

A UTILIZAÇÃO DE BLOCOS ARTIFICIAIS NOS MANTOS DE PROTECÇÃO DOS QUEBRAMARES DE TALUDE. A EXPERIÊNCIA ADQUIRIDA AO LONGO DO TEMPO

António Sanches do Valle

WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A.
Rotunda Nuno Rodrigues dos Santos, 1B – 10º, 2685-223 Portela LRS
sanchesvalle@wwsa.pt

RESUMO

O aspecto fundamental no predimensionamento em termos de estabilidade dos quebramares de talude é a determinação do peso dos blocos a aplicar no manto exterior de protecção. Tal predimensionamento é feito de uma forma semi-empírica através da utilização de fórmulas desenvolvidas a partir de:

- Considerações teóricas;
- Resultados de ensaios em modelo físico reduzido; e
- Experiência adquirida ao longo do tempo assente na observação e análise do comportamento de obras já construídas.

De referir que para tal predimensionamento continua a ser utilizada de uma forma generalizada a fórmula de Hudson (1959), a qual, apesar de ser criticável sob diversos aspectos, por não considerar diversos parâmetros fundamentais (período da onda, obliquidade de incidência, duração do temporal, etc.) continua a ter uma aceitação geral.

Após o aparecimento do tetrápodo (1950), muitos outros blocos artificiais foram sendo inventados e propostos. O objectivo comum ao desenvolvimento destes blocos é o de através de formas especiais garantir não só a estabilidade hidráulica como, em especial, reduzir o consumo de betão, o que se traduz numa economia relevante para a obra.

Apesar de, até à data, já terem sido inventados algumas dezenas de blocos, a maior parte deles nunca foram aplicados em qualquer obra, ou o foram em casos pontuais e muito específicos.

O acidente do molhe de Sines (Fevereiro de 1978) e, posteriormente, os acidentes registados nos molhes de San Ciprian (Espanha, 1979/1980), Arzew El Djedid (Argélia, 1981) e Tripoli (Líbia, 1981), provocaram uma intensa reflexão, através de estudos aprofundados sobre a vulnerabilidade intrínseca dos blocos artificiais, tendo-se verificado uma tendência para o retorno na utilização de blocos maciços, como por exemplo, os blocos cúbicos Antifer.

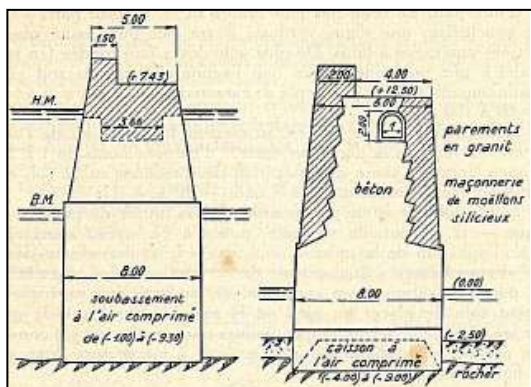
Entretanto, os aspectos económicos associados à construção de quebramares implantados em grandes profundidades e, cumulativamente, uma melhor caracterização do clima de agitação e a adopção de factores de segurança cada vez mais exigentes, o que tem conduzido à adopção de alturas de onda de projecto mais elevadas, levaram ao aparecimento de uma nova geração de blocos, como é o caso do Accropode (1980) que, de acordo com os estudos que têm sido realizados, poderão ser aplicados numa só camada.

Embora tal tipo de blocos, por serem colocados numa só camada, se traduza numa vantagem económica indiscutível, tem suscitado discussão e algumas críticas que, até prova cabal em contrário, não são de todo infundadas.

Assim, continua a haver um elevado número de incertezas, não só no que se refere ao dimensionamento e concepção dos quebramares de talude, e ao seu comportamento, as quais assentam também na escolha dos tipos de blocos artificiais a aplicar nos respectivos mantos exteriores de protecção.

1. INTRODUÇÃO

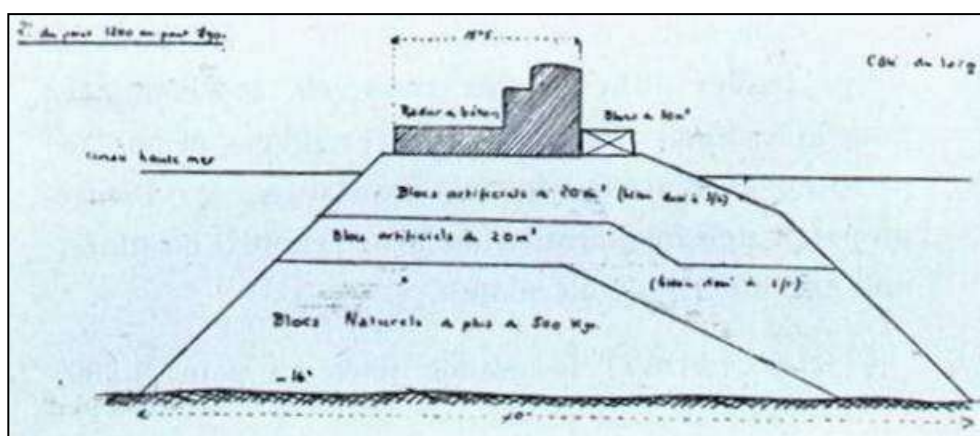
Historicamente, durante o século XIX e o princípio do século XX, os quebramares eram essencialmente obras verticais ou quebramares mistos – Figura 1.



Diques de Saint-Nazaire e Dieppe (França)



St Catherine's Breakwater (Inglaterra)



Jetée Moulay Youssef (Casablanca, Marrocos)

Figura 1 – Exemplos de quebramares verticais e mistos construídos no séc. XIX

Entre 1933 e 1955, em apenas três portos – Argel, Catânia e Génova – mais de 1500 m de quebramares deste tipo foram destruídos. Após estes acidentes passou a adoptar-se preferencialmente a solução de quebramares de talude, cujos primeiros fundamentos teóricos e construtivos começaram a ser desenvolvidos nos fins do século XIX.

Os quebramares de talude respondem, de uma forma quase geral, às exigências e condições da maior parte dos projectos, essencialmente devido aos seguintes aspectos:

- a necessidade de implantar tais obras em profundidades da ordem de -15,00 / -20,00 m(ZH), ou superiores, o que não acontecia anteriormente;
- a melhoria significativa das características e capacidades dos equipamentos utilizados na construção de quebramares, tanto equipamentos terrestres como, muito especialmente, equipamentos marítimos;
- a evolução das ferramentas e técnicas de estudo permitindo um melhor e mais aprofundado conhecimento do meio físico onde as obras são construídas, com especial relevância para a caracterização do clima de agitação;
- os resultados de numerosos estudos e investigações (um pouco) teóricas e (bastante) experimentais sobre o comportamento dos quebramares de talude sob a acção directa

das ondas, investigações que se traduziram no estabelecimento de fórmulas e de regras (muito) simples;

- a invenção de diversos tipos de **blocos artificiais** em betão, que garantem, através do respectivo imbricamento, condições de estabilidade do manto exterior de protecção dos quebramares de talude estabilidade idêntica à obtida com a utilização de enrocamentos e blocos paralelepípedicos de peso significativamente superior.

2. SURGIMENTO DOS BLOCOS ARTIFICIAIS EM BETÃO

A evolução da economia mundial no fim da Segunda Guerra Mundial (1939-1945) teve um forte impacto no sistema de transportes, com particular relevância no transporte marítimo. Cada vez mais foi necessário transportar de uma só vez maiores quantidades de matérias-primas, de produtos agro-alimentares e de produtos industriais, com menores custos de transporte.

Assim, verificou-se um crescendo na dimensão dos navios, tanto em comprimento como, muito especialmente, em termos de calado.

Para a recepção de navios com um calado cada vez maior, os portos tiveram que ser dotados de bacias portuárias com um maior tirante de água, incluindo os respectivos canais de acesso, o que obrigou a que as respectivas obras de abrigo (quebramares) fossem implantadas em maiores profundidades e, normalmente, em zonas mais expostas.

As novas, e mais exigentes, condições de implantação destas obras de abrigo, implicaram que estas ficassem mais expostas à agitação marítima e sujeitas a ondas de maior altura.

Consequentemente, como corolário da “evolução da dimensão dos navios *versus* condições de implantação dos quebramares de abrigo” tais obras de abrigo passaram a ser sujeitas a maiores solicitações devido à acção da agitação marítima incidente, com as consequentes maiores exigências em termos de estabilidade.

O agravamento das condições de solicitação a que os quebramares passaram a ser sujeitos confrontou os projectistas deste tipo de obras, bem como os donos de obra e as empresas construtoras, com a impossibilidade de utilização nos mantos exteriores de protecção (mantos resistentes) de blocos naturais (enrocamentos) com capacidade suficiente em termos de estabilidade. Efectivamente, não só o peso máximo de blocos de enrocamento é limitado em função das características das pedreiras disponíveis, com valores máximos, no caso de Portugal Continental, da ordem de 120 – 150 kN, como também a obtenção de quantidades importantes de blocos de maior peso é limitada, por melhor que seja a pedreira.

Perante esta situação de inexistência e/ou insuficiência de blocos naturais para responder às exigências impostas em termos de estabilidade dos mantos exteriores de protecção (mantos resistentes) dos quebramares, surgiu a necessidade de utilização de blocos artificiais em betão.

Os primeiros blocos artificiais em betão foram com a forma paralelepípedica ou cúbica, os quais começaram a ser utilizados nos fins dos anos 40 do século passado.

No entanto, na altura começaram a ser colocadas algumas reservas à utilização deste tipo de blocos devido às dúvidas sobre a durabilidade do betão e aos custos envolvidos. Por mera curiosidade histórica, reproduz-se na Figura 2 o que BLOSSET refere naquele que deve ser o primeiro manual editado sobre obras marítimas¹.

¹ M. BLOSSET. “Théorie et Pratique des Travaux à la Mer “. Éditions Eyrolles. 1949/1950

Pratiquement, il faudra tenir compte des dangers de tout béton à la mer ; de plus, la fabrication des blocs artificiels exigera un matériel et des matériaux qui n'existent pas pour le bloc naturel : chantiers de concassage, chantiers de bétonnage, chantiers de séchage, coffrages, sable, ciment, fers éventuellement...

En définitive, nous inclinons à la conclusion suivante : chaque fois que les carrières le permettront, on abandonnera le bloc artificiel au profit du bloc naturel, même à prix de revient supérieur...

En cas d'impossibilité, on se résoudra à fabriquer des blocs en béton en prenant *a priori* comme dimensions :

Pour 10 m ³	3 m. 10 × 2 m. 20 × 1 m. 50 (Marseille);
Pour 20 m ³	4 m. × 2 m. 50 × 2 m. (Algérie);
Pour 40 m ³	5 m. 50 × 2 m. 90 × 2 m. 50 (Maroc),

en ayant soin de placer la grande dimension parallèlement à la houle et de prévoir, pour le soubassement en enrochements, une large risberme horizontale (fig. 126) permettant la pose des blocs de revêtement dans les meilleures conditions de stabilité possibles.

Malgré leurs dangers de décomposition, les blocs artificiels présentent certaines commodités, telles que de constituer facilement une assise supérieure horizontale sur laquelle pourront être posés les rails de l'engin de pose à l'avancement (grue basse ou titan à portique) ou tout au moins au-dessus de laquelle pourra être confectionnée à la marée, entre coffrages — par tronçons de 5 à 8 m. et après tassements —, une dalle fortement armaturée, recevant les voies de roulement

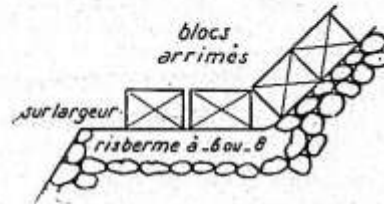


FIG. 126. — Pose des blocs artificiels (risberme).

Figura 2 - Extracto de “Théorie et Pratique des Travaux à la Mer“ [Blosset]

À data, com base na bibliografia consultada, o maior peso de blocos de betão (paralelepípedicos) aplicados em obras eram blocos de 100 t e, curiosamente, foram em Marrocos – Figura 3.



Figura 3 - Jetée Moulay Youssef (Casablanca, Marrocos). Blocos de 100 t

Dado o consumo de betão, e os custos envolvidos, na prefabricação de blocos paralelepípedicos, cujo comportamento em termos de estabilidade era unicamente devido ao seu peso próprio, diversas entidades, particularmente empresas e laboratórios especializados no domínio da Hidráulica Marítima, começaram a “inventar” e a estudar formas variadas

alternativas de blocos artificiais em betão. Tais tipos de blocos, cujo princípio de funcionamento e de comportamento já não se baseava exclusivamente no peso próprio, mas reflectiam não só as respectivas características de imbricamento entre eles e um aumento da porosidade do manto. Se, por um lado, o aumento da porosidade do manto resistente, se traduz numa maior capacidade de dissipação da energia das ondas incidentes, por outro, o efeito de imbricamento entre blocos melhorava as condições de estabilidade do manto e, ambos, conduziam a uma redução do peso unitário dos blocos, com relevante economia para as obras.

Na sequência, do esforço de investigação neste domínio, surge em 1950 o primeiro bloco artificial com uma forma "evoluída", que foi o Tetrápodo, inventado pela SOTRAMER (actualmente, SOGREAH) – Figura 4.

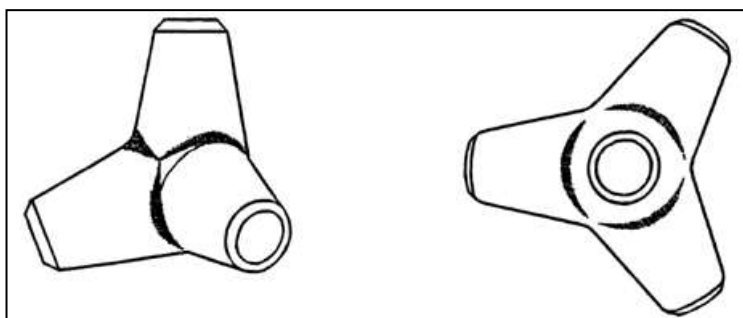


Figura 4 - Tetrápodo

O princípio de funcionamento dos tetrápodos combina a resistência estrutural associada ao seu peso próprio com a capacidade de interligação com os elementos adjacentes e uma porosidade do manto da ordem de 50%.

A primeira utilização de tetrápodos foi em 1950 na obra de protecção da tomada de água no mar da Central Térmica de Casablanca (Marrocos).

Pode-se afirmar que as primeiras utilizações de tetrápodos foram um sucesso, técnico e económico, e desde aí este bloco foi largamente difundido por todo o mundo.

Efectivamente, como refere PITA² o tetrápodo como bloco artificial respondia cabalmente aos objectivos definidos sob o ponto de vista hidráulico:

- “- É estável sob a acção das ondas, com o menor peso possível (ou ainda no caso de blocos de betão, com o menor volume total de betão possível),*
- Dissipa a energia das ondas, reduzindo as velocidades das partículas de água no manto resistente e, portanto, reduz o espraiamento.”*

Depois do aparecimento do tetrápodo, e do seu sucesso, ao longo dos anos largas dezenas de outros tipos de blocos foram sendo “inventados”, sendo que a grande maioria ou teve raras aplicações ou nunca passaram de protótipo – Figura 5.

Na Figura 6 indicam-se a cronologia dos blocos artificiais mais conhecidos, isto é, com uma maior aplicação ao longo dos anos, incluindo o caso negativo dos dolos, como se destacará a seguir.

² PITA, Carlos. “Dimensionamento Hidráulico do Manto Resistente de Quebra-mares de Talude”. Boletim de Informação Técnica (Lisboa), nº 37 (2º trimestre). 1985

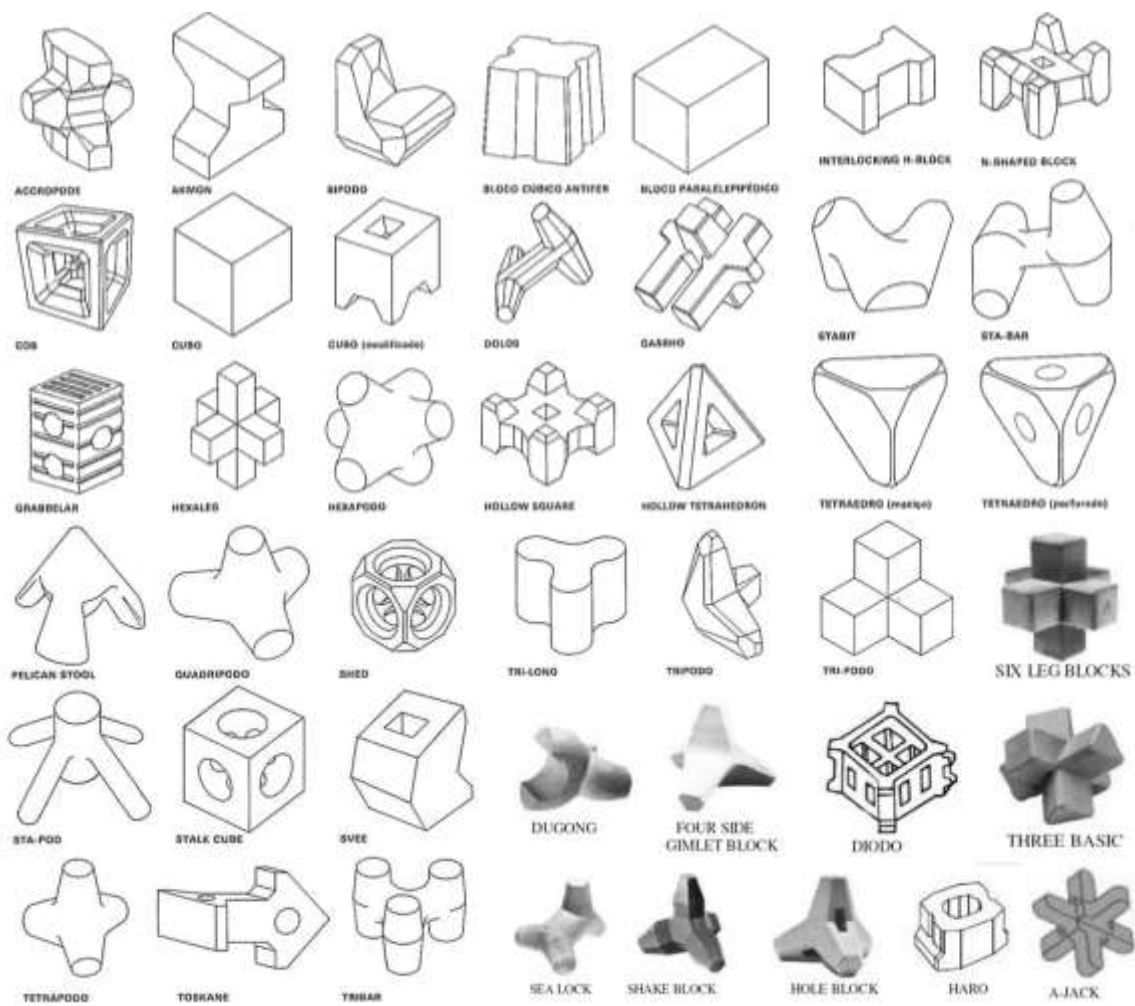


Figura 5 – Diferentes tipos de blocos artificiais de betão (não exaustivo)

	Name armour unit	Year of Introduction	Country
	Cube	-	-
	Tetrapode	1950	France
	Tribar	1958	USA
	Modified cube	1959	USA
	Stabit	1961	United Kingdom
	Akmon	1962	Netherlands
	Tripod	1962	Netherlands
	Dolos	1963	South Africa
	Cob	1969	United Kingdom
	Antifer Cube	1973	France
	Seabee	1978	Australia
	Accropode®	1980	France
	Shed	1982	United Kingdom

	Name armour unit	Year of Introduction	Country
	Haro	1984	Belgium
	Core-loc®	1995	USA
	A-Jack®	1996	USA
	Diahtis	1998	Ireland
	Ecopode®	2000	France
	Xbloc®	2003	Netherlands
	Accropode II®	2004	France
	Core-loc II®	2006	USA

Note: Accropode® and Ecopode® are registered trademarks of Soprinah. Core-loc® is a registered trademark of the US government.

Fonte: DELTA MARINE CONSULTANTS

Figura 6 – Cronologia dos blocos artificiais com mais larga aplicação

3. DIMENSIONAMENTO DO MANTOS RESISTENTE DE QUEBRAMARES DE TALUDES

Apesar da grande evolução técnica e científica registada nas últimas décadas no domínio da Hidráulica Marítima e, conseqüentemente, na concepção das obras marítimas, incluindo a investigação que tem sido feita com o recurso à modelação matemática, a instalações de ensaio laboratoriais e à monitorização de obras construídas, o dimensionamento dos mantos resistentes (mantos exteriores de protecção) de um quebramar de taludes ainda é feito de um modo semi-empírico, dado basear-se em fórmulas deduzidas a partir de considerações teóricas, em resultados de ensaios em modelo reduzido e na experiência que tem sido adquirida.

De referir que as principais instabilizações e danos de um quebramar estão associados, normal e preferencialmente, à degradação do respectivo manto resistente

Por outro lado, a limitação principal do dimensionamento de um quebramar está associada à dificuldade de um conhecimento rigoroso do ambiente marítimo envolvente, dado que:

- A agitação marítima incidente sobre a obra, que é a solicitação mais severa e gravosa, depende e varia com o carácter aleatório das condições meteorológicas que estão associadas à respectiva geração;
- As condições meteorológicas geradoras da agitação marítima actuam sobre extensas e longínquas áreas marítimas, pelo que se torna difícil proceder à sua precisa identificação e caracterização;
- Às incertezas associadas à aleatoriedade da caracterização de um clima de agitação, acrescem também as imprecisões e riscos de erro inerentes às limitações das ferramentas disponíveis para recolha/medição de dados na natureza e dos meios de estudo disponíveis (limitações das bóias ondógrafo, curta duração das séries temporais de registo de dados, dificuldades de interpretação, etc.).

Até 1933 o dimensionamento dos quebramares de talude, isto é, dos seus mantos resistentes, baseava-se apenas na experiência, sensibilidade e intuição do projectista. Nesse ano surgiu a primeira fórmula, ainda que incipiente, para o dimensionamento dos blocos do manto de um quebramar, a qual foi proposta pelo espanhol CASTRO.

No entanto, em 1938, IRIBARREN desenvolveu um primeiro trabalho que se poderá classificar como consistente, com base no qual foi deduzida e proposta uma fórmula para determinação do peso dos blocos que teve uma aceitação geral. De notar que até 1950 apenas se utilizavam, nos mantos resistentes, enrocamentos seleccionados e blocos cúbicos e paralelepípedicos em betão, pelo que os trabalhos desenvolvidos por IRIBARREN não tomaram em consideração o tipo de bloco, apenas propondo uma constante que variava consoante o bloco era de enrocamento ou de betão.

A partir de 1950, com o aparecimento do Tetrápodo, e face às limitações detectadas relativamente à fórmula de IRIBARREN, inicia-se uma nova fase de investigação sobre a estabilidade de quebramares, o que conduziu à proposta de novas fórmulas de cálculo que integravam, entre outros parâmetros e para além da altura da onda de projecto, o tipo e características do bloco, o peso específico do material constituinte, a inclinação do talude, a forma de colocação dos blocos.

De todas as fórmulas que foram surgindo, foi a fórmula de HUDSON (1958) aquela que mereceu uma aceitação geral, sendo ainda hoje a fórmula mais utilizada pelos projectistas:

$$W_r = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cotg \alpha}$$

em que

H - altura da onda incidente

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_w}$$

γ_r – peso específico do material constituinte do bloco

γ_w – peso específico da água do mar

K_D – Coeficiente de estabilidade do bloco, função da forma e localização do bloco (perfil corrente/tronco ou cabeça)

α – Inclinação do talude

Há no entanto que reconhecer que esta fórmula apresenta também muitas limitações dado que não leva em linha de conta diversos parâmetros e factores fundamentais no comportamento da obra, entre os quais se podem destacar os seguintes:

- Factor tempo (instantâneo e aceleração) associado ao impacto das ondas;
- Duração e sequência das tempestades
- Variedade das alturas de ondas presentes num mesmo estado de agitação;
- Período das ondas incidentes;
- Tipo de rebentação da onda sobre a obra;
- Velocidade ascendente e descendente da lâmina de água resultante do espriamento da onda sobre o talude da obra;
- Pressões hidrostáticas das camadas e maciços interiores, etc.

Apesar de tais limitações é incontornável, e mesmo incontestável, que passado mais de meio século após o estabelecimento desta fórmula, que é a partir dela que é possível determinar com uma melhor aproximação o peso dos blocos do manto resistente de um quebramar de taludes necessário para resistir a um determinado estado de agitação marítima.

No entanto, como a experiência ao longo dos anos tem sobejamente comprovado, a aplicação desta fórmula deverá limitar-se à fase de predimensionamento de uma obra, sendo sempre mais do que recomendável recorrer a outras vias (especialmente, a ensaios em modelo reduzido) para o dimensionamento e concepção final da obra.

4. UMA DATA MARCANTE – FEVEREIRO DE 1978 (SINES)

Infelizmente Portugal está associado de uma forma bastante negativa à história dos quebramares e aos blocos artificiais em betão.

Efectivamente em Fevereiro de 1978 o grave acidente registado no molhe Oeste de Sines, onde haviam sido aplicados Dolos de 42 t alertou a comunidade científica internacional para a necessidade de repensar diversos aspectos associados ao desenvolvimento e utilização de blocos artificiais nos mantos resistentes dos quebramares, designadamente no que se refere à correlação entre a respectiva robustez intrínseca e a estabilidade global e comportamento hidráulico do manto resistente. Efectivamente, o acidente de Sines demonstrou a importância de um aspecto que até à data tinha sido praticamente ignorado, que era a vulnerabilidade estrutural dos blocos artificiais de betão.

Os ensinamentos retirados deste acidente, tendo em conta que até à data não só os Dolos como outros tipos de blocos menos compactos eram amplamente valorizados e promovidos pelo facto de conduzirem a relevantes economias no consume de betão, levaram a que se repensasse, para não dizer que terá havido um relativo retrocesso, a forma dos blocos artificiais de forma a poderem garantir as seguintes exigências em termos da economia global da obra, quer a nível do primeiro investimento como, muito especialmente, ao longo da sua vida útil:

- Robustez e integridade ao longo do tempo
- Estabilidade
- Simplicidade de fabricação
- Facilidade e rapidez de aplicação
- Durabilidade

Para além do acidente de Sines, outros houve também recentemente. Na figura a seguir (Figura 7) referem-se alguns dos acidentes mais significativos bem como se indicam as principais causas apuradas:

QUEBRAMAR	TIPO DE BLOCO / PESO UNITÁRIO	DATA DO ACIDENTE
ARZEW EL DJEDID (Argélia)	Tetrápodos 48 t	1981
BILBAO (Espanha)	Blocos paralelepípedicos 85 t	1976
SAN CIPRIAN (Espanha)	Dolos 50 t	1979 / 1980
SINES (Portugal)	Dolos 42 t	1978
TRIPOLI (Líbia)	Tetrápodos 18 t	1981

QUEBRAMAR	ARZEW EL DJEDID (Argélia)	BILBAO (Espanha)	SAN CIPRIAN (Espanha)	SINES (Portugal)	TRIPOLI (Líbia)
CAUSAS					
Dados da agitação marítima incorrectos	X	X	X	X	X
Modelo hidráulico incorrecto	X	X	X	X	X
Manto constituído por blocos de peso insuficiente ou bastante frágeis	X	X	X	X	X
Núcleo e submantos incorrectos	(X)				
Condições de fundação do manto resistente incorrectas	(X)				
Muro cortina instável	X	X		X	X
Incorrecções a nível construtivo	(X)		(X)		

X – Causas comprovadas
(X) – Causas plausíveis

Fonte: PER BRUUN

Figura 7 – Acidentes recentes e significativos em quebramares de taludes e respectivas causas

De notar que os principais danos registados em quebramares de taludes ocorrem nos respectivos mantos resistentes devido a diversas causas sendo uma das principais a insuficiência e/ou incorrecção dos dados relativos à agitação marítima.

5. EVOLUÇÃO RECENTE E ALGUMAS OPÇÕES ACTUAIS

Na sequência dos acidentes registados em quebramares de talude, com particular relevância o do molhe Oeste de Sines, concluiu-se que os blocos com uma forma complexa, embora garantindo uma maior interligação entre blocos não respondiam plena e satisfatoriamente às exigências necessárias para garantir, em condições económicas adequadas, a durabilidade das obras. Efectivamente a utilização de alguns tipos de blocos de forma complexa implicava não só custos importantes, dado ser necessária a utilização de armaduras a partir de uma certa dimensão dos blocos, como tais blocos, mesmo assim, continuavam a patentear uma relativa fragilidade o que comprometia a estabilidade e a durabilidade do manto resistente.

Pode-se afirmar, a título metafórico, que passou de um estado de “euforia”, devido à economia de betão e, conseqüentemente, do investimento na construção de quebramares, associada a determinadas formas complexas de blocos para um estado de “depressão”, face aos custos efectivos, directos e indirectos, e muito significativos, que os acidentes registados em quebramares de talude acarretaram.

Assim, numa primeira fase, verificou-se uma grande tendência para a adopção de blocos maciços e bastante robustos, como é o caso particular dos blocos cúbicos ranhurados, também designados por blocos Antifer.

Nas últimas duas décadas, paradoxalmente também devido à recessão económica internacional, que tem implicado a necessidade de contenção nos custos de investimento, parece que o estado de “depressão” a que atrás foi feita referência se tem vindo a dissipar em termos técnicos ligados à promoção de novos tipos de blocos, apontados como conducentes a uma economia na construção de quebramares de talude.

Efectivamente, tal alteração resulta do desenvolvimento e apresentação pela SOGREAH, em 1980, do bloco designado por “Accropode” que, contrariamente aos outros tipos de blocos, é indicado para ser aplicado no manto resistente dos quebramares de talude numa única camada. Entretanto, e posteriormente, face à perspectiva “inovadora” de adopção em mantos resistentes de uma só camada de blocos, outros tipos de blocos têm sido propostos (Figura 8).



Figura 8 – Exemplos de blocos em que se preconiza a respectiva aplicação numa camada única

Com base nos ensaios laboratoriais realizados para alguns destes tipos de blocos foram estabelecidos e propostos os valores a adoptar para o coeficiente de estabilidade (K_D) a utilizar na aplicação da fórmula de HUDSON que constam da figura seguinte – Figura 9.

Os aspectos económicos resultantes da utilização desta “nova geração” de blocos tem sido amplamente divulgada pelos respectivos promotores, relativamente a diversos projectos concretos, conforme se testemunha nos quadros apresentados na Figura 10.

Zona do quebramar	Tipo de bloco	Número de camadas	Inclinação do talude	K_D
Perfil corrente	Cubo	2	3/2	6,0
	Tetrapodo	2	3/2	7,0
	Accropode	1	4/3	15,0
	X-bloc	1	3/2	16,0
	Cubipodo	1	3/2	12,0
2		3/2	28,0	
Cabeça	Cubo	2	3/2	5,0
	Tetrapodo	2	3/2	5,0
	Accropode	1	4/3	11,5
	Cubipodo	2	3/2	7,0

K_D	DOMMAGES (en %)			
	0 - 1	1 - 5	5 - 10	- 20
Type de blocs				
Enrochements naturels (1)	3,2	5,1	7,2	9,5
Blocs cubiques (2)	8	13	18	24
Tetrapodes (3)	8,3			
Accropodes (R) (3)	10			
Dolos (4)	22 - 30			

- (1) Valeurs obtenues par Hudson et utilisées dans l'interprétation des essais L.N.H.
(2) Valeurs déduites par analogie avec le comportement des enrochements naturels à partir de la valeur à dommages nuis et utilisées dans l'interprétation des essais L.N.H.
(3) Valeurs fournies par SOGREAH
(4) Valeurs fournies par le C.E.R.C.

Fonte: « Surveillance, auscultation et entretien des ouvrages maritimes. Fascicule 4 : Digues à talus et digues mixtes ». Notice PM n° 02.01. Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales (France)

Figura 9 – Coeficiente de estabilidade (K_D) a utilizar na aplicação da fórmula de HUDSON para diferentes tipos de blocos

Costs for different types of armour (Macao Airport Project, Sogreah, 2000)

Type of armour	Stability coefficient K_D	Slope	Total costs*
Tetrapod	9	1:1.5	91%
Antifer Cube	7.5	1:1.5	100%
Accropode	12	1:1.33	57%
Core-Loc	16	1:1.33	51%

*as compared to Antifer Cube design

Coûts des différents types de blocs comparativement avec les Core-loc

Core-loc	Accropode	Dolos	Tétrapode	Cube
100%	123%	135%	235%	247%

Comparaison des différents types de blocs pour la même houle de projet
(Cas du Port St Francis)

Unit	Poids (t)	Volume total de béton (t)	Rapport du volume total de béton (%)	Houle de projet (m)	3-D Image
Core-loc	15.0	12 000	100%	7.1	
Accropode	20.0	14 400	120%	7.1	
Dolos	15.0	17 800	148%	7.1	
Tétrapode	34.3	29 400	245%	7.1	
Cube	34.3	33 000	275%	7.1	

Figura 10 – Avaliação comparativa dos custos de utilização de diversos tipos de blocos

Os projectos realizados nos últimos anos em que se utilizaram este tipo de blocos, nomeadamente o Accropode, têm demonstrado, como é evidente, uma inequívoca vantagem económica da respectiva aplicação numa só camada.

No entanto, muitos investigadores e técnicos especializados em obras marítimas, têm apresentado algumas reservas à adopção de uma só camada nos mantos resistentes, independentemente do tipo de bloco utilizado, particularmente durante a vida útil da obra (50 a 100 anos), as quais não se podem considerar de todo infundadas, apesar de ainda não se ter registado nenhum acidente significativo em quebra-mares em que tal metodologia e opção foi adoptada. Sem se pretender ser pessimista, ou “agoirento”, também se pode referir que tais projectos ainda se podem considerar como recentes...

Relativamente a tais reservas apresenta-se na figura seguinte (Figura 11) alguns valores que traduzem a sensibilidade do tipo de blocos utilizados no manto resistente de um quebra-mar de taludes em função da altura de onda de dimensionamento através da relação entre a altura de onda que conduz à ruína da obra e aquela que provoca danos moderados.

TIPO DE BLOCO	$\frac{H_{\text{ruína}}}{H_{\text{danos moderados}}}$
	Enrocamentos
Cubos ranhurados	1,5
Tetrápodos	1,4
Dolos	1,15
Accropodes	1,1

Fonte : « Surveillance, auscultation et entretien des ouvrages maritimes. Fascicule 4 : Digue à talus et digues mixtes ». Notice PM n° 02.01. Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (France)

Figura 11 – Sensibilidade de alguns tipos de blocos utilizados no manto resistente de um quebra-mar de taludes em função da altura de onda de dimensionamento

Da análise do quadro precedente pode concluir-se que, regra geral, quanto mais eficiente um bloco for sob o ponto de vista hidráulico, menor é a segurança global da obra. Igualmente, tal segurança se reduz se se aplicarem os blocos numa só camada em vez de se adoptarem duas camadas.

Ainda relativamente à adopção num manto resistente de uma só camada de blocos várias questões se têm colocado, entre as quais podem referir-se as seguintes:

- Qual deverão ser as “regras de filtro” a considerar na definição e dimensionamento dos submantos e do próprio núcleo do quebra-mar? Efectivamente nas interfaces entre o manto resistentes e os submantos registam-se fluxos internos mais intensos no caso de aquele ser constituído por uma única camada
- Qual será o comportamento futuro dos blocos colocados numa só camada, e, conseqüentemente, do próprio manto, face ao desgaste progressivo dos blocos (normalmente, tal desgaste provoca o arredondamento dos blocos), já para não falar da ocorrência de possíveis fracturas?

Assim, continua a haver um elevado número de incertezas, não só no que se refere ao dimensionamento e concepção dos quebra-mares de talude, e ao seu comportamento, as quais assentam também na escolha dos tipos de blocos artificiais a aplicar nos respectivos mantos exteriores de protecção, as quais constituem um verdadeiro desafio, presente e futuro, para os investigadores e projectistas de obras marítimas.