

Aproveitamento da energia das ondas do mar

No número 131 publicámos um trabalho do sr. eng. José J. Delgado Domingos intitulado: «Aproveitamento da energia das ondas».

Sendo nosso desejo continuar a ocupar-nos do assunto apresentamos agora uma nota elaborada pelo sr. Agnelo Gonçalves David que à solução do problema se tem dedicado com todo o entusiasmo, tendo já sido galaradoado em exposições internacionais de inventores.

Este nosso compatriota, apresentou as suas ideias ao sr. eng. Fernando Abecasis (investigador e chefe do Serviço de Hidráulica do LNEC), que em carta lhe disse o que pensava sobre o assunto, tendo encarregado os srs. engs. I. B. Mota Oliveira e António Rosa S. Encarnação, também do LNEC, de elaborar um estudo preliminar sobre a energia das ondas do mar, estudo esse que com o título: «Energia transmitida para a costa oeste portuguesa associada ao clima médio de agitação» também agora publicamos.

O pedido de registo de patente feito em devido tempo pelo sr. Agnelo David não foi aceite por alguns países, o que, não influe no mérito dos seus trabalhos produto de intuição e tenacidade.

Estamos reunindo mais elementos sobre o problema, a que oportunamente daremos publicidade.

A energia das ondas é uma forma de energia natural que não tem sido racionalmente aproveitada pelo Homem.

Não se pense, todavia, que o seu potencial energético é desprezível em termos de quilowatt-hora. Em Portugal por exemplo, segundo cálculos efectuados recentemente por uma equipa de técnicos portugueses os engs. Mota Oliveira e António Rosa S. Encarnação chefiados pelo eng. Fernando Abecasis, investigador e chefe do Serviço de Hidráulica do LNEC, esse potencial representaria em média e por cada quilómetro da nossa costa, zona centro-norte, o equivalente a duas vezes e meia a produção anual da central de Castelo do Bode, ou seja: cerca de 800 GWh, se fosse possível a sua integral transformação em energia eléctrica.

Considerando apenas aquela zona da nossa costa, que nos oferece a extensão de algumas centenas de quilómetros, podemos fazer uma ideia do potencial energético que se dissipa anualmente, embora conside-

rando que qualquer sistema transformador tenha apenas 30% de rendimento.

Porque não aproveitar então essa fabulosa fonte de energia que nos é oferecida gratuitamente e para sempre?

A resposta não é fácil. No Encontro Nacional Sobre Política Energética de Novembro de 1975 o assunto foi apenas abordado vagamente, porque não era conhecida nenhuma tecnologia dominada que possibilitasse o seu aproveitamento de modo a permitir aos técnicos responsáveis pelo sector a sua inclusão num plano energético. Assim, há que encontrar primeiramente uma solução válida para o problema da sua transformação e só depois se poderá contar com ela como componente importante no contexto das energias exploráveis.

Desde longa data que se procura essa solução pelo que têm surgido muitos sistemas com essa finalidade. Contudo, a maioria deles, não oferecia quaisquer possibilidades práticas de aplicação em grandes aproveitamentos. Ultimamente, porém, surgiram propostas mais concretas, estando já algumas delas a ser ensaiadas na Inglaterra por técnicos especializados, com vista ao aproveitamento da também rica costa inglesa. Para tais investigações o Governo daquele país deu já valiosos subsídios que poderão colocar a Inglaterra na vanguarda da tecnologia do aproveitamento deste tipo de energia.

E no nosso país que se tem feito nesse sentido?

Ficaremos nós, também neste campo, dependentes dos conhecimentos alheios?

Sem dúvida que haveria todo o interesse em fazer-se, no nosso país, um esforço para se conseguir essa tecnologia, uma vez que não partiríamos do zero, porque já existe um sistema português que oferece garantias de viabilidade e a nossa capacidade tecnológica pode levar a efeito a indispensável optimização do processo e a sua realização à escala que se pretendesse.

O sistema, aliás, tem sido muito divulgado e foi inclusivamente apresentado a várias entidades ligadas à especialidade. E a opinião desses técnicos foi e é positiva no que toca à possibilidade concreta da sua funcionalidade, à simplicidade da sua concepção e no que se refere ao interesse que deveria merecer por parte do Estado, dotando as instituições oficiais, já

contactadas pelo autor, com as verbas necessárias para a sua investigação.

Como já se disse, o sistema é muito simples e concreto, pois, basicamente, possui apenas um componente móvel por cada unidade transformadora e, mesmo esse, deverá estar fora do alcance das águas do mar, ficando portanto ao abrigo da sua violência. Em tudo o mais o sistema é fixo e semelhante a um molhe de protecção ou quebra-mar. Aliás, esta semelhança oferece a particularidade aliciante de possibilitar uma duplicidade de funções — Central Onda-motriz/Molhe de protecção — que se poderia traduzir num factor económico de relevante interesse e a levar em consideração no planeamento das estruturas indispensáveis ao desenvolvimento da indústria piscatória do nosso país; e poderia sê-lo também no desenvolvimento do turismo pela consequente criação de zonas abrigadas que despertariam o interesse dos veraneantes.

Passemos então a expôr as bases fundamentais em que assenta o sistema:

O sistema aproveita a acção mecânica do afluxo e refluxo da ondulação para provocar a compressão e depressão numa câmara de ar existente dentro de uma estrutura fixa; a acção pneumática resultante é aproveitada para accionar uma turbina-gerador.

A estrutura pode ser construída em betão armado e assente numa almofada de enrocamento miúdo e acostada a T. O. T.; deve ser provida de um túnel longitudinal — para formar a câmara de ar — e possuir na base uma abertura, também longitudinal, virada perpendicularmente ao rumo dominante da ondulação. Essa abertura deverá manter-se abaixo do nível mínimo da água do mar de modo a estar sempre obturada por esta.

Nestas condições o afluxo e refluxo da ondulação actuam como um pistão líquido, provocando a compressão e depressão na câmara de ar. A resultante acção pneumática produz um escoamento de ar de sentido alternado localizado num respiradouro circular, de dimensão mais reduzida que a da câmara de ar e inserido na parte superior da estrutura, ficando portanto aquela em comunicação com o ar exterior. É no respiradouro que se ajusta a turbina-geradora que, como se depreenderá, é accionada por fluxos de ar diametralmente opostos. Por tal motivo a sua concepção exigiu especial cuidado por parte do autor do sistema, uma vez que ela deve ter um único sentido de rotação sendo perfeitamente irreversível. Este objectivo foi conseguido com êxito, tanto mais que essa turbina funciona sem válvula.

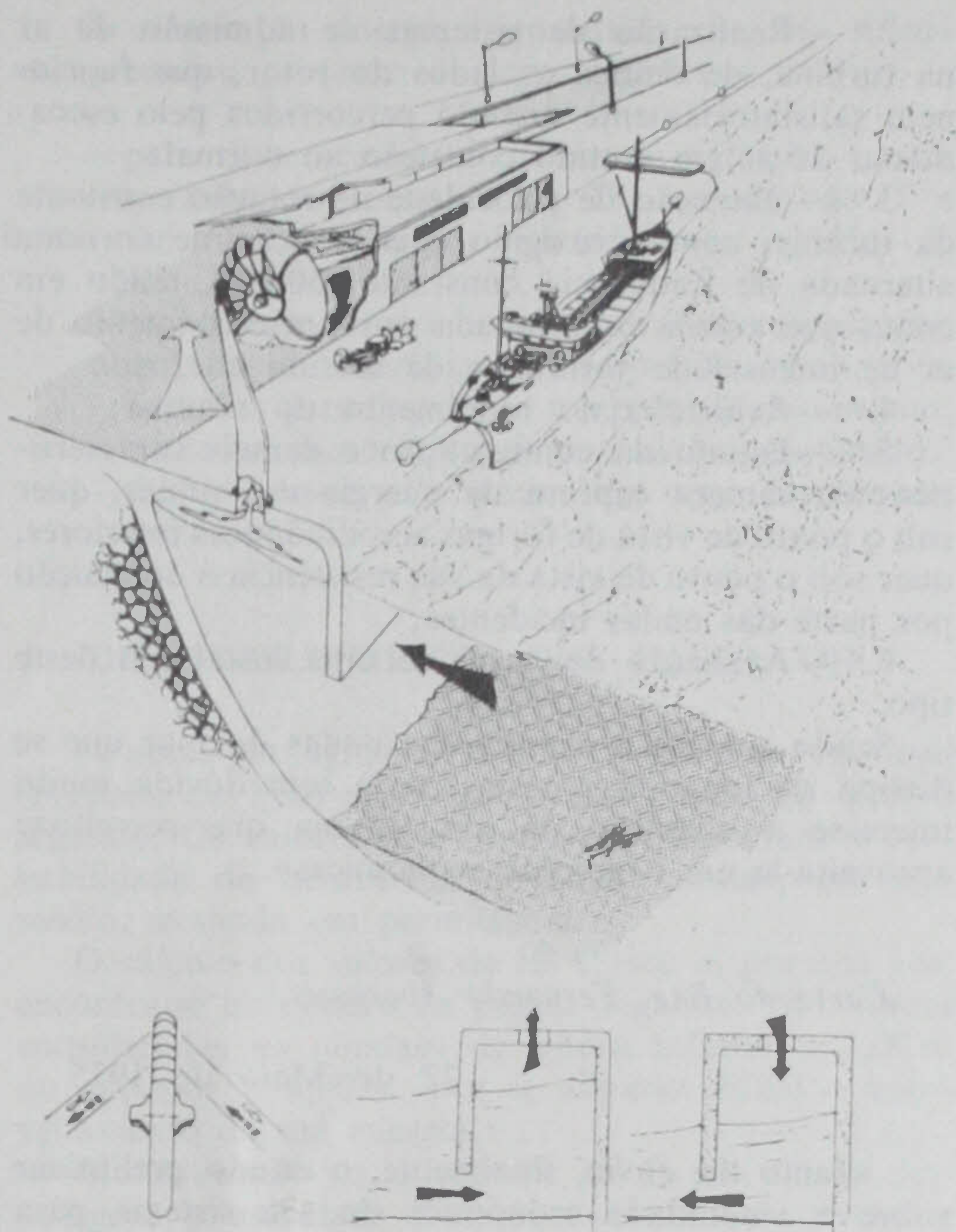
Claro que ainda não foi possível determinar com rigor técnico a forma hidrodinâmica e aerodinâmica da estrutura captadora nem as suas dimensões ideais e o mesmo se poderá dizer em relação à turbina-geradora.

Contudo o autor, baseado apenas na sua intuição, esquematizou a sua concepção que se apresenta a seguir:

De acordo com esse esquema o autor construiu um modelo reduzido que prova a funcionalidade do sistema. Esse modelo foi exposto em salões de invenção, nacionais e estrangeiros, onde obteve honrosas classificações e o maior apoio moral por parte dos seus visitantes. Foi também já apreciado por muitos técnicos portugueses cuja opinião se apresenta seguidamente.

Outubro de 1977

Agnelo Gonçalves David



Tal como o Sistema Masuda é um conversor hidro-pneumático. Neste caso, a instalação é fixa e pode ser conjugada com a realização de um cais acostável.

Usando uma turbina de pás simétricas, a sua rotação é sempre no mesmo sentido seja qual for o sentido do fluxo de ar. A utilização de uma turbina reversível elimina a existência de quaisquer válvulas.

Carta do Eng. Fernando Abecassis,

17 de Novembro de 1974

«Tendo presente o esquema que idealizou e que me explicou, para a captação da energia das ondas do mar, aproveitando-a para produzir um escoamento alternado de ar que poderá mover uma turbina (sempre com o mesmo sentido de rotação), bem como uma «maquette» que realizou, venho comunicar-lhe que, na minha opinião, o sistema é engenhoso e tecnicamente exequível, embora nada possa afirmar sobre as suas características económicas. Estas, com efeito, além de dependerem da solução de problemas tecnológicos, que adiante referirei e que carecerão de longo estudo, mas que não se me afiguram de solução difícil, estarão também condicionadas pelas características da ondulação marítima (amplitudes e permanência) existentes no local da costa onde se pretenda instalar o sistema e pelas condições geomorfológicas desse mesmo local. Admito mesmo que o sistema se possa revelar de aplicação interessante em determinados locais e completamente inadequado noutros.

A meu ver, os problemas tecnológicos mais importantes a resolver são, por ordem de prioridade, os seguintes:

1.º — Viabilidade de accionar uma turbina a ar a partir de uma zona de alimentação onde as sobrepressões e as depressões, em relação à pressão atmosférica, serão necessariamente limitadas;

2.º — Realização de sistemas de admissão de ar na turbina, de ambos os lados do rotor, que funcionem satisfatoriamente quando percorridos pelo escoamento de ar em sentido contrário ao normal;

3.º — Obtenção de velocidade de rotação constante da turbina, como é exigido pela geração de corrente alternada de frequência constante (50 Hz), tendo em conta que aquela é accionada por um escoamento de ar de intensidade variável e de sentido alternado;

4.º — Avaliação do rendimento do sistema;

5.º — Estudo da configuração e demais características da câmara captora da energia das ondas, quer sob o ponto de vista de formas aerodinâmicas interiores, quer sob o ponto de vista da sua resistência à destruição por parte das ondas incidentes;

6.º — Avaliação do custo de uma instalação deste tipo.

Sendo enorme a energia das ondas do mar que se dissipa ao longo das costas, teria sem dúvida muito interesse a obtenção de um sistema que permitisse aproveitá-la em condições económicas».

Carta do Eng. Fernando Abecassis,

22 de Maio de 1975

«Junto lhe envio, finalmente, o estudo preliminar sobre a viabilidade económica do seu sistema para aproveitamento da energia das ondas do mar.

Peço-lhe que me desculpe a demora havida na sua conclusão, devida, por um lado, à extrema ocupação das pessoas que o levaram a cabo e, por outro, a duas ausências minhas em Espanha e na Suíça na quase totalidade das duas últimas semanas.

Os resultados do estudo são, como poderá ver, animadores. Com efeito, a energia transmitida pela onda, em ano médio, para a costa, na zona central da orla ocidental portuguesa é de $786,8 \times 10^6$ kWh por ano e por quilómetro. O custo da estrutura de construção civil, supondo-a adossada a um molhe existente, é da ordem dos 500 000 contos por quilómetro».

ESTUDO PRELIMINAR SOBRE A ENERGIA DAS ONDAS DO MAR.

ENERGIA TRANSMITIDA PARA A COSTA OESTE PORTUGUESA ASSOCIADA AO CLIMA MÉDIO DE AGITAÇÃO.

Eng.ºs I. B. MOTA OLIVEIRA e ANTÓNIO ROSA ENCARNÇÃO

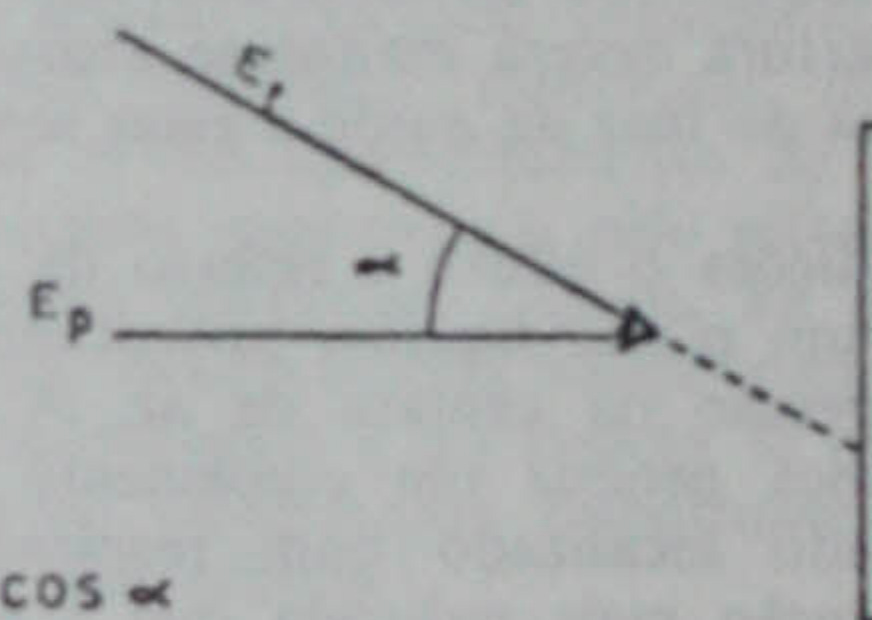
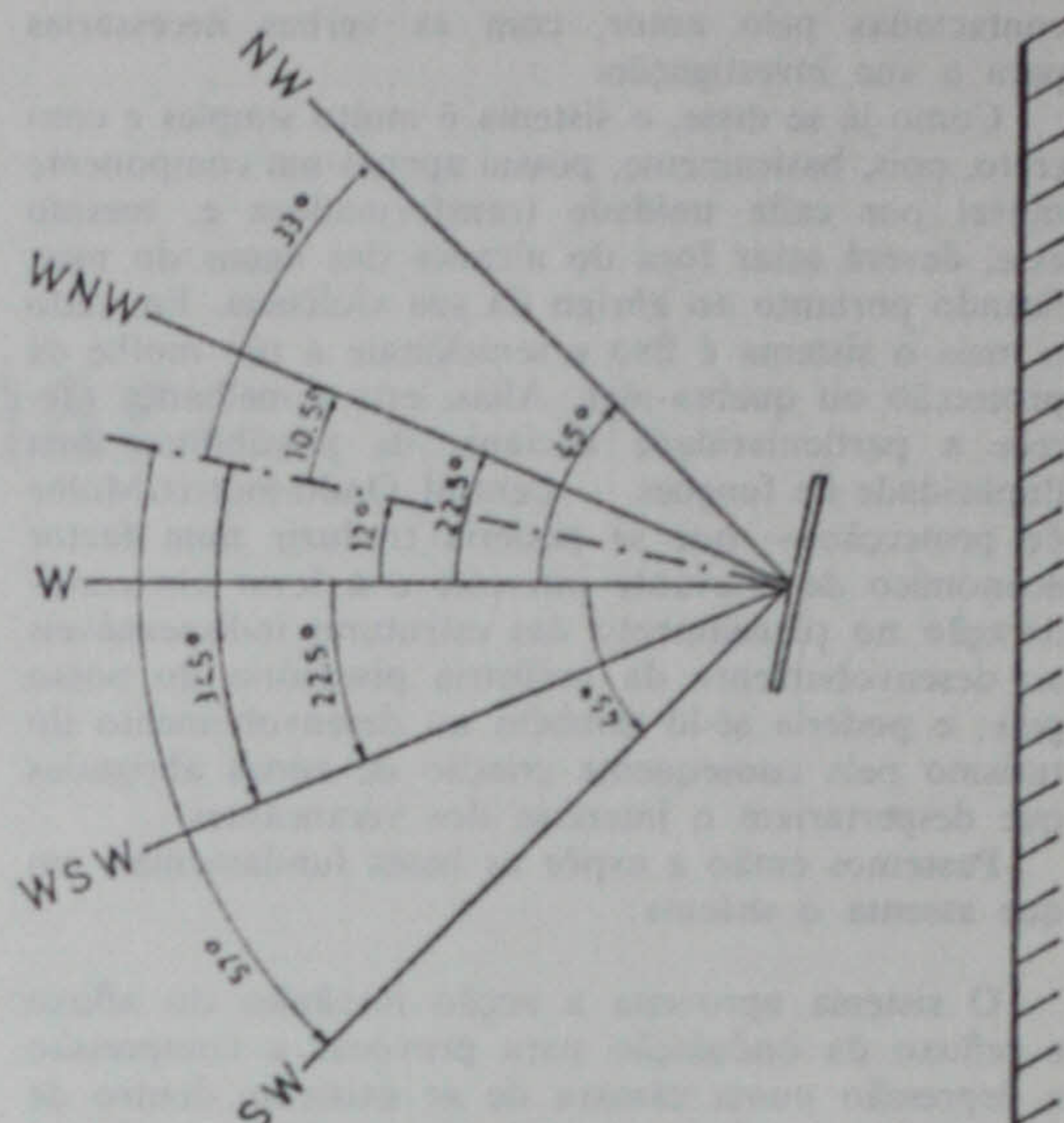
1. INTRODUÇÃO

Pretende-se determinar a energia que incide por unidade de comprimento da costa oeste portuguesa em ano médio.

Tem este estudo em vista proporcionar elementos para a análise da viabilidade económica dum dispositivo com que se pretende realizar o aproveitamento da energia das ondas do mar de origem eólica.

Admitiu-se que o referido dispositivo, que passará a ser aqui designado por central ondo-motriz, será implantado perpendicularmente ao rumo dominante.

Levou-se em conta o clima de agitação elaborado pelo LNEC a partir das observações realizadas na



$$E_p = E_t \cos \alpha$$

Fig. 1

Figueira da Foz durante alguns anos (1). Face a este clima, admitiu-se que a central seria implantada normalmente ao rumo W — 12º — N (Fig. 1).

A energia foi avaliada ao largo, ou seja, não foram considerados os efeitos de refração que conduzem à concentração da energia em determinados troços da costa em prejuízo doutros.

2. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Neste estudo foram utilizadas as seguintes expressões matemáticas, cuja justificação pode ser encontrada na literatura da especialidade.

— Componente da energia transmitida perpendicularmente à central

$$E_p = E_t \cdot \cos \alpha$$

onde E_t é a energia transmitida ao largo por unidade de comprimento de crista e α é o ângulo

(1) Reis de Carvalho, J.; Barceló, J. P. — «Agitação Marítima na Costa Oeste de Portugal Metropolitano», LNEC. Memória n.º 290.

da direcção de propagação de onda com a normal ao alinhamento da central (Fig. 1).

RUMO	α
NW	+ 33°
WNW	+ 10°,5
W	— 12°
WSW	— 34°,5
SW	— 57°

— Energia por comprimento de onda e metro de crista, ao largo

$$E = \gamma \frac{H^2 L_o}{8}$$

— Energia transmitida ao largo por período e por metro de crista

$$E_t = \frac{1}{2} E = \gamma \frac{H^2 L_o}{16}$$

— Potência transmitida ao largo por metro de crista

$$W_t = \gamma \frac{H^2 C_o}{16}$$

— Componente normal à obra, da potência transmitida ao largo por metro de crista

$$W_p = \gamma \frac{H^2 C_o}{16} \cdot \cos \alpha$$

Nestas expressões é:

- γ — peso específico da água do mar
 H — altura da onda
 C_o — celeridade da onda ao largo ($C_o = \frac{g}{2 \pi} T$ —
 $T = 1,56 T$)
 T — período da onda
 L_o — comprimento de onda ao largo

Da última expressão obtém-se, substituindo

$$W_p = \frac{1033}{16} \cdot H^2 C_o \cos \alpha \text{ kgm. s}^{-1}/\text{m}$$

O cálculo da energia transmitida em ano médio compreendeu portanto as seguintes fases:

- para cada «onda» do clima de agitação, caracterizada por uma altura H , um período T e um rumo ao largo, determinou-se o valor de $H^2 C_o \cos \alpha$;
- multiplicou-se cada um destes valores pela frequência característica da respectiva onda, avaliada em permilagem do tempo total de um ano;
- fez-se o somatório dos valores assim encontrados;
- multiplicou-se pelo tempo, em segundos, de um ano.

3. DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS

O clima de agitação da costa oeste de Portugal (Figueira da Foz) encontra-se discretizado no quadro seguinte. Os valores nele inscritos representam a probabilidade de ocorrência de cada «onda», em ano médio, avaliada em permilagem.

O cálculo dos valores de $H^2 C_o \cos \alpha$, por sua vez, encontra-se no quadro da página seguinte. Não foram consideradas as «ondas» de altura inferior a 1,00 m ou superior a 8,00 m, por se afigurar difícil o aproveitamento da sua energia.

Multiplicando os valores de $H^2 C_o \cos \alpha$ pela permilagem p associada à respectiva «onda» obteve-se o Quadro III.

Dele se conclui que o somatório dos valores $p.H^2 C_o \cos \alpha$ será

$$\sum p H^2 C_o \cos \alpha = 141997 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

A energia transmitida para a costa, perpendicularmente ao alinhamento da central será então, em ano médio e por metro:

$$E_p = 365 \text{ d} \times 86400 \text{ s. d}^{-1} \times \frac{1033}{16} \text{ kgf m}^{-3} \times 441997 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \times 10^{-3} = 289 \times 10^9 \text{ kgm/ano} \times \text{m.}$$

Sendo $1 \text{ kWh} = 0,3673 \times 10^6 \text{ kgm}$, vem ainda

$$E_p = \frac{289 \times 10^9}{3,673 \times 10^5} = 78,68 \times 10^4 \text{ kWh/ano médio.}$$

QUADRO I
CLIMA DE AGITAÇÃO
RUMOS AO LARGO

Alturas ao largo (m)	NW T(s)			WNW T(s)			W T(s)			WSW T(s)			SW T(s)		
	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14
0,5-1,0	13,0	2,5	2,5	31,7	19,8	0,5	22,8	14,4	0,8	2,0	1,7	0,1	1,1	1,6	0 = 114,5
1,0-2,0	19,3	24,8	1,9	67,3	82,6	3,1	37,8	48,6	3,6	6,7	10,1	2,2	2,1	4,9	0 = 315,0
2,0-3,0	8,0	24,0	6,1	23,3	101,4	12,3	18,7	51,5	7,8	4,2	12,1	2,7	0,6	5,1	0,6 = 278,4
3,0-4,0	6,1	17,9	8,0	3,5	38,3	16,2	2,0	21,2	5,8	0,6	5,5	1,4	0	4,1	1,0 = 131,6
4,0-6,0	1,9	15,8	19,8	0	12,4	20,1	0	7,6	7,7	0	3,8	4,5	0	3,1	1,1 = 97,8
6,0-8,0	0	2,8	17,1	0	1,7	6,6	0	2,3	3,7	0	1,7	2,5	—	—	— = 38,4
> 8,0	0	1,4	12,6	0	0,9	4,0	0	0,7	1,4	—	—	—	—	—	— = 21,0
Total	48,3	89,2	68,0	125,8	257,1	62,8	81,3	146,3	30,8	13,5	34,9	13,4	3,8	18,8	2,7 = Σ = 996,7

QUADRO II
VALORES DE $H^2 C_0 \cos \alpha$
RUMOS AO LARGO

Alturas ao longo (m)	Escalões	Média do escalão H	NW $\cos \alpha = 0,839$ T(s)			WNW $\cos \alpha = 0,983$ T(s)			W $\cos \alpha = 0,978$ T(s)			WSW $\cos \alpha = 0,824$ T(s)			SW $\cos \alpha = 0,545$ T(s)		
			8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)	8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)	8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)	8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)	8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)
1-2		1,5	23,56	32,39	41,23	27,60	37,95	48,31	27,47	37,76	48,06	23,13	31,82	40,50	15,30	21,04	26,78
2-3		2,5	65,44	89,98	114,52	76,67	105,44	134,19	76,31	104,88	133,50	64,25	88,38	112,50	42,50	58,44	74,38
3-4		3,5	128,27	176,37	224,47	150,28	206,66	263,01	149,57	205,56	261,66	125,93	173,22	220,50	83,30	114,54	145,78
4-6		5,0	261,77	359,93	458,09	306,70	421,75	536,75	305,25	419,50	534,00	257,00	353,50	450,00	170,00	233,75	297,50
6-8		7,0	513,07	705,46	897,86	601,12	826,63	1052,03	598,29	822,22	1046,64	503,72	692,86	882,00	333,20	458,15	583,10

QUADRO III
VALORES DE $pH^2 C_0 \cos \alpha$
RUMOS AO LARGO

Alturas ao longo (m)	Escalões	Média do escalão H	NW $\cos \alpha = 0,839$ T(s)			WNW $\cos \alpha = 0,983$ T(s)			W $\cos \alpha = 0,978$ T(s)			WSW $\cos \alpha = 0,824$ T(s)			SW $\cos \alpha = 0,545$ T(s)		
			8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)	8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)	8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)	8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)	8 $C_0 = 12,48$ (m/s)	11 $C_0 = 17,16$ (m/s)	14 $C_0 = 21,84$ (m/s)
1-2		1,5	454,71	803,3	78,34	1 857,48	3 134,67	149,76	1 038,37	1 835,14	173,02	154,97	321,38	89,10	32,13	103,10	0
2-3		2,5	523,50	2 159,5	698,57	1 786,41	10 691,62	1 650,54	1 427,00	5 401,32	1 041,30	269,85	1 069,40	303,75	25,50	298,04	44,63
3-4		3,5	782,40	3 157,00	1 795,76	525,98	7 915,08	4 260,76	299,14	4 357,87	1 517,63	75,56	952,71	308,70	0	469,61	145,78
4-6		5,0	497,40	5 686,9	9 070,18	0	5 229,70	10 788,68	0	3 188,20	4 111,80	0	1 343,30	2 025,00	0	724,62	327,25
6-8		7,0	2 258,01	1 975,3	15 353,4	0	1 405,27	6 943,40	0	1 891,11	3 872,57	0	1 177,86	2 205,00	—	—	—
					26 996,25		28 376,34	23 793,14	2 764,51	16 673,64	10 716,32	500,38	4 864,65	4 931,55	57,63	1 595,37	141 997,32

Resumindo: A energia transmitida para a costa oeste de Portugal normalmente a uma obra cujo eixo se oriente segundo o rumo W - 12º - N, será em ano médio:

$E_p. 1 = 78,68 \times 10^4 \text{ kWh por metro}$
 $E_p. 100 = 78,68 \times 10^6 \text{ kWh por hectómetro}$
 $E_p. 1000 = 786,8 \times 10^6 \text{ kWh por quilómetro}$

Como termo de comparação, refere-se que a energia produtível em ano médio pelo aproveitamento do Castelo do Bode é da ordem dos $300 \times 10^6 \text{ kWh}$.

INFRAESTRUTURA MARÍTIMA DUMA CENTRAL ONDO-MOTRIZ

Custos da construção civil

No Desenho 1 apresenta-se o corte das infraestruturas marítimas duma central ondo-motriz. Admitiu-se que a central:

- Será construída ao longo dum molhe ou quebra-mar já existente;

- Será fundada a cotas da ordem de (- 10,00 ZH) sobre uma almofada de enrocamento miúdo;
- Será construída em betão armado.

Para a solução esquematizada no Desenho 1, os volumes de trabalho e os custos de construção civil, a preços actuais, seriam então os seguintes, por metro:

Espécie	Quantidade de trabalho	Custo unitário (escudos)	Custo parcial (contos)
Betão armado	105 m ³	4 000	420
Enrocamento miúdo regularizado	20 m ³	400	8
T. O. T.	130 m ³	300	39
			467
Arredondamento			33
Total			500

Tem-se então:

- Custo por metro 500 contos
- Custo por quilómetro 500 000 contos

