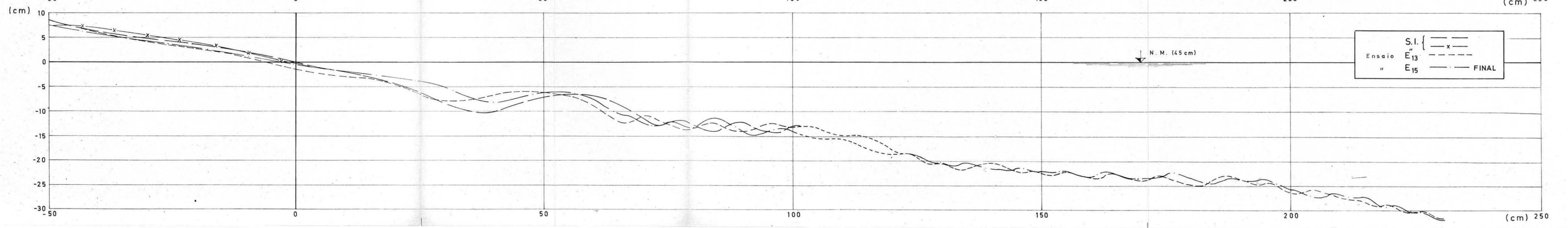
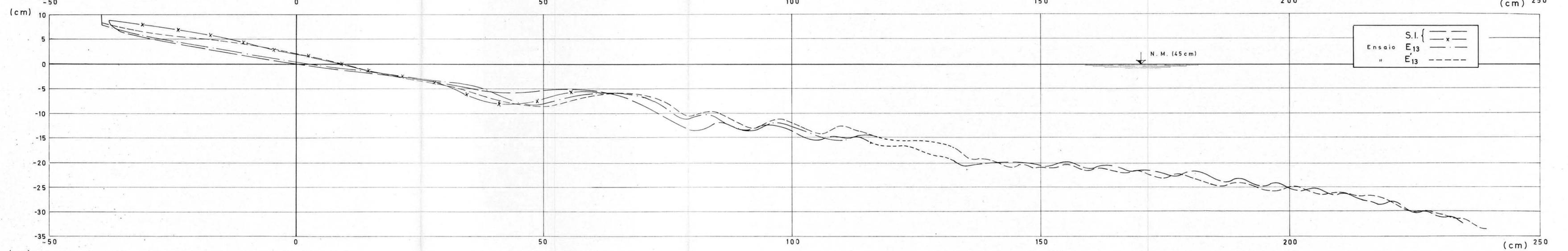
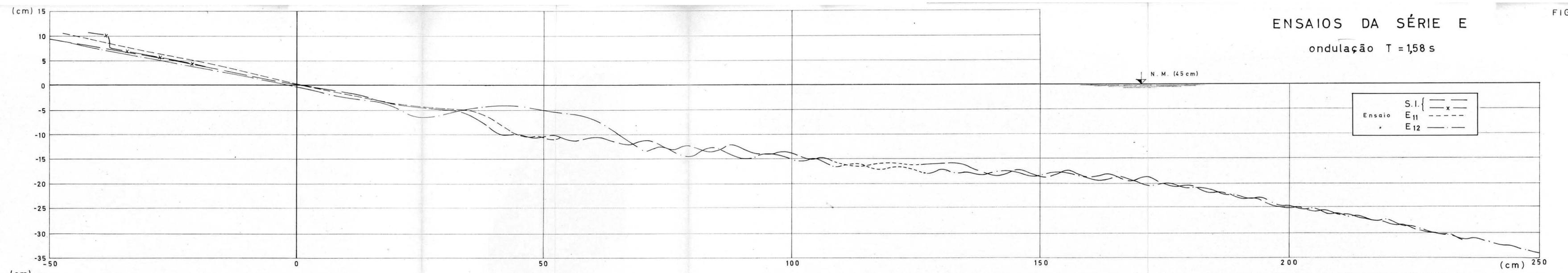
ENSAIOS DA SÉRIE E

ondulação T = 1,58 s



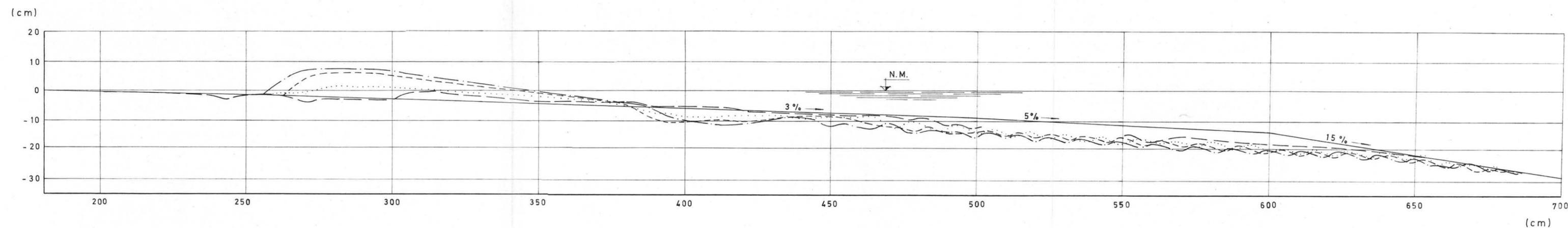
ENSAIOS DA SÉRIE E

ondulação T = 1,58 s



ENSAIOS F

ondulação { Períodos { $T_1 = 2,00$ s
 $T_2 = 2,36$ s
 Altura $H_M = 9,15$ cm



CONVENÇÕES	
Sit. inicial	— — — —
Ao fim de 1 h
" " " 2 h	- - - - -
" " " 3 h	- . - . -

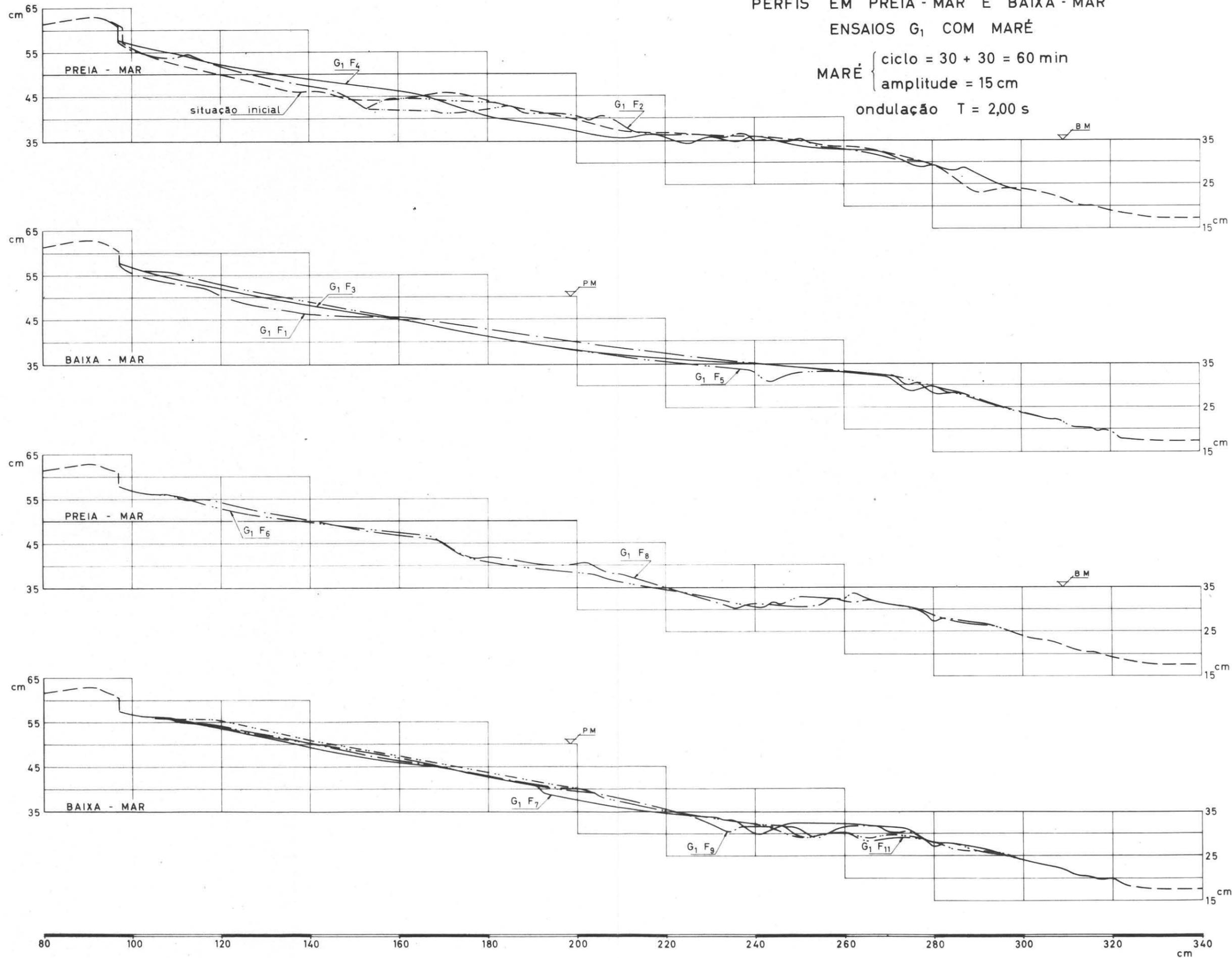
CANAL DE VAGAS II - SÉRIE G

PERFIS EM PREIA - MAR E BAIXA - MAR

ENSAIOS G₁ COM MARÉ

MARÉ { ciclo = 30 + 30 = 60 min
amplitude = 15 cm

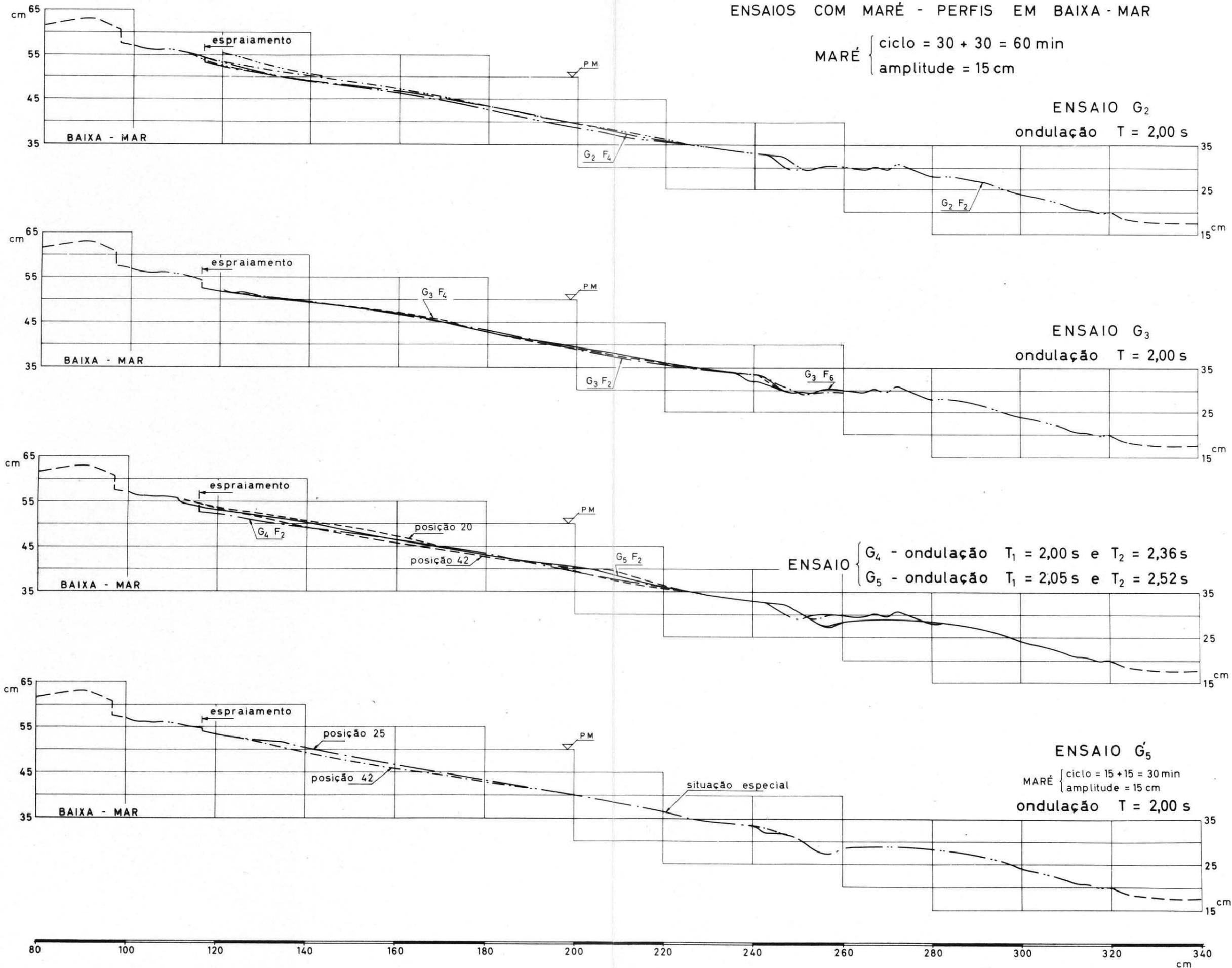
ondulação T = 2,00 s



CANAL DE VAGAS II - SÉRIE G

ENSAIOS COM MARÉ - PERFIS EM BAIXA - MAR

MARÉ { ciclo = 30 + 30 = 60 min
amplitude = 15 cm

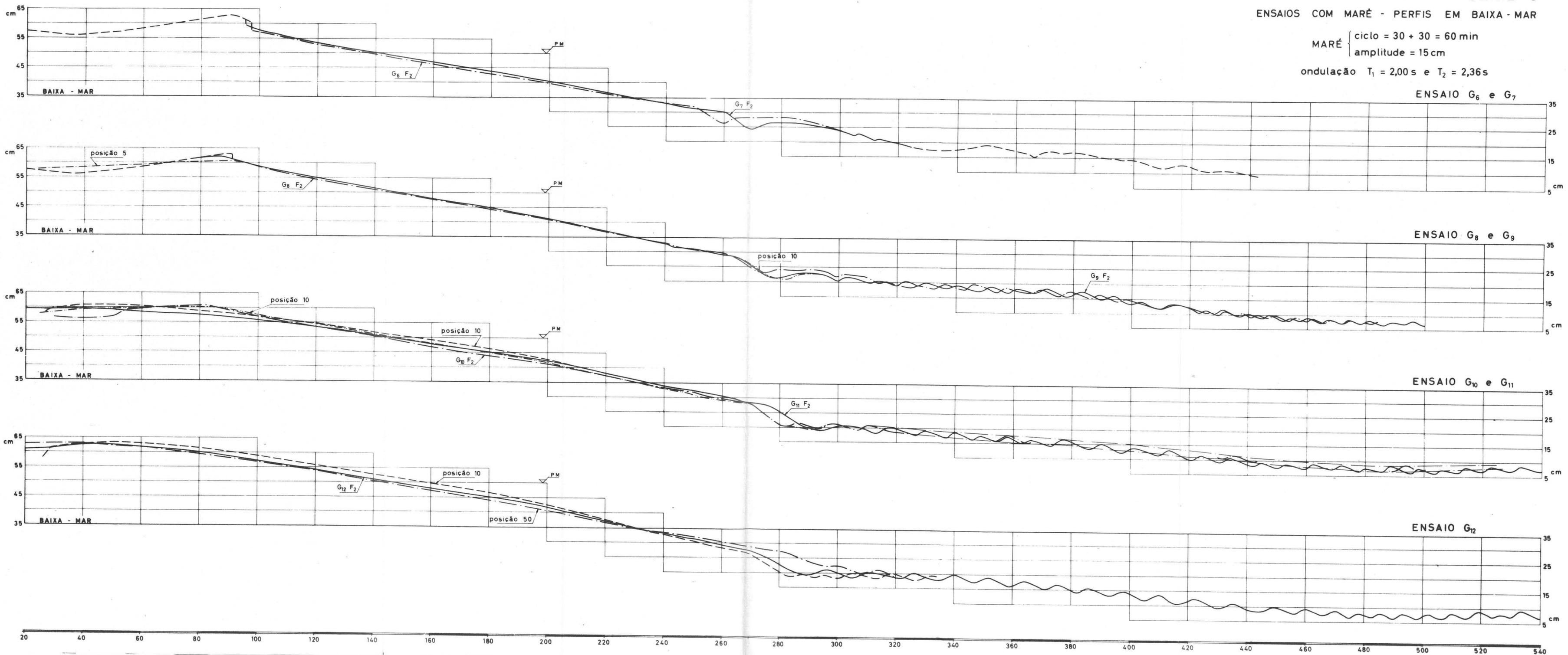


CANAL DE VAGAS II - SÉRIE G

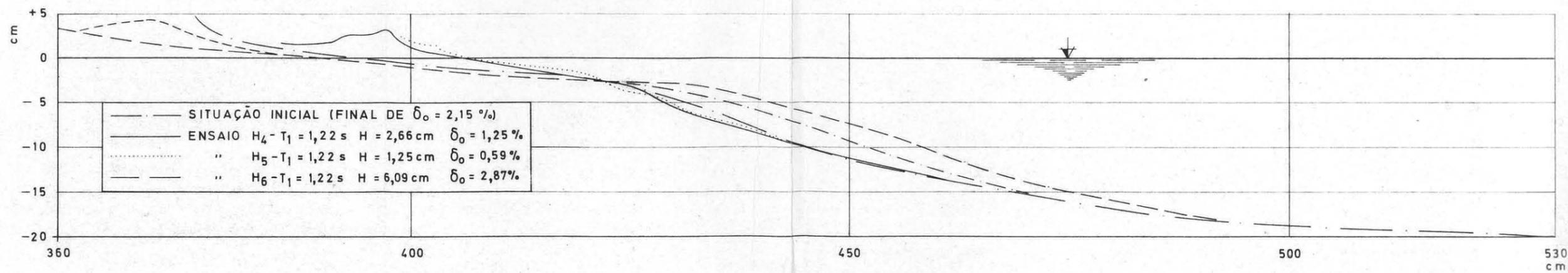
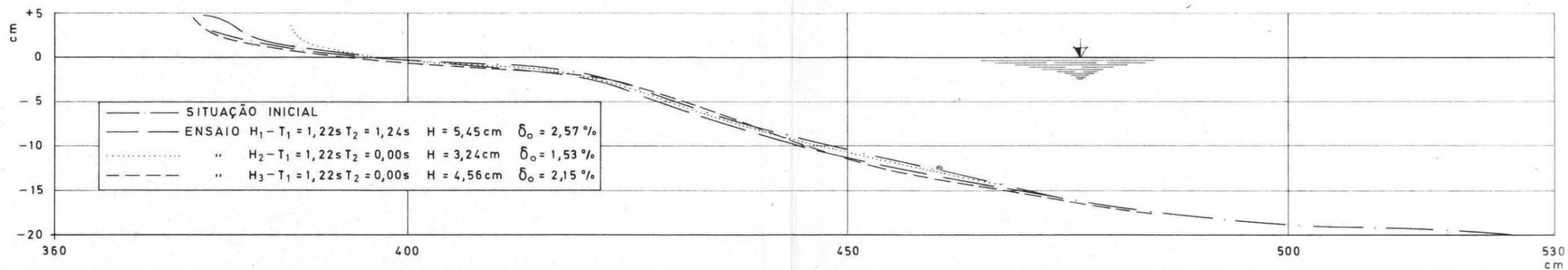
ENSAIOS COM MARÉ - PERFIS EM BAIXA - MAR

MARÉ { ciclo = 30 + 30 = 60 min
amplitude = 15 cm

ondulação $T_1 = 2,00\text{ s}$ e $T_2 = 2,36\text{ s}$



ENSAIOS H (pedra pomes)

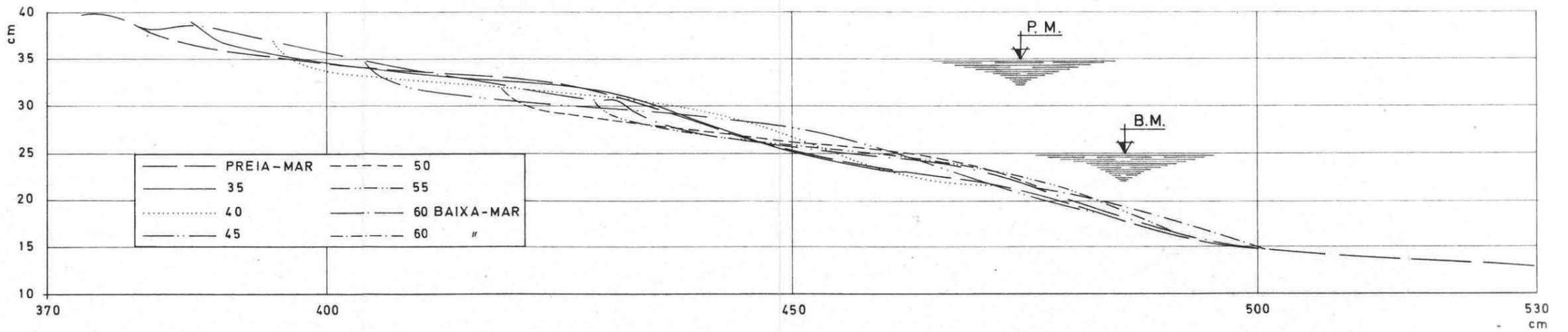
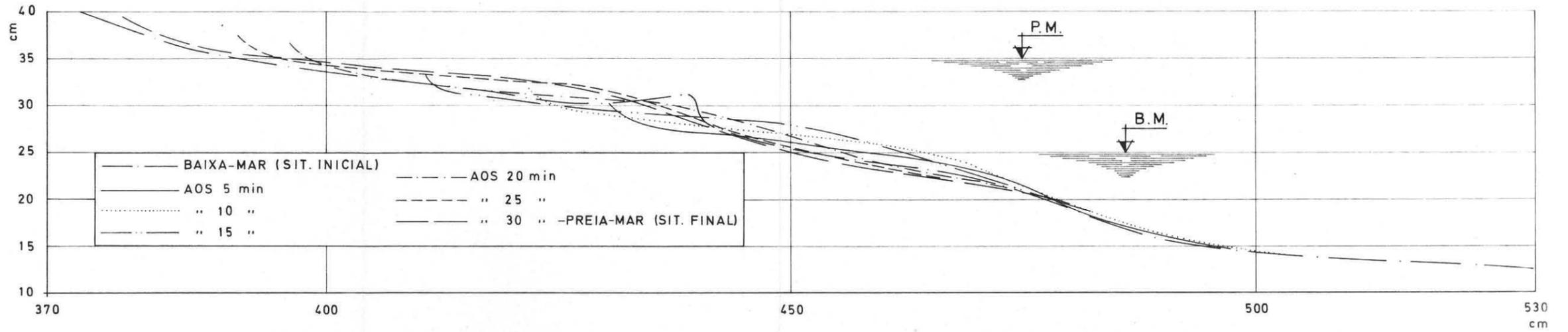


ENSAIOS H (pedra-pomes)

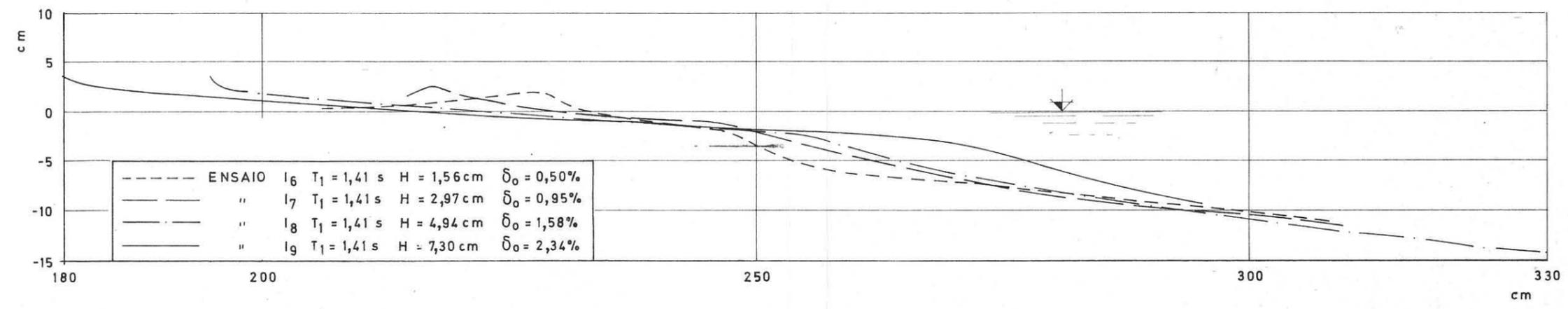
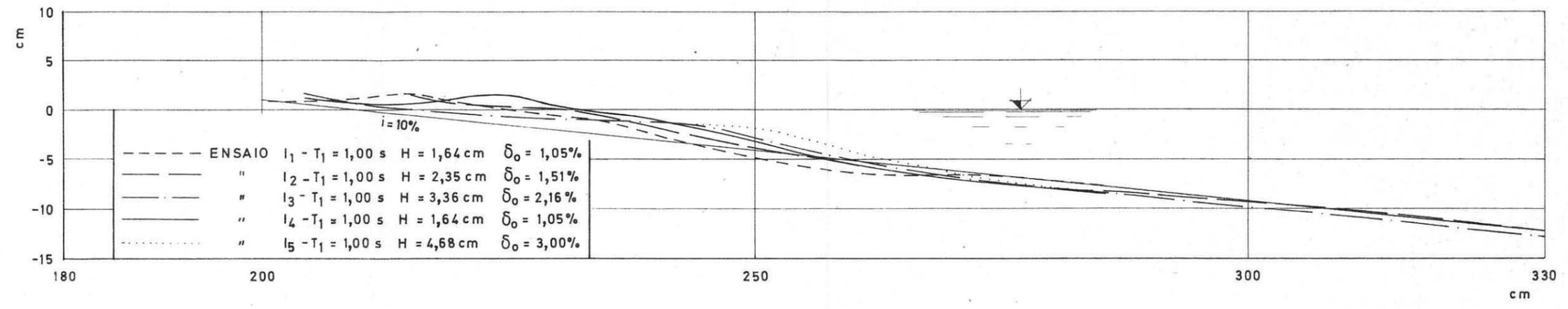
EVOLUÇÃO DURANTE UMA MARÉ

MARÉ { CICLO (30+30) = 60 min
 AMPLITUDE = 10 cm

ONDULAÇÃO { PERÍODO T = 1,22 s
 ALTURA H_m = 4,94 cm



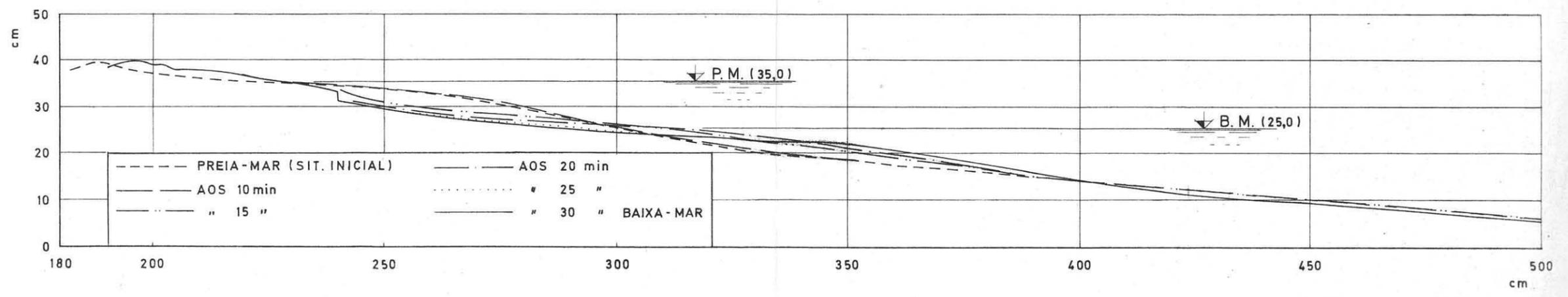
ENSAIOS I (baquelite)



I₁₀ - EVOLUÇÃO DURANTE A MARÉ (vazante)

MARÉ { CICLO (30+30) = 60 min
 AMPLITUDE = 10 cm

ONDULAÇÃO { PERÍODO { T₁ = 122 s
 T₂ = 144 s
 ALTURA H_m = 5,76 cm

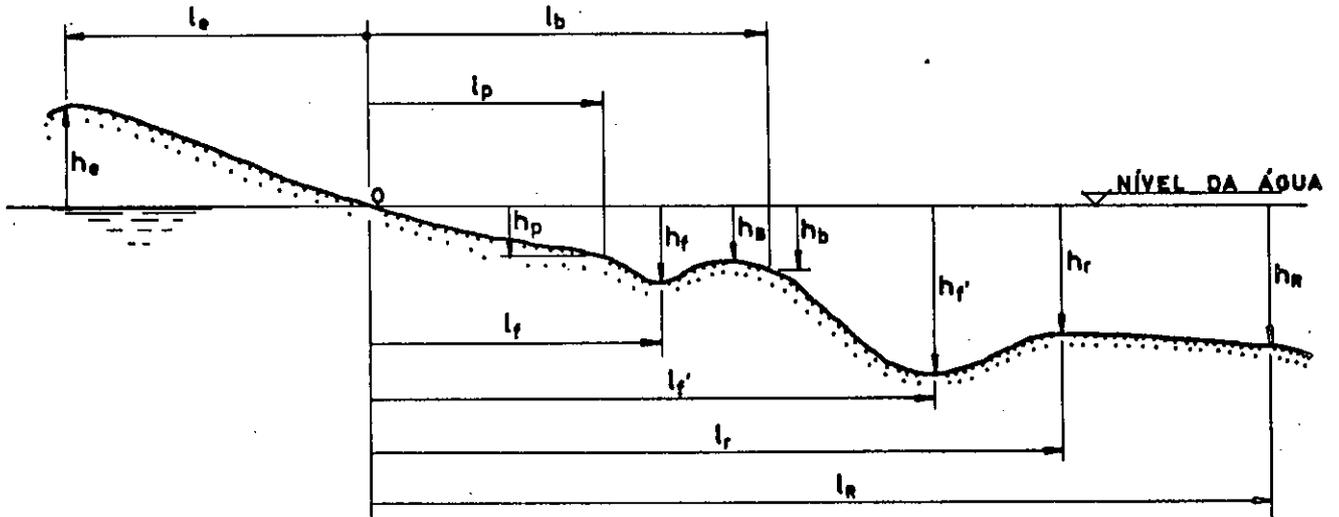


ANEXO IV

CARACTERÍSTICAS DOS PERFIS TRANSVERSAIS
DOS ENSAIOS



SIMBOLOGIA UTILIZADA



l - comprimentos medidos desde a linha de água

h - alturas em relação ao nível da água

Os índices têm o seguinte significado:

e - espraiado

p - plataforma de rebentação

f - fossa

b - barra

f' - fossa na base do talude

r - barra ou banco exterior à fossa da base do talude

R - início de movimento dos materiais

ENSAIOS DA SÉRIE A

Características dos perfis

ENSAIO	FASE	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_r (cm)	l_R (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	$h_{f'}$ (cm)	h_r (cm)	h_R (cm)	$\frac{l_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{l_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)
1	1	0,83	0,14	15,0	19,0	3,0	11,0	2,6	2,0	4,9	3,4	4,0	24	30	4,2	3,2
	2	0,53	0,09	11,0	10,0	7,8	20,6	2,4	2,0	5,0	4,2	5,2	18	16	3,8	3,2
	3	0,70	0,11	25,0	18,0	3,0	-	2,8	2,8	5,6	5,0	6,0	40	29	3,8	3,5
	4	0,58	0,09	24,0	18,0	4,0	-	3,6	2,2	6,8	5,4	6,1	38	29	5,8	3,5
2	1	1,65	0,27	26,0	18,8	26,0	-	4,4	2,2	7,4	6,0	7,0	42	30	7,0	3,5
	2	1,24	0,20	18,0	19,0	26,0	-	4,0	2,8	7,6	6,0	7,0	29	30	6,4	4,5
	3	1,45	0,24	19,4	18,0	23,0	5,0	4,8	3,6	8,0	6,4	7,2	31	29	7,7	5,8
	4	1,70	0,28	19,4	18,0	28,0	7,0	4,8	2,8	8,4	6,8	7,3	31	29	7,7	4,5
3	1	2,04	0,33	33,0	18,6	14,0	20,0	6,6	3,0	8,8	7,2	7,4	52	30	10,6	4,8
	2	2,11	0,34	34,0	16,8	2,0	40,0	7,4	3,0	9,4	7,2	7,4	54	27	11,8	4,8
	3	1,62	0,26	31,0	21,0	26,0	11,0	7,2	3,2	9,6	7,2	7,6	50	34	11,5	5,1
4	1	2,62	0,43	41,0	21,0	29,0	5,0	8,0	3,0	9,0	7,6	8,0	66	34	12,8	4,8
	2	2,45	0,40	32,0	22,0	38,0	4,0	7,0	3,4	8,8	7,6	8,0	51	35	11,2	5,4
	3	1,75	0,28	38,0	24,0	34,0	4,0	8,0	3,6	9,0	7,6	8,0	61	38	12,8	5,8
	4	2,12	0,34	36,0	25,2	39,0	4,0	8,0	3,6	9,6	7,6	8,0	58	40	12,8	5,8

ENSAIOS DA SÉRIE A

Características dos perfis

(continuação)

ENSAIO	FASE	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_r (cm)	l_R (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	$h_{f'}$ (cm)	h_r (cm)	h_R (cm)	$\frac{l_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{l_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)
5	1	3,26	0,53	40,0	21,0	21,0	7,0	8,8	3,4	10,2	7,6	8,0	64	34	14,1	5,4
	2	2,52	0,41	39,0	22,4	25,0	5,2	9,0	4,0	10,0	7,2	8,0	62	36	14,4	6,4
	3	3,50	0,57	46,0	23,0	35,0	10,0	9,4	4,0	11,0	7,8	8,4	74	37	15,0	6,4
	4	3,10	0,50	44,0	22,8	33,0	10,0	9,6	4,0	11,0	7,8	8,4	70	36	15,4	6,4
6	1	4,01	0,65	43,6	24,0	36,0	9,0	9,6	4,6	11,0	8,4	8,8	70	38	15,4	7,4
	2	4,11	0,67	44,0	25,0	36,0	14,0	10,2	4,8	12,0	8,4	9,2	70	40	16,3	7,7
	3	3,93	0,64	43,2	24,0	36,0	18,0	10,6	4,6	11,6	8,8	9,6	69	38	17,0	7,4
	4	3,87	0,63	43,2	24,0	29,0	22,0	10,8	4,6	12,0	9,0	9,6	69	38	17,3	7,4
7	1	3,95	0,64	43,4	26,6	32,0	22,0	10,8	4,8	12,0	8,8	10,0	70	43	17,3	7,7
	2	4,00	0,65	43,6	26,0	29,0	30,0	11,0	5,2	12,0	9,0	10,4	70	42	17,6	8,3
	3	3,93	0,64	45,0	25,0	31,0	25,0	11,0	5,0	12,2	9,6	10,4	72	40	17,6	8,0
	5	3,50	0,57	46,0	26,0	26,0	29,0	10,8	4,6	13,0	9,6	10,6	74	42	17,3	7,4
8	1	-	-	43,0	28,0	28,0	30,0	10,0	5,2	13,0	9,6	10,8	69	45	16,0	8,3
	2	4,15	0,67	51,0	27,0	30,0	30,0	11,2	4,8	13,0	9,6	11,0	82	43	17,9	7,7
	3	4,20	0,68	49,4	30,0	32,8	30,0	12,0	5,2	13,2	9,6	11,2	79	48	19,2	8,3
	4	4,29	0,70	50,0	28,0	32,0	34,0	12,6	5,0	13,2	10,0	11,6	80	45	20,2	8,0

ENSAIOS DA SÉRIE A

Características dos perfis

(continuação)

ENSAIO	FASE	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_r (cm)	l_R (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	h_f' (cm)	h_r (cm)	h_R (cm)	$\frac{l_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{l_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)
9	1	4,60	0,75	50,0	28,0	33,0	35,0	12,5	5,0	13,0	10,0	11,6	80	45	20,0	8,0
	2	4,53	0,74	51,0	27,0	35,0	69,0	12,5	5,0	12,2	10,4	15,0	82	43	20,0	8,0
	3	4,60	0,75	51,0	28,0	28,0	72,0	12,4	5,0	13,6	10,4	15,4	82	45	19,8	8,0
10	1	4,65	0,76	52,0	30,4	30,0	71,0	12,5	5,0	13,4	10,6	15,4	83	49	20,0	8,0
	2	4,64	0,75	56,0	30,0	30,0	70,0	12,8	5,6	13,2	10,8	15,4	90	48	20,5	9,0
	3	4,68	0,76	57,2	32,0	28,0	72,0	13,0	5,7	13,6	11,2	15,6	92	51	20,9	9,1
11	1	4,58	0,74	57,0	32,0	24,0	72,0	12,8	5,6	13,6	11,2	15,6	92	51	20,5	9,0
	2	4,53	0,74	56,2	31,0	26,0	75,0	13,2	6,0	14,2	11,2	15,6	90	50	21,1	9,6
12	1	4,78	0,78	55,4	32,0	30,0	73,0	13,2	6,0	14,0	11,2	16,0	89	51	21,1	9,6
	2	4,78	0,78	56,4	32,6	26,0	76,0	13,2	6,0	13,6	12,0	16,0	90	52	21,1	9,6
	3	4,78	0,78	56,4	32,0	28,0	76,0	13,2	6,0	14,2	12,0	16,0	90	51	21,1	9,6
13	1	5,05	0,82	56,4	33,0	26,0	78,0	13,2	6,0	14,0	12,0	16,4	90	53	21,1	9,6
	2	5,10	0,83	60,0	36,0	22,0	78,0	12,8	6,0	14,0	12,8	16,4	96	58	20,5	9,6
14	1	5,16	0,84	61,0	35,0	24,0	81,0	13,0	6,8	14,0	12,8	16,8	98	62	20,9	10,9
	2	5,50	0,90	61,0	38,0	20,0	86,0	13,2	7,0	16,2	14,6	18,0	98	61	21,1	11,2

ENSAIOS DA SÉRIE A

Características dos perfis

(continuação)

ENSAIO	FASE	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_r (cm)	l_R (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	h_f (cm)	h_r (cm)	h_R (cm)	$\frac{l_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{l_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)
15	1	5,30	0,86	63,0	35,2	16,0	90,0	13,2	6,8	16,2	14,8	18,0	100	56	21,1	10,9
	2	5,33	0,87	69,0	34,0	30,0	82,0	12,0	6,4	16,0	14,2	18,0	110	54	19,2	10,2
16	1	5,28	0,86	69,0	35,2	30,0	72,0	12,0	6,6	16,0	14,2	18,0	104	56	19,2	10,6
	2	5,41	0,88	67,0	32,4	27,0	82,0	12,8	7,2	16,0	14,4	18,4	107	52	20,5	11,5
	3	5,16	0,84	71,0	32,0	27,0	82,0	12,4	8,0	16,0	14,4	18,4	114	51	19,8	12,8
17	2	5,58	0,91	66,4	36,0	32,0	75,0	12,2	7,4	16,0	14,6	18,4	106	58	19,5	11,8
	3	5,53	0,90	68,0	35,4	32,0	75,0	12,8	7,4	17,0	14,6	18,4	109	57	20,5	11,8
18	2	5,69	0,97	69,0	35,4	40,0	74,0	13,2	8,8	18,4	14,6	20,0	110	57	21,1	14,1
	3	5,86	0,95	64,0	33,0	27,0	74,0	14,4	7,6	17,8	14,6	20,0	102	53	23,0	12,2
19	1	6,15	1,00	70,0	31,0	53,0	81,0	14,0	7,4	17,0	14,2	20,4	112	50	22,4	11,8
	2	6,05	0,98	61,0	36,0	37,0	127,0	15,2	8,0	16,4	13,4	23,4	98	58	24,3	12,8
	3	6,05	0,98	68,0	40,0	22,0	146,0	15,0	8,0	16,6	14,4	25,0	109	64	24,0	12,8
	4	6,05	0,98	91,4	49,0	5,0	239,0	13,4	8,4	16,2	15,2	40,0	109	78	21,4	13,4
	5	6,38	1,04	92,0	58,0	4,0	260,0	13,2	11,6	18,6	17,4	40,0	146	92	21,1	18,6
	6	6,28	1,02	84,0	39,0	4,0	309,0	15,0	7,6	18,8	11,0	39,6	134	62	24,0	12,2

ENSAIOS DA SÉRIE A

Características dos perfis

(continuação)

ENSAIO	FASE	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_r (cm)	l_R (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	$h_{f'}$ (cm)	h_r (cm)	h_R (cm)	$\frac{l_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{l_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_e}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)	$\frac{h_p}{L_o}$ ($\times 10^{-3}$)
20	1	7,15	1,16	83,0	42,0	3,4	310,6	14,8	8,0	20,0	-	40,0	133	67	23,7	12,8
	2	9,95	1,60	98,0	42,0	10,0	276,0	17,2	7,8	20,4	17,6	40,0	157	67	27,5	12,5
	3	7,25	1,18	102,8	46,0	3,6	298,0	17,4	10,4	18,0	16,6	40,0	165	74	27,8	16,6
	5	7,02	1,14	100,0	45,0	4,0	-	17,2	8,0	21,2	11,8	40,0	160	72	27,5	12,8
	1	7,37	1,20	102,0	62,0	2,0	-	17,4	11,0	17,4	17,0	40,0	163	99	27,8	17,6
21	2	8,85	1,44	101,0	-	4,0	-	17,6	-	16,0	15,6	40,0	162	35	28,2	-
	3	-	-	100,8	90,0	4,0	273,0	17,0	12,0	21,0	20,0	40,0	161	144	27,2	19,2
	4	9,31	1,52	102,0	82,0	7,6	286,2	18,0	12,4	19,8	17,0	40,0	163	131	28,8	19,8
	5	9,31	1,52	97,0	65,0	5,4	294,0	19,0	11,0	22,0	20,2	40,0	155	104	30,4	17,6
	1	10,54	1,71	99,4	83,0	4,0	288,0	19,4	10,6	23,0	21,6	40,0	159	133	31,0	17,0
22	2	10,03	1,67	102,0	71,0	5,4	300,0	18,8	12,6	22,4	19,0	40,0	163	114	30,1	20,2
	3	13,15	2,14	86,0	38,0	-	-	19,0	7,0	12,4	8,8	40,0	138	61	30,4	11,2
	4	10,68	1,74	86,0	57,0	5,4	-	21,0	10,4	20,0	18,4	40,0	138	91	33,6	16,6
	1	10,40	1,69	86,0	64,0	5,0	330,0	20,8	11,0	18,8	18,0	40,0	138	102	33,3	17,6
23	2	11,25	1,83	84,0	71,0	6,0	329,0	22,0	10,8	20,8	18,6	40,0	134	114	35,2	17,3
	3	12,50	2,04	96,0	74,0	5,0	385,0	23,0	9,0	21,2	18,8	40,0	154	118	36,8	14,4

ENSAIOS DA SÉRIE B

Características dos perfis

ENSAIO	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_f (cm)	l_b (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	h_f (cm)	h_b (cm)	h_B (cm)
B ₁	1,30	0,88	19,3	8,4	11,3	-	4,2	1,7	3,7	-	-
B ₂	2,13	1,45	21,2	13,0	16,0	-	4,8	2,9	4,2	-	-
B ₃	2,78	1,89	18,5	7,9	12,7	28,0	4,5	1,3	3,3	2,9	2,0
B ₄	2,78	1,89	18,8	8,6	12,5	29,4	4,0	1,4	3,3	3,4	1,8
B ₅	2,56	1,74	18,8	25,6	30,4	-	4,0	2,8	3,0	-	-
B ₆	3,25	2,21	18,8	13,3	17,0	39,8	4,0	2,0	3,2	3,8	2,2
B ₇	3,80	2,59	18,8	17,0	23,7	43,2	3,5	2,0	4,1	3,6	2,4
B _{7'}	3,77	2,56	20,4	12,7	17,5	53,2	4,5	1,9	4,2	3,9	2,6
B ₈	3,73	2,51	20,4	13,3	18,5	34,4	4,5	2,0	3,9	4,0	2,5
B ₉	3,96	2,69	20,4	13,3	18,0	34,0	4,5	2,0	3,9	4,0	2,4
B ₁₀	4,76	3,23	20,4	13,3	19,0	36,1	4,3	2,0	4,0	4,0	2,6
B ₁₁	1,95	1,32	14,7	14,0	17,0	-	7,6	1,9	3,6	-	-
B ₁₂	3,30	2,24	22,3	19,8	25,7	-	9,9	2,8	5,8	-	-

ENSAIOS DA SÉRIE B

Características dos perfis

ENSAIO	$\frac{l_e}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{l_p}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{l_b}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{h_e}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{h_p}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{h_b}{L_o}$ (10^{-3})
B ₁	123	54	-	25,9	10,9	-
B ₂	135	83	-	30,8	18,6	-
B ₃	118	51	179	28,9	8,3	18,6
B ₄	120	55	188	25,6	9,0	21,8
B ₅	120	164	-	25,6	17,9	-
B ₆	120	85	255	25,6	12,8	24,0
B ₇	120	109	277	22,4	12,8	23,1
B _{7'}	130	81	213	28,9	12,2	25,0
B ₈	130	85	220	28,9	12,8	25,6
B ₉	130	85	224	28,9	12,8	25,6
B ₁₀	130	85	238	27,6	12,8	25,6
B ₁₁	94	90	-	48,7	12,2	-
B ₁₂	142	127	-	63,5	17,9	-

ENSAIOS DA SÉRIE C

Características dos perfis

ENSAIO	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_f (cm)	l_b (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	h_f (cm)	h_b (cm)	h_B (cm)
C ₁	1,27	0,59	15,4	12,6	21,9	-	2,4	2,0	5,2	-	-
C ₂	2,29	1,07	23,8	19,7	21,9	-	4,6	2,4	5,2	-	-
C ₃	2,68	1,25	23,8	19,7	25,2	-	4,6	2,5	6,0	-	-
C ₄	2,79	1,29	30,3	21,7	28,4	-	5,3	2,9	6,7	-	-
C ₅	3,36	1,56	34,4	25,4	30,7	-	6,7	3,3	6,5	-	-
C ₆	3,29	1,53	30,2	25,2	31,5	-	6,0	3,0	6,7	-	-
C ₇	4,09	1,89	27,1	17,8	22,8	37,8	6,1	2,5	4,0	3,3	2,9
C ₈	4,64	2,16	37,2	31,8	37,6	-	7,1	3,8	6,4	-	-
C ₉	4,64	2,16	32,1	17,2	21,8	36,0	6,2	2,3	4,4	3,5	2,9
C _{9'}	4,64	2,16	34,1	31,8	31,2	-	6,5	3,9	7,4	-	-
C ₁₀	5,60	2,82	30,1	15,8	25,4	46,6	6,2	2,4	4,8	4,3	3,9
C ₁₁	5,52	2,57	26,3	15,0	21,1	32,4	5,4	2,3	4,3	3,1	3,1
C ₁₂	5,85	2,72	32,0	23,0	29,8	53,1	6,2	3,0	5,3	4,8	3,7
C _{12'}	5,85	2,72	27,8	24,8	33,4	55,3	6,5	3,2	6,0	5,0	4,2
C ₁₃	6,05	2,82	32,0	23,4	31,2	55,3	6,2	3,2	5,8	5,1	3,8

ENSAIOS DA SÉRIE C

Características dos perfis

ENSAIO	$\frac{l_e}{L_o}$	$\frac{l_p}{L_o}$	$\frac{l_b}{L_o}$	$\frac{h_e}{L_o}$	$\frac{h_p}{L_o}$	$\frac{h_b}{L_o}$
	(10^{-3})	(10^{-3})	(10^{-3})	(10^{-3})	(10^{-3})	(10^{-3})
C ₁	66	54	-	12,4	8,3	-
C ₂	101	84	-	19,7	10,3	-
C ₃	101	84	-	19,7	10,7	-
C ₄	129	94	-	22,7	12,4	-
C ₅	147	110	-	28,6	14,1	-
C ₆	129	108	-	25,6	12,8	-
C ₇	116	76	162	26,1	10,7	14,1
C ₈	158	136	-	29,9	16,2	-
C ₉	137	74	158	26,5	9,8	15,0
C _{9'}	146	136	-	27,8	16,7	-
C ₁₀	129	68	200	26,5	10,3	18,4
C ₁₁	112	64	138	23,1	9,8	13,2
C ₁₂	137	98	227	26,7	12,8	20,5
C _{12'}	119	106	236	27,8	13,7	21,4
C ₁₃	137	100	236	26,7	13,7	21,8

ENSAIOS DA SERIE D

Características dos perfis

ENSAIO	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_f (cm)	l_b (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	h_f (cm)	h_b (cm)	h_B (cm)
D ₁	1,50	0,53	26,9	14,9	20,7	-	5,7	2,1	4,4	-	-
D _{1'}	1,62	0,57	22,0	12,5	19,1	-	4,8	2,4	5,4	-	-
D ₂	2,04	0,72	27,6	13,4	18,8	-	4,6	2,0	5,7	-	-
D ₃	2,55	0,89	26,1	14,0	14,0	-	5,2	2,6	5,8	-	-
D ₄	3,07	1,08	26,9	16,1	24,0	-	5,7	2,9	5,4	-	-
D ₅	3,58	1,26	30,8	12,2	15,8	-	6,6	3,3	5,4	-	-
D ₆	4,85	1,70	38,3	25,7	32,8	-	7,0	4,5	7,0	-	-
D _{6'}	4,85	1,70	36,5	28,4	34,8	-	7,2	4,2	7,2	-	-
D ₇	5,27	1,85	38,8	25,8	22,5	37,1	7,8	4,8	5,4	4,8	4,7
D ₈	5,83	2,05	40,7	13,0	24,8	41,6	7,8	2,6	6,0	5,6	5,4
D ₉	6,67	2,34	38,9	18,8	25,0	43,5	7,0	2,8	4,9	4,0	3,6
D _{9'}	6,18	2,17	37,1	22,5	31,9	51,3	6,8	2,6	6,0	4,5	3,4
D _{9''}	6,18	2,17	36,6	13,8	25,5	51,3	7,4	2,7	5,6	4,5	3,3
D ₁₀	6,76	2,38	45,6	26,1	36,4	56,4	8,0	6,2	6,2	6,0	5,0

ENSAIOS DA SÉRIE D

Características dos perfis

ENSAIO	$\frac{l_e}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{l_p}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{l_b}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{h_e}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{h_p}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{h_b}{L_o}$ (10^{-3})
D ₁	86	48	-	18,3	6,7	-
D _{1'}	71	40	-	15,4	7,7	-
D ₂	88	43	-	14,7	6,4	-
D ₃	84	45	-	16,8	8,3	-
D ₄	86	52	-	18,3	9,3	-
D ₅	99	39	-	21,3	10,6	-
D ₆	123	82	-	22,4	14,4	-
D _{6'}	116	91	-	23,1	13,4	-
D ₇	122	83	119	24,8	15,4	15,4
D ₈	130	42	133	25,0	8,3	11,5
D ₉	124	60	139	22,4	9,0	12,8
D _{9'}	118	72	164	21,8	8,3	14,4
D _{9''}	117	-	164	23,7	-	14,4
D ₁₀	146	84	178	25,6	19,8	19,2

ENSAIOS DA SÉRIE E

Características dos perfis

ENSAIO	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_f (cm)	l_b (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	h_f (cm)	h_b (cm)	h_B (cm)
E ₁	1,35	0,38	18,0	13,2	29,6	-	3,9	1,8	29,6	-	-
E ₂	2,09	0,58	27,6	18,4	29,4	-	4,9	3,3	29,4	-	-
E _{2'}	2,57	0,71	24,7	16,4	28,1	-	6,4	3,4	28,1	-	-
E _{2''}	2,03	0,56	25,3	16,2	28,1	-	6,2	2,5	28,1	-	-
E ₃	2,81	0,78	29,8	19,8	26,4	-	6,3	3,6	26,4	-	-
E _{3'}	2,81	0,78	30,2	23,2	29,0	-	5,9	3,9	29,0	-	-
E ₄	2,61	0,72	27,0	20,6	29,0	-	5,9	3,6	29,0	-	-
E _{4'}	2,61	0,72	23,2	20,8	27,6	-	6,3	4,0	27,0	-	-
E ₅	3,91	1,10	36,3	25,2	33,6	-	6,2	4,0	33,6	-	-
E _{5'}	3,91	1,10	42,3	24,2	33,6	-	7,1	4,1	33,6	-	-
E _{5''}	3,91	1,10	34,3	24,2	33,6	-	8,6	4,1	33,6	-	-
E ₆	4,06	1,13	38,0	32,1	38,8	-	7,2	4,8	38,8	-	-
E ₇	4,43	1,23	39,3	31,6	39,6	-	7,7	4,5	39,6	-	-

ENSAIOS DA SÉRIE E

Características dos perfis

ENSAIO	H (cm)	δ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_f (cm)	l_b (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	h_f (cm)	h_b (cm)	h_B (cm)
E ₈	5,21	1,45	46,5	33,3	40,5	-	8,7	5,6	40,5	-	-
E ₉	6,04	1,68	48,0	34,5	41,7	-	9,1	6,0	41,7	-	-
E ₁₀	5,99	1,66	48,4	31,7	39,6	-	10,2	5,5	39,6	-	-
E ₁₁	6,98	1,94	47,7	34,8	42,0	-	10,4	6,0	42,0	-	-
E _{11'}	6,98	1,94	48,4	36,5	45,3	-	10,2	5,6	45,3	-	-
E ₁₂	7,24	2,00	41,7	20,5	30,3	49,3	8,3	2,0	30,3	5,5	4,9
E _{12'}	7,24	2,00	42,8	20,5	27,6	61,5	8,3	3,7	27,6	6,6	4,6
E _{12''}	7,81	2,16	38,7	23,4	35,6	61,6	7,2	3,3	35,6	6,3	3,1
E _{12'''}	7,81	2,16	38,7	27,5	40,2	65,3	7,2	3,6	40,2	6,5	4,8
E ₁₃	8,73	2,42	39,8	36,0	46,5	70,7	7,8	4,5	46,5	6,9	6,0
E _{13'}	9,69	2,69	36,9	28,9	39,8	64,9	6,2	3,9	39,8	6,7	5,7
E _{13''}	9,69	2,69	49,6	28,9	39,8	64,9	8,1	3,9	39,8	6,7	5,7

ENSAIOS DA SÉRIE E

Características dos perfis

ENSAIO	H (cm)	σ_o (%)	l_e (cm)	l_p (cm)	l_f (cm)	l_b (cm)	h_e (cm)	h_p (cm)	h_f (cm)	h_b (cm)	h_B (cm)
E ₁₃ "	9,69	2,69	49,4	21,8	36,6	60,9	8,3	4,6	36,6	6,5	5,7
E ₁₃ "	9,69	2,69	50,1	21,8	36,6	60,9	8,0	4,6	36,6	6,5	5,7
E ₁₃ "	8,32	2,31	49,8	21,7	36,5	62,8	8,1	4,9	36,5	6,6	5,6
E ₁₄	8,75	2,43	44,0	29,2	38,4	59,6	7,1	4,0	38,4	6,2	5,2
E ₁₅	7,76	2,15	49,4	32,2	42,5	60,1	7,9	4,5	42,5	6,1	5,8

ENSAIOS DA SÉRIE E

Características dos perfis

ENSAIO	$\frac{l_e}{L_o}$ (10 ⁻³)	$\frac{l_p}{L_o}$ (10 ⁻³)	$\frac{l_b}{L_o}$ (10 ⁻³)	$\frac{h_e}{L_o}$ (10 ⁻³)	$\frac{h_p}{L_o}$ (10 ⁻³)	$\frac{h_b}{L_o}$ (10 ⁻³)
E ₁	46	34	-	10,0	4,6	-
E ₂	71	42	-	12,5	8,5	-
E _{2'}	63	42	-	16,4	8,7	-
E _{2''}	65	42	-	16,0	6,4	-
E ₃	76	51	-	16,2	9,2	-
E _{3'}	78	59	-	15,1	10,0	-
E ₄	69	53	-	15,1	9,2	-
E _{4'}	59	53	-	15,9	10,3	-
E ₅	93	65	-	15,9	10,3	-
E _{5'}	108	62	-	18,2	10,5	-
E _{5''}	88	-	-	22,1	10,5	-
E ₆	97	82	-	18,6	12,3	-
E ₇	101	81	-	19,9	11,6	-
E ₈	119	85	-	22,3	14,4	-
E ₉	123	88	-	23,4	15,4	-

ENSAIOS DA SÉRIE E

Características dos perfis

ENSAIO	$\frac{l_e}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{l_p}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{l_b}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{h_e}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{h_p}{L_o}$ (10^{-3})	$\frac{h_b}{L_o}$ (10^{-3})
E ₁₀	124	81	-	26,2	14,1	-
E ₁₁	122	89	-	26,7	15,4	-
E _{11'}	124	94	-	26,2	14,4	-
E ₁₂	107	53	126	21,3	5,1	14,1
E _{12'}	110	53	158	21,3	9,5	16,9
E _{12''}	99	60	158	18,5	8,5	16,2
E _{12'''}	99	71	167	18,5	9,2	16,7
E ₁₃	102	92	181	20,0	11,6	17,7
E _{13'}	95	74	166	15,9	10,0	17,2
E _{13''}	127	74	166	20,8	10,0	17,2
E _{13'''}	126	56	156	20,3	11,8	16,7
E _{13''''}	128	56	156	20,5	11,8	16,7
E _{13'''''}	127	56	161	20,8	12,6	17,1
E ₁₄	112	75	153	18,2	10,3	15,9
E ₁₅	126	83	154	20,2	11,6	15,7

