

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE AO  
DESPRENDIMENTO DE BLOCOS ROCHOSOS NAS  
ARRIBAS DA ORLA COSTEIRA DO ALGARVE:  
APLICAÇÃO DO MÉTODO *ROCK ENGINEERING*  
*SYSTEM* (RES)

José Viegas

ISE-UAlg, [jviegas@ualg.pt](mailto:jviegas@ualg.pt)

Luís Andrade Pais

UBI, [ljap@ubi.pt](mailto:ljap@ubi.pt)

## Objetivo

Analisar a instabilidade potencial das arribas rochosas da orla costeira do Algarve, cuja morfodinâmica natural se processa através de eventos de movimentos de massa intermitentes e descontínuos, aplicando para tal o método *Rock Engineering System* – RES (Hudson, 1992).

O trabalho realizado consistiu na:

- Identificação dos parâmetros que desempenham um papel mais relevante no comportamento das arribas;
- Quantificação das interações binárias e do coeficiente de ponderação dos parâmetros principais;
- Cálculo do índice de instabilidade.

## Introdução

A erosão das zonas costeiras alcantiladas dá lugar a desintegração granular, descompressão, desarticulação e eventos de instabilidade por movimentos de massa, os quais podem acarretar um risco elevado para os utentes das praias.

A incidência espacial e a severidade destes eventos é controlada pela:

- morfologia;
- propriedades geomecânicas dos maciços rochosos;
- e interações com as condições ambientais.





Área de estudo situa-se no litoral rochoso do Barlavento Algarvio, entre a Praia do Porto de Mós e a Praia dos Olhos de Água, com uma extensão de cerca de 46 km de arribas, cuja altura pode atingir os 40 m.

As arribas rochosas deste setor da orla costeira expõem, maioritariamente, a Formação Carbonatada de Lagos-Portimão, de idade Miocénica, constituída por intercalações de calcarenitos fossilíferos, calcarenitos finos, calcários cristalinos e siltitos, fortemente carsificados.



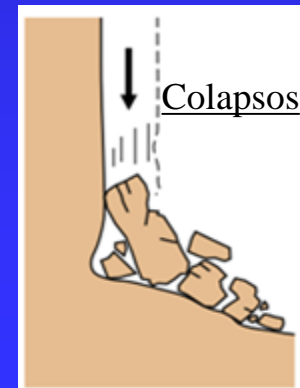
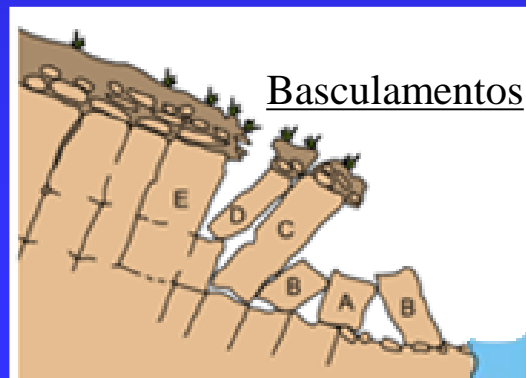
## Traçado da linha de costa nas formações carbonatadas, muito recortado



Dados da Agência Portuguesa do Ambiente (Teixeira, 2014): entre julho de 1995 e junho de 2014, registaram-se 244 roturas, com a uma frequência média de 13 eventos/ano (mínimo de 2 e um máximo de 42 eventos/ano).

### Tipologia dos movimentos:

- 63% correspondem a quedas ou desprendimentos;
- 21% são basculamentos;
- 16 % correspondem a colapsos em cavidades cársticas.







Quedas de blocos



Colapsos



Basculamentos:



Basculamentos:



Basculamentos:





## Promontório da Sra da Rocha, Lagoa





Os movimentos de magnitude (volume) elevada, suscetíveis de provocar recuos instantâneos da linha de costa da ordem da dezena de metros, apresentam uma baixa frequência de ocorrência.

Os desprendimentos de pequenos blocos rochosos, decimétricos e de difícil identificação, apresentam frequências relativamente elevadas.

Cerca de 83% das roturas ocorreram durante a estação húmida (novembro a abril), mostrando uma clara sazonalidade.

Maioritariamente, têm como fator desencadeante as tempestades marítimas (com altura significativa  $> 2.5$  m) ou precipitações diárias superiores a 10 mm.

No entanto, podem ocorrer roturas durante o período estival, sem que a sua ocorrência esteja explicitamente ligada a qualquer solicitação desencadeante de natureza meteorológica extrema.

Nestes casos, a rotura deve-se à degradação progressiva dos maciços rochosos expostos, por processos sucessivos de molhagem/secagem, variações térmicas, infraescavação e descompressão, sendo difícil identificar o processo predominante no desencadear da rotura.

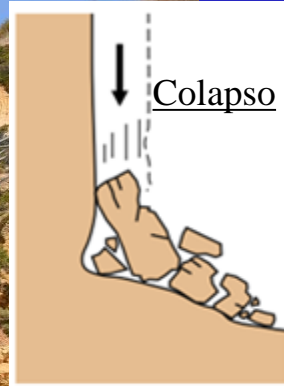


Degradação progressiva por processos sucessivos de molhagem/secagem (jun/2014)





Arriba do lado nascente da Praia Maria Luísa, em Albufeira



## Metodologia

Com base no reconhecimento de campo, ensaios *in situ* e laboratoriais, análises cinemáticas, retroanálises e auscultação da opinião de especialistas, foram considerados 10 parâmetros principais, aos quais se juntou o histórico de eventos de instabilidade, perfazendo um total de 11 parâmetros:

- **P1** - altura da arriba;
- **P2** - inclinação da arriba;
- **P3** - variação vertical de fácies/estratigrafia e litologia;
- **P4** - resistência à compressão uniaxial da matriz rochosa;
- **P5** - alteração e dissolução cárstica;



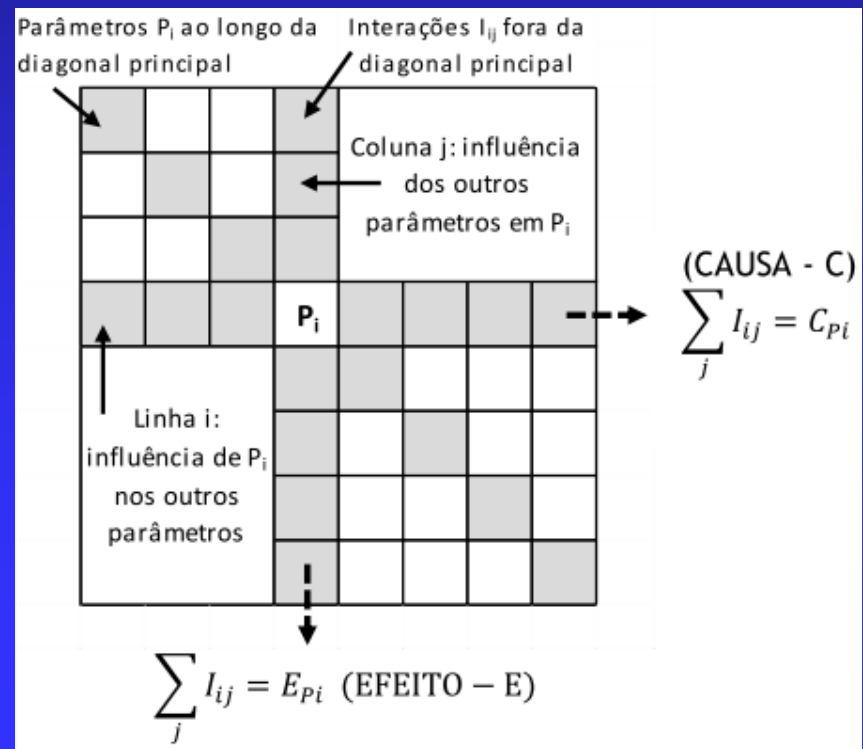
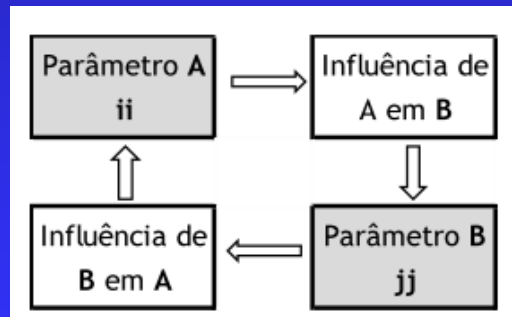
## Parâmetros principais (continuação) :

- **P6** - número de famílias e espaçamento das descontinuidades;
- **P7** - condição das descontinuidades: persistência, rugosidade, abertura e enchimento;
- **P8** - orientação das descontinuidades relativamente à orientação da face da arriba;
- **P9** - presença de água subterrânea;
- **P10** - exposição às ondas;
- **P11** - histórico de eventos de instabilidade.

## Aplicação do método *Rock Engineering System* (RES)

Os parâmetros considerados principais foram colocados numa forma matricial, na diagonal principal, ficando os termos fora da diagonal principal reservados para a consideração das interações existentes.

A influência que um parâmetro  $P_i$  exerce sobre o sistema é designada por *causa* (C), a influência que o sistema tem sobre  $P_i$  é designada por *efeito* (E).





P1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
3	P2	0	0	0	0	0	0	1	0	3
1	3	P3	4	3	2	2	0	2	0	4
1	2	0	P4	0	1	1	0	0	0	2
3	2	0	4	P5	3	1	0	2	0	4
3	3	0	2	4	P6	0	0	2	0	3
1	3	0	1	2	0	P7	0	4	0	3
3	3	0	0	2	0	0	P8	2	0	4
1	1	0	3	4	0	1	0	P9	0	3
1	4	0	3	3	1	1	0	1	P10	3
4	4	0	0	0	1	0	0	1	3	P11

## Parte superior esquerda da matriz de interações 11×11

Intensidade de Interação:

0	1	2	3	4
---	---	---	---	---

<b>P1- Altura da arriba</b>	Quando a altura da arriba aumenta, a inclinação estável diminui	Sem interação	Sem interação	Sem interação	Sem interação
Nas arribas subverticais ou com inclinação negativa, a altura estável diminui	<b>P2 - Inclinação da arriba</b>	Sem interação	Sem interação	Sem interação	Sem interação
A variação vertical de fácies condiciona a altura estável	O perfil transversal da arriba varia em função da fácies geológica	<b>P3 - Variação vertical de fácies</b>	Diferentes fácies geológicas têm diferente resistência à compressão uniaxial	A fácies geológica condiciona a alteração e dissolução cársica dos maciços	O número famílias de descontinuidade e o seu espaçamento variam em função da fácies geológica
Nos materiais brandos a altura estável da arriba diminui	Nos materiais brandos a inclinação estável da arriba diminui	Sem interação	<b>P4 - Resistência à compressão uniaxial da matriz rochosa</b>	Sem interação	Rochas brandas podem apresentar mais descontinuidades induzidas
Nos maciços com um grau de alteração elevado e/ou a presença de algares, a altura estável diminui	Nos maciços com um grau de alteração elevado e/ou a presença de algares, a inclinação estável diminui	Sem interação	A alteração diminui a resistência à compressão uniaxial da matriz rochosa	<b>P5 - Alteração e dissolução cársica</b>	Os processos de alteração e dissolução cársica podem gerar descontinuidades secundárias
Nos maciços muito compartimentados a altura estável diminui	Nos maciços muito compartimentados a inclinação estável diminui	Sem interação	Nos maciços muito compartimentados a resistência da matriz rocha diminui	Aumentam a permeabilidade e o fluxo de água, favorecendo a alteração e dissolução cársica	<b>P6 - Número de famílias e espaçamento das descontinuidades</b>

0 - Sem interação;  
1 - Interação fraca;  
2 - Interação média;  
3 - Interação forte;  
4 - Interação crítica.

A codificação da matriz de interações 11×11 foi feita quantificando a intensidade de cada interação de forma determinística, com valores numéricos que variaram entre 0 e 4: *i)* 0 - sem interação; *ii)* 1 - interação fraca; *iii)* 2 - interação média; *iv)* 3 - interação forte; *v)* 4 - interação crítica.

P1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	Causa - C	P1	6	21	27	-15	4.56	
3	P2	0	0	0	0	0	0	1	0	3	7		P2	7	28	35	-21	5.91	
1	3	P3	4	3	2	2	0	2	0	4	21		P3	21	0	21	21	3.55	
1	2	0	P4	0	1	1	0	0	0	2	7		P4	7	17	24	-10	4.05	
3	2	0	4	P5	3	1	0	2	0	4	19		P5	19	18	37	1	6.25	
3	3	0	2	4	P6	0	0	2	0	3	17		P6	17	8	25	9	4.22	
1	3	0	1	2	0	P7	0	4	0	3	14		P7	14	6	20	8	3.38	
3	3	0	0	2	0	0	P8	2	0	4	14		P8	14	0	14	14	2.36	
1	1	0	3	4	0	1	0	P9	0	3	13		P9	13	15	28	-2	4.73	
1	4	0	3	3	1	1	0	1	P10	3	17		P10	17	3	20	14	3.38	
4	4	0	0	0	1	0	0	1	3	P11	13		P11	13	32	45	-19	7.60	
21	28	0	17	18	8	6	0	15	3	32	148		C	E	C+E	C-E	ai (%)		
Efeito - E																			

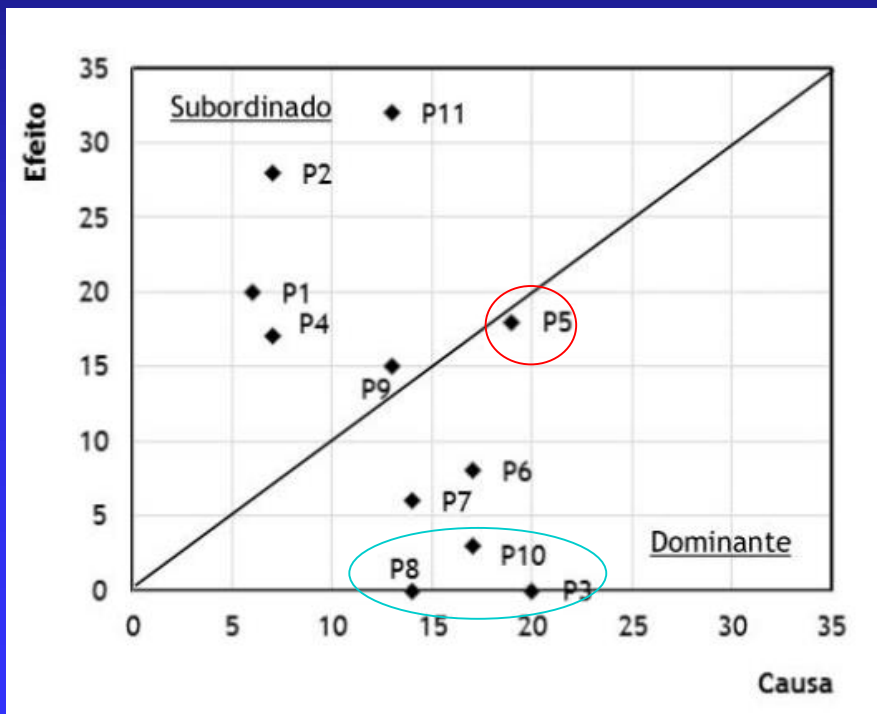
Parâmetro dominante: maior valor da diferença *causa-feito* (C-E)

Parâmetro com maior intensidade de interação: maior valor da soma *causa+efeito* (C+E)

Os valores de *causa* e *efeito* dos foram usados como coordenadas e representados num diagrama *causa-efeito*.

A intensidade de interação é medida ao longo da linha diagonal  $C=E$ .

Para avaliar se um determinado parâmetro é dominante ou subordinado, é medida a distância entre o ponto representativo desse parâmetro e a linha  $C=E$ , na perpendicular a esta.



- P1 - altura da arriba;
- P2 - inclinação da arriba;
- P3 - variação vertical de fácies/estratigrafia e litologia;
- P4 - resistência à compressão uniaxial da matriz rochosa;
- P5 - alteração e dissolução cársica;
- P6 - número de famílias e espaçamento das discontinuidades;
- P7 - condição das discontinuidades: persistência, rugosidade, abertura e enchimento;
- P8 - orientação das discontinuidades relativamente à orientação da face da arriba;
- P9 - presença de água subterrânea;
- P10 - exposição às ondas;
- P11 - histórico de eventos de instabilidade.

Diagrama Causa-Efeito



O coeficiente de ponderação  $a_i(\%)$  de cada parâmetro  $P_i$ , que expressa proporcionalmente a sua influência na instabilidade da arriba, é calculado com base no valor da intensidade de interação (C+E):

$$a_i(\%) = \frac{1}{2} \frac{(C + E)}{\sum_i^{11} C + \sum_i^{11} E} \times 100$$

O índice de instabilidade ( $II_j$ ) das arribas é calculado através da expressão (Hudson, 1992):

$$II_j = \sum_i^{11} a_i \times P_{ij}$$

em que:

$i$  se refere aos parâmetros do sistema (de 1 a 11);

$j$  refere-se à arriba analisada;

$a_i$  é o coeficiente de ponderação de cada parâmetro;

$P_{ij}$  é o peso atribuído à classe de cada parâmetro, na arriba que está a ser estudada.

## Classes de suscetibilidade

Classe	Intervalo	Classificação
I	< 41%	Baixa suscetibilidade - Arriba estável
II	41 - 60%	Média suscetibilidade - Arriba parcialmente estável
III	> 61%	Elevada suscetibilidade - Arriba instável

Como alguns parâmetros são descritos qualitativamente e outros são quantitativos, não é possível utilizar os valores efetivos de cada parâmetro para calcular o índice de instabilidade ( $II_j$ ) das arribas.

Foi necessário atribuir pesos a diferentes classes de valores de cada parâmetro ( $P_i$ ), tendo sido estabelecidas 3 classes de valores, às quais foram atribuídos os seguintes pesos:

0 – neutro;

1 – contributivo;

2 – essencial para a instabilidade.

## Classificação e pesos atribuídos aos 11 parâmetros

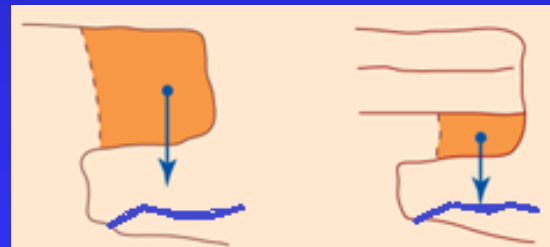
Classes	0	1	2
P1	< 5,0 m	5,0 - 20 m	> 20 m
P2	< 30°	30°-70°	> 70°
P3	Ausente	Maciço estratificado, com ligeira heterogeneidade de características de resistência e erodibilidade	Alternância de materiais de diferente litologia e competência, blocos em consola devido à erosão diferencial
P4	>50 MPa	25 - 50 MPa	<25 MPa
P5	Ausente	Medianamente alterado e carsificado	Muito alterado e carsificado
P6	1, espaçada	1-3, medianamente espaçadas	>3, pouco espaçadas
P7	Não contínuas, muito rugosas, fechadas e paredes sãs	Ligeiramente rugosas, abertura < 1 mm e paredes ligeiramente alteradas	Enchimento mole com espessura >5 mm ou diaclases com abertura >5 mm
P8	O ângulo entre a direção das descontinuidades e da arriba é >20°. A inclinação das descontinuidades é <30°	O ângulo entre a direção das descontinuidades e da arriba é 10° a 20°. A inclinação das descontinuidades é de 30° a 35°	O ângulo entre a direção das descontinuidades e da arriba é <10°. A inclinação das descontinuidades é >35°
P9	Ausente	Humidade	Fluxo
P10	Ausente	Esporádica	Persistente
P11	Inativa	Instabilidade esporádica	Instabilidade frequente



## Resultados e discussão

A queda de blocos rochosos envolve o desprendimento de blocos poliédricos individualizados por superfícies de descontinuidade com orientação desfavorável e onde os movimentos tangenciais são nulos ou reduzidos, seguidos de queda.

Parâmetros dominantes (C-E): Variação vertical de fácies (P3); Orientação das descontinuidades relativamente à face da arriba (P8); Exposição às ondas (P10).



O parâmetro com maior intensidade de interação (C+E) e que condiciona fortemente a morfologia e estabilidade das arribas, é a alteração e dissolução cársica (P5).

Nas formações carbonatadas, a alteração e dissolução cársica (P5) exerce uma forte influência sobre as características mecânicas dos maciços rochosos:

- diminui a resistência do material rocha;
- gera fraturação secundária;
- promove a abertura das descontinuidades ou aumenta a espessura dos enchimentos.

Foram selecionados 4 setores representativos da orla costeira, 3 dos quais correspondentes a zonas de praia, onde foi avaliado o índice de instabilidade das arribas.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	II <sub>j</sub> (%)
<i>a<sub>i</sub></i> (%)	4.56	5.91	3.55	4.05	6.25	4.22	3.38	2.36	4.73	3.38	7.60	
S1	2	2	2	2	1	1	1	0	0	2	2	72
S2	1	2	1	2	2	1	2	1	0	1	1	65
S3	2	2	2	1	1	1	1	1	0	1	1	59
S4	1	2	2	1	1	0	2	2	0	2	2	67

S1 - Praia Maria Luísa (Albufeira); S2 - Praia do Castelo (Albufeira); S3 - Praia Nova (Lagoa); S4 - Setor costeiro entre a Praia dos Arrifes e a Marina de Albufeira.

Três destes setores apresentam elevada propensão para a ocorrência de desprendimentos de blocos rochosos, em tempo indeterminado.

A arriba que delimita a Praia Nova (Lagoa) encontra-se na fronteira entre a média e a elevada propensão para a ocorrência de desprendimentos. Nesta arriba, os eventos de instabilidade pretéritos melhoraram a sua condição de estabilidade.



## Conclusão

A instabilidade das arribas da orla costeira é difícil de avaliar e modelar, devido à natureza episódica dos eventos de instabilidade e à complexidade dos mecanismos envolvidos.

Quando o registo histórico dos eventos de instabilidade apresenta muitas lacunas e a informação geotécnica disponível é escassa, a aplicação do método RES constitui uma alternativa eficaz para a análise da suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa.

Embora não permita analisar adequadamente a probabilidade de rotura, permite fazer uma seriação das arribas que, em função da sua instabilidade potencial, carecem da realização de estudos geotécnicos de pormenor, com vista à análise da perigosidade e do risco de perda de vidas resultante da queda de blocos rochosos.

Obrigado pela atenção!

