

CLASSIFICAÇÕES DE MACIÇOS ROCHOSOS PARA TÚNEIS

Correlações entre os sistemas de Wickham *et al.*, Bieniawski e Rocha*

Rock mass classifications for tunnel purposes
Correlations between the systems proposed by Wickham *et al.*,
Bieniawski and Rocha

por

A. S. COSTA PEREIRA**

J. A. RODRIGUES CARVALHO***

RESUMO — O tipo de suporte utilizado para túneis em maciços rochosos é, em grande parte dos casos, baseado em classificações empíricas. Os autores apresentam, primeiramente, uma breve descrição da classificação proposta por Rocha (1976). Em seguida, e com base nos resultados obtidos para 15 diferentes secções de túneis correlacionam as classificações de Wickham *et al.* (RSR), Bieniawski (RMR) e Rocha (MR).

SYNOPSIS — Most of the supports for tunnels in rock masses are designed based on empirical classifications. Firstly, the authors present a brief description of the classification proposed by Rocha (1976). After that and based upon the results obtained from 15 tunnel sections, the Wickham *et al.* (RSR), Bieniawski (RMR) and Rocha (MR) classification systems are correlated.

1 — INTRODUÇÃO

A maior parte dos suportes para túneis em maciços rochosos é definida com base em classificações geotécnicas empíricas que têm sido desenvolvidas, com esta finalidade, por diversos autores. A primeira deste tipo de classificações foi proposta por Terzaghi (1946) e outros viriam a aparecer mais recentemente, particularmente durante a década de 70, nomeadamente as devidas a Wickham *et al.*, (1974), Bieniawski (1974, 1976, 1979), Barton (1974) e Association Française de Travaux en Souterrain - AFTES (1976).

Durante a década de 70 Rocha (1976) propôs também uma classificação empírica para "quantificar" a qualidade dos maciços rochosos tendo em vista os suportes a adoptar no caso de túneis. Tratando-se da única contribuição portuguesa neste domínio e, embora frequentemente utilizada em Portugal conjuntamente com outras nomeadamente, as de Wickham *et al.*, Bieniawski e Barton, pode dizer-se que a classificação de Rocha é quase desconhecida fora do

* Apresentado ao 6.º Congresso de ISRM, Montreal, 1987. A discussão do trabalho está aberta por um período de três meses.

** Mestre em Geologia de Engenharia (UNL); Director da CEGE, Consultores para Estudos de Geologia e Engenharia Lda, Lisboa, Portugal.

*** Doutor em Geologia de Engenharia (Univ. Londres); professor de Geologia de Engenharia na Universidade Nova de Lisboa; CEGE Lda, Lisboa.

País. Esta classificação foi introduzida em 1976 durante as lições para os cursos de Mestrado em Geologia de Engenharia e em Mecânica dos Solos da Universidade Nova de Lisboa. Rocha preparou para os seus alunos um conjunto de notas escritas sob a designação de "Estruturas Subterrâneas" onde eram explicadas as bases da classificação. O facto de Rocha ter desejado testar convenientemente os resultados da classificação que propunha é, certamente, a razão principal por que não foi publicada antes da sua morte em 1981.

Neste tipo de classificações, a qualidade dos maciços rochosos é "quantificada" com base em certo número de características geológicas e geotécnicas em ordem a prever o comportamento dos maciços a escavar e a recomendar tipos de suporte apropriados.

A selecção das características consideradas mais relevantes dos maciços no que toca ao controlo do comportamento dos maciços rochosos, bem como a importância relativa de cada uma delas dentro da classificação depende muito da experiência de cada autor. Consequentemente, torna-se importante investigar se existem correlações entre os diferentes sistemas de classificação. Se tal acontecer poder-se-á classificar um maciço através do sistema que se afigurar mais simples de acordo com os elementos disponíveis e, a partir daqui, chegar ao resultado que seria obtido pela aplicação de outro sistema. Será, assim possível comparar os tipos de suporte recomendados de diferentes classificações utilizando apenas uma delas.

De entre alguns estudos comparativos realizados por alguns autores tal como refere Bieniawski (1979), Rutledge (1978) correlacionou os sistemas de classificação propostos por Wickham *et al.* (RSR) Bieniawski (RMR) e Barton (Q) usando dados de túneis da Nova Zelândia tendo estabelecido as seguintes correlações:

$$\text{RMR} = 13.5 \log Q + 43$$

$$\text{RSR} = 0.77 \text{ RMR} + 12.4$$

$$\text{RSR} = 13.3 \log Q + 46.5$$

No presente artigo os autores fazem em primeiro lugar uma apresentação sumária da classificação de Rocha. Seguidamente esta classificação conjuntamente com as propostas por Wickham *et al.* e Bieniawski são correlacionadas com base nos resultados obtidos para 15 secções de túneis.

2 — A CLASSIFICAÇÃO DE ROCHA (MR)

Rocha assume que a pressão sobre o suporte é imposta pelo volume de rocha que pode destacar-se do maciço após a escavação, o que é governado, principalmente, pelas características das diaclases existentes. Aquele volume tem a forma que se apresenta na Fig. 1, onde h_c e h_n são as espessuras de rocha que podem destacar-se do tecto e dos hasteais. Os valores de h_c e h_n dependem de L (vão) e de K sendo este um coeficiente relacionado com a qualidade do maciço (MR).

Para avaliar a qualidade de um maciço, Rocha adopta quatro características:

- espaçamento de diaclases (Pe);
- número de famílias de diaclases (Ps);
- resistência ao corte das diaclases (Pr);
- pressão de água afluyente à escavação (Pp).

A cada uma delas é atribuído determinado valor ("peso") de acordo com as condições existentes no maciço tal como especificado no Quadro I.

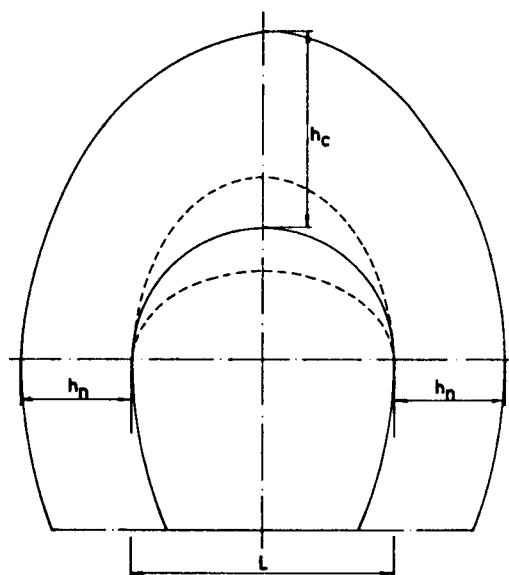


Fig. 1 — Volume de maciço que pode destacar-se e carregar o suporte

QUADRO 1

Classificação de Rocha: parâmetros considerados e seus pesos

ESPAÇAMENTO DE FRATURAS							
e (cm)	2	5	10	25	50	100	200
P _e	0	5	10	15	20	25	25
SISTEMAS DE FRATURAS							
Quatro ou mais famílias e fraturas aleatórias	Três famílias e fraturas aleatórias	Três famílias	Duas famílias e fraturas esparsas	Uma família e fraturas esparsas	Sem fraturas ou fraturas esparsas		
P _s	0	5	10	15	20	25	25
RESISTÊNCIA AO CORTE							
Enchimentos argilosos contínuos moles	Enchimentos argilosos contínuos compactos; ou superfícies planas revestidas com minerais de baixo ângulo de atrito	Superfícies planas e enchimentos silicosos ou silto-arenosos	Superfícies lisas e planas, e paredes ásas; ou superfícies ásperas e paredes pouco alteradas	Superfícies ásperas e planas, e paredes ásas	Superfícies ásperas e irregulares, ou onduladas, ou descontínuas, e paredes ásas		
φ (°)	≤ 7,5	15	22,5	30	37,5	≥ 45	
P _r	0	7	14	21	28	35	
PERCOLAÇÃO DE ÁGUA							
Enchimentos erodíveis; pressão ≥ 10 kg/cm ²	Enchimentos erodíveis; pressão 2,5 kg/cm ²	Enchimentos erodíveis; pressão 1 kg/cm ²	Fraturas não erodíveis pressão ≥ 10 kg/cm ²	Fraturas não erodíveis pressão 5 kg/cm ²	Maciço impermeável ou nível freático abaixo da soleira		
P _p	0	3	6	9	12	15	

A qualidade do maciço rochoso é, então, representada pelo índice MR o qual é expresso pela soma dos diferentes pesos atribuídos, podendo variar entre 0 e 100.

$$MR = P_e + P_s + P_r + P_p$$

Os valores de K , em relação com a qualidade do maciço são obtidos a partir do ábaco da Fig. 2.

A pressão no tecto do suporte é dada pela equação

$$h_c = KL$$

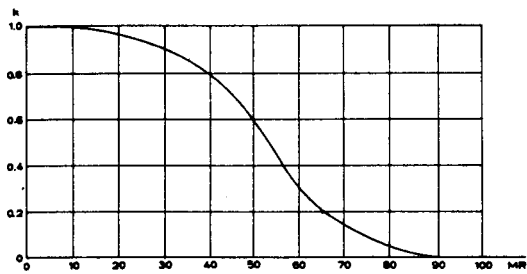


Fig. 2 — Obtenção de K a partir da qualidade do maciço (MR)

Quanto à pressão nos hasteais, Rocha considera que ela depende quer de h_c quer de MR e sugere os seguintes valores

$$\begin{aligned} h_n &= 0 && \text{para } MR > 60 \\ 0 < h_n < \frac{1}{2} h_c && \text{para } 50 < MR < 60, \quad e \\ h_n &= \frac{1}{2} h_c && \text{para } MR < 50 \end{aligned}$$

No Quadro II apresentam-se as cinco classes de maciços consideradas por Rocha conjuntamente com a correspondente variação dos valores de MR e de K e ainda algumas considerações daquele autor quanto às necessidades do suporte em cada caso.

QUADRO II

Classes de maciços rochosos, correspondentes valores de MR e de K , e considerações sobre necessidades de suporte (Rocha, 1976)

Classe	MR	K	Suporte
I	80-100	0-0.05	Suporte esporádico (ex: pregagens) de acordo com as condições observadas no tecto da escavação.
II	60-80	0.50-0.3	Suporte sistemático no tecto.
III	50-60	0.3-0.6	Suporte sistemático no tecto. Pode também ser necessário suporte esporádico nos hasteais.
IV	30-50	0.6-0.9	Suporte sistemático no tecto e hasteais.
V	0-30	0.9-1	

3 — CORRELAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DE ROCHA, WICKHAM *et al.*, E BIENIAWSKI

Durante os estudos geológicos e geotécnicos conduzidos para o projecto de cinco túneis (quatro em Portugal e um em Macau) foram definidas em cada caso, e com base nas características dos diferentes maciços rochosos, três zonas geotécnicas. Subsequentemente foram aplicados a todas aquelas quinze zonas os sistemas de classificação propostos por Rocha, Wickham *et al.*, e Bieniawski.

Os valores representativos da qualidade dos maciços rochosos obtidos por cada zona, de acordo com as classificações atrás referidas, constam do Quadro III. Estes valores permitem

QUADRO III

Valores representativos de qualidade dos maciços obtidos para as 15 secções de túneis estudadas

Túnel e tipo de maciço	Zona geotécnica	VALORES		
		RMR	RSR	MR
Granito	I	21	48	21
	II	37	50	53
	III	57	65	63
Xisto + grauvaque	I	17	34	18
	II	36	44	44
	III	46	56	52
Xisto + grauvaque	I	28	34	24
	II	45	44	48
	III	62	66	59
Gnaisse	I	17	36	25
	II	36	50	45
	III	60	69	60
Filito	I	20	34	25
	II	45	50	43
	III	65	76	67

estabelecer a seguinte correlação entre as classificações de Wickham *et al.* (RSR) e de Bieniawski (RMR):

$$RSR = 0.7 \text{ RMR} + 23.5$$

Por outro lado, correlacionando os resultados das classificações de Rocha (MR) e de Bieniawski (RMR), os autores obtiveram a seguinte correlação

$$MR = 0.95 \text{ RMR} + 5.4$$

Estas correlações conjuntamente com a apresentada por Rutledge (1976) encontram-se representadas na Fig. 3.

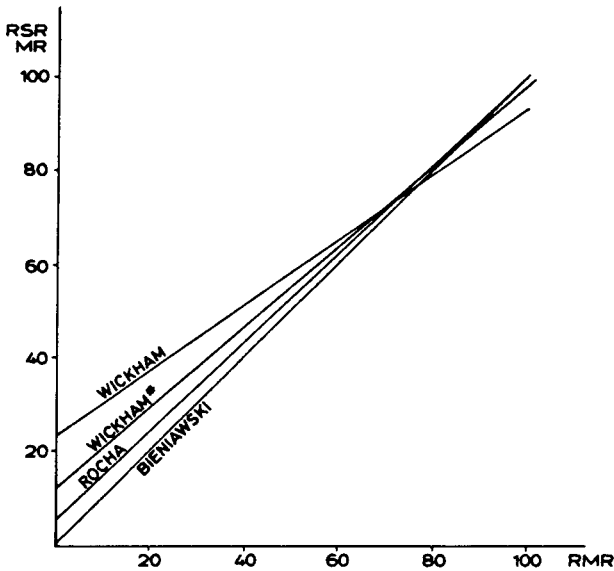


Fig. 3 — Correlações entre a classificação de Bieniawski e as de Wickham *et al.* e Rocha (Rutledge, 1978)

4 — CONCLUSÕES

A correlação entre as classificações Wickham *et al.* (RSR) e de Bieniawski (RMR) obtida pelos autores e aquela apresentada por Rutledge são relativamente próximas. As diferenças entre elas ocorrem, em termos práticos, somente no caso dos maciços de pior qualidade.

Nestas situações, a correlação obtida pelos autores conduz a valores menos conservativos da classificação de Wickham *et al.* do que os resultados da aplicação da correlação de Rutledge.

Os valores correspondentes à classificação de Rocha estão mais próximos dos da classificação de Wickham *et al.* tal como se ilustra na Fig. 3.

Pode dizer-se, no entanto, que as diferenças entre os valores representativos da qualidade dos maciços rochosos obtidos pelas três classificações (todos eles considerando variações entre 0 e 100) decrescem à medida que a qualidade dos maciços melhora, não tendo significado prático para valores acima de 60.

No final da fase de estudos geológicos e geotécnicos para túneis em maciços rochosos, anterior à construção, é usual aplicar diferentes classificações empíricas do tipo das tratadas neste artigo e comparar os resultados antes de proceder a previsões ou sugestões sobre o suporte inicial a adoptar após a escavação. Na opinião dos autores as correlações aqui apresentadas constituem boas razões para incluir a classificação de Rocha no número de classificações a utilizar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIATION FRANÇAISE DE TRAVAUX EN SOUTERRAIN (AFTES) 1976 — *Texte provisoire des recommandations relatives au choix d'un type de soutènement en galerie*. "Tunnels et Ouvrages Souterrains", special issue.
- BARTON, N.; LIEN, R. and LUNDE, J. 1974 — *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. "Rock Mechanics", Vol. 6, nr. 4, pp. 189-236.
- BIENIAWSKI, Z. T. 1979 — *The geomechanics classification in rock engineering applications*. Proc. 4th Int. Cong. Int. Soc. Rock Mech., Montreux, Vol II, pp. 41-48.
- COSTA-PEREIRA, A. S. 1985 — *A geologia de engenharia no planeamento e projecto dos túneis em maciços rochosos*. M. Sc. thesis, Universidade Nova de Lisboa.
- ROCHA, M. 1976 — *Estruturas subterrâneas - Notas de aula*. Universidade Nova de Lisboa.
- RUTLEDGE, T. C. and PRESTON, R. L. 1978 — *New Zealand experience with engineering classifications of rock for the prediction of tunnel support*. Proc. Int. Tunnel Symposium, Tokyo, pp. A3-1-7.
- WICKHAM, G. E.; TIEDEMANN, H. R. and SKINNER, E. H. 1974 — *Ground support prediction model — RSR concept*. Proc. 1st Rapid Excavation & Tunnelling Conference, AIME, New York, pp. 691-707.