

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- Interesse das classificações de maciços:
 - Definição de parâmetros que caracterizam o terreno
 - Baseadas em observações ou ensaios simples
 - Classificação/linguagem universal
 - *Checklist* dos parâmetros mais importantes
 - Independente de quem as aplica
 - Baseadas em experiência/casos de obra
 - Comparação com situações semelhantes
 - Indicação (básica) de medidas a adoptar (sustimento)

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- Os sistemas de classificação de maciços rochosos têm por objectivo a caracterização da estabilidade dos maciços rochosos quando interessados por obras de engenharia civil
- Foram inicialmente criados para aplicação em estruturas subterrâneas
- Importante:
 - Caracterização do material rocha (caracterização mecânica em laboratório)
 - Estudo das descontinuidades (observação e ensaios *in situ*)
 - Descrição do maciço

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

Material rocha

	Propriedades	Métodos de determinação
Propriedades de identificação e classificação	Composição mineralógica	Descrição visual
	Fábrica e textura	Microscopia
	Tamanho de grão	Difracção de raios X
	Cor	
	Porosidade (n)	Técnicas de laboratório
	Peso específico (γ)	
	Teor em água	
	Permeabilidade (coeficiente de permeabilidade, k)	Ensaio de permeabilidade
	Durabilidade Alterabilidade (índice de alterabilidade)	Ensaio de alterabilidade
Propriedades mecânicas	Resistência à compressão simples (σ_c)	Ensaio de compressão uniaxial Ensaio de carga pontual Martelo de Schmidt
	Resistência à tracção (σ_t)	Ensaio de tracção directa Ensaio de tracção indirecta
	Velocidade de ondas sínicas (V_p , V_s)	Medida de velocidade de ondas elásticas em laboratório
	Resistência (parâmetros c e ϕ)	Ensaio de compressão triaxial
	Deformabilidade (módulos de deformabilidade elástica estáticos e dinâmicos: E , ν)	Ensaio de compressão uniaxial Ensaio de velocidade sínica

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS



- Caracterização superficial com base em afloramentos e superfícies de escavação
- Caracterização em profundidade com recurso a sondagens (execução de logs)



CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- Numa escavação subterrânea pretende-se:
 - Utilizar o maciço como principal material estrutural
 - Provocar a menor perturbação ao maciço
 - Utilizar apenas quando e se necessário medidas de sustimento (o menos possível)
- As classificações mais antigas tinham carácter qualitativo, enquanto as mais recentes são baseadas na quantificação de parâmetros simples, que se traduzem no estabelecimento de graus de qualidade dos maciços e permitem estimar as suas propriedades resistentes globais

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

Nome	Autor	Origem	Aplicações
Carga no suporte	Terzaghi, 1946	USA	Túneis com cimbramentos
Período auto-portante	Lauffer, 1958	Áustria	Túneis
NATM	Pacher et al, 1964	Áustria	Túneis
RQD	Deere et al, 1967	USA	Sondagens, túneis
RSR	Wickham et al, 1972	USA	Túneis
RMR	Bieniawski, 1973	África do Sul	Túneis, taludes, minas, fundações
Q-System	Barton et al, 1974	Noruega	Túneis, cavernas
Manuel Rocha	Manuel Rocha, 1976	Portugal	Túneis

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

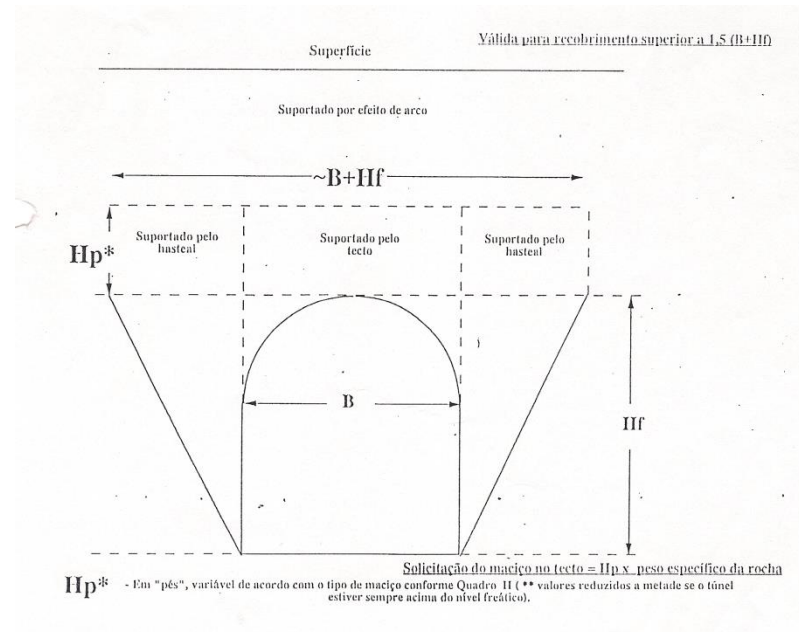
- **Classificação de Terzaghi (1946)**
 - Carga no suporte
 - Aplicação essencialmente em rochas brandas, com aplicação de perfis metálicos
 - Divisão em 7 classes, considerando:
 - Modo de jazida
 - Estado de fracturação
 - Não considera a litologia
 - Classes: de rocha intacta a rocha expansiva

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

QUADRO 6.1

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS PARA TUNEIS
(TERZAGHI, 1946)

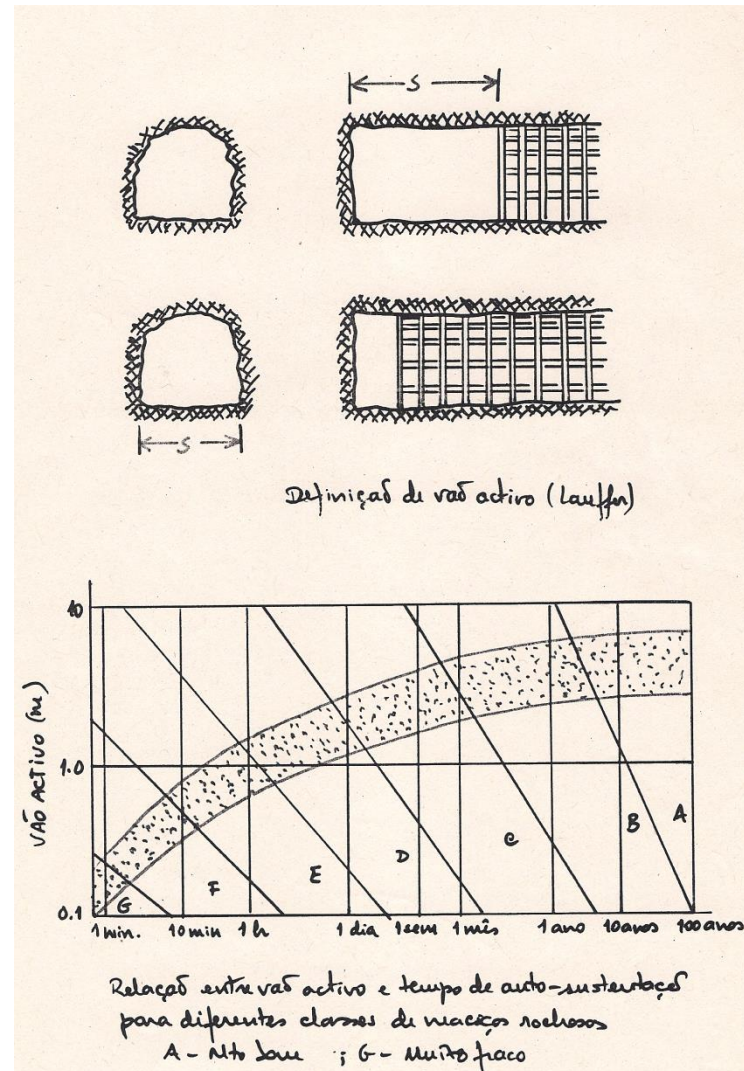
TIPO	DESCRIÇÃO
1	<u>INTACTO</u> - Não se apresenta diaclasado. Após sujeito a fogo (explosivos), podem desprender-se lascas do tecto, horas ou dias após o desmorte. Quando sujeito a estados de tensão virgem elevados pode dar origem a "explosões" da rocha (rock burst).
2	<u>ESTRATIFICADO</u> - Constituído por estratos individuais com coesão nula ou muito pequena, podendo apresentar-se fracturado. Neste tipo de rochas o lasqueamento é muito comum.
3	<u>MODERADAMENTE FRACTURADO</u> - Diaclasado e microfracturado; no entanto os blocos permanecem solidários ou interligados, não necessitando os hasteais de suporte. O lasqueamento e explosão de rocha podem ocorrer.
4	<u>COMPARTIMENTADO</u> - Diaclasado, apresentando-se os blocos separados. Os hasteais necessitam de suporte.
5	<u>FRAGMENTADO</u> - Constituído por rocha sã; no entanto apresenta-se intensamente diaclasado por vezes esmagado. Quando abaixo do nível freático apresenta um comportamento semelhante à areia nas mesmas condições.
6	<u>LIGEIRAMENTE EXPANSIVO</u> - Após abertura do tunel verifica-se uma ligeira convergência das paredes, devido à presença na rocha de minerais argilosos com características expansivas embora ligeiras.
7	<u>EXPANSIVO</u> - Após abertura do tunel verifica-se uma convergência acentuada das paredes.



CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- **Classificação de Lauffer (1958)**
 - Stand-up time (período auto-portante) depende de
 - Orientação do eixo do túnel
 - Forma da secção
 - Método de escavação
 - Método de suporte
 - Span = vão livre (distância entre a frente de escavação e o último suporte, se for maior do que o diâmetro).
 - Quanto maior o vão, menor o período auto-portante

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS



Nota: as classes no gráfico
são as definidas por
Terzaghi

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- NATM – New Austrian Tunneling Method
 - (convergência-confinamento)
- Relaciona as características do maciço, o tipo de escavação e o suporte a aplicar
- Princípios básicos:
 - Mobilização da capacidade de suporte
 - Emprego de betão projectado
 - Sustimentos flexíveis
 - Fecho da soleira em maciços muito alterados
 - Observação permanente (para definir momento de aplicação do suporte)
 - Permite aligeirar o suporte
 - Aplicado em maciços muito fracturados ou de má qualidade

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- **Rock Structure Rating (RSR) (1972)**
 - Primeira classificação paramétrica
 - A – Geologia (litologia, estrutura, resistência) (ex. metamórfica, pouco dobrada, média)
 - B – Geometria (espaçamento e atitude das diaclases face à escavação) (ex. normal ou paralela ao eixo, inclinação)
 - C – Condições hidrogeológicas e preenchimento das fracturas
 - Calcula a carga sobre o suporte e recomenda suporte

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- RMR – Rock Mass Rating
 - Resistência à compressão uniaxial do material rocha
 - RQD
 - Espaçamento entre descontinuidades
 - Características das descontinuidades
 - Percolação
 - +orientação das descontinuidades
- Q-System
 - RQD
 - Número de famílias
 - Rugosidade
 - Alteração das paredes
 - Caudal
 - Estado de tensão (SRF – stress reduction factor)
 - + dimensão equivalente (função da finalidade)

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

C) Classificação Geomecânica (Bieniawski, 1973)

- Tem por objectivo determinar a relação entre o vão livre do túnel e o tempo de sustentação sem suporte;
- Estima a coesão e o ângulo de atrito para cada classe de maciço;
- Atribui pesos a seis parâmetros, com base na observação de um grande número de túneis

Parâmetros:

- Resistência à compressão simples
- RQD
- Espaçamento entre fractura
- Orientação das fracturas
- Características das fracturas
- Caudal

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- Maciços são classificados quanto à qualidade em 5 classes
- Após classificação do maciço numa das 5 classes, relaciona com o período de auto-sustentação e necessidade de suporte (pregagens e ancoragens, betão projectado e perfis metálicos)
- Quando indica o suporte primário pressupõe que:
 - o diâmetro do túnel seja cerca de 10m
 - a tensão vertical não exceda 25MPa
 - que a escavação seja por explosivos

Table 4.4: Rock Mass Rating System (After Bieniawski 1989).

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%			
	Rating	20	17	13	8	3			
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	Rating	20	15	10	8	5			
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous			
	Rating	30	25	20	10	0			
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water press)/(Major principal σ)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating	15	10	7	4	0			
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)									
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable			
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12			
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25			
	Slopes	0	-5	-25	-50				
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating	100 ← 81		80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21			
Class number	I		II	III	IV	V			
Description	Very good rock		Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock			
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number	I		II	III	IV	V			
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span		1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span			
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400		300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100			
Friction angle of rock mass (deg)	> 45		35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15			
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence)	< 1 m		1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
Rating	6		4	2	1	0			
Separation (aperture)	None		< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			
Rating	6		5	4	1	0			
Roughness	Very rough		Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided			
Rating	6		5	3	1	0			
Infilling (gouge)	None		Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm			
Rating	6		4	2	2	0			
Weathering	Unweathered		Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed			
Rating	6		5	3	1	0			
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis					
Drive with dip - Dip 45° - 90°		Drive with dip - Dip 20° - 45°		Dip 45° - 90°			Dip 20° - 45°		
Very favourable		Favourable		Very unfavourable			Fair		
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike°					
Fair		Unfavourable		Fair					

* Some conditions are mutually exclusive. For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A.4 directly.

** Modified after Wickham et al (1972).

Guia para a escavação e suporte de túneis (Bieniawski, 1979)

Secção tipo = ferradura; diâmetro = 10 metros; Tensão vertical < 25 MPa; Escavação com explosivos

Classe do maciço	Escavação	Suporte		
		Pregagens	Betão Projectado	Cambotas
Muito Boa I RMR = 81-100	Secção total 3 metros de avanço	Geralmente não requer suporte com a excepção de pregagens ocasionais		
Boa II RMR = 61-80	Secção total 1 a 1,5 metros de avanço suporte completo a 20 m da frente	Pregagens de 3 m de compr., espaçadas de 2,5 m, ocasional/ com malha em certas zonas do tecto.	50 mm no tecto quando necessário	Nenhum
Razoável III RMR = 41-60	Secção parcial (frente e rebaixo). Avanço 1,5 a 3 m. Início do suporte após cada fogo. Suporte completo a 10 m.	Pregagens sistemáticas c/ 4 m de compr., espaçadas de 2 m nas paredes e tectos, com malha no tecto.	50-100 mm no tecto 30 mm nas paredes	Nenhum
Fraca IV RMR = 21-40	Secção parcial (frente e rebaixo). Avanço 1 a 1,5 m. Instalação do suporte concomitantemente com a escavação.	Pregagens sistemáticas com 4-5 m de compr., espaçadas de 1-1,5 m, com malha no tecto e nas paredes.	100- 150 mm no tecto 100 mm nas paredes	Cambotas leves espaçadas de 1,5 m
Muito fraca V RMR < 20	Secções múltiplas. Avanço 0,5-1,5 m. Instalação do suporte concomitantemente com a escavação. Betão projectado logo após o fogo.	Pregagens sistemáticas com 5-6 m de compr., espaçadas de 1-1,5 m, com malha no tecto e paredes. Pregagens na soleira.	100-150 mm no tecto 100 mm nas paredes	Cambotas médias a pesadas espaçadas de 0,75 m. Fechamento da soleira

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- O índice RMR tem sido correlacionado com o módulo de deformabilidade do maciço rochoso:
 - $E_m = 2RMR - 100$ (para $RMR > 50$) (Bieniawski, 1978)
 - $E_m = 10^{(RMR-10)/40}$ (Serafim e Pereira, 1983)

(valores em GPa)

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

D) Classificação de Barton, Lien e Lunde (1974) – Q System

Analisa seis parâmetros a que atribuem pesos

- RQD
- J_n – nº de famílias de fracturas
- J_r – rugosidade das fracturas
- J_a – alteração das paredes das fracturas
- J_w – caudal
- SRF – Stress Reduction Factor (carateriza o estado de tensão em profundidade)
- $Q = (RQD / J_n) \cdot (J_r / J_a) \cdot (J_w / SRF)$

Representativo do
tamanho dos blocos

Representativo da resistência ao corte

Representativo da tensão efectiva

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- A classificação tem por objectivo definir o tipo de suporte necessário à estabilidade de maciços rochosos interessados na construção de túneis de diversos vãos.
- Q pode variar entre 0,0001 e 1000
- É a classificação mais sensível à avaliação da resistência das descontinuidades
- Relação entre RMR e Q

– $RMR = 9 \ln Q + 44$

para túneis em Eng Civil

– $RMR = 10,5 \ln Q + 42$

para túneis em minas

Table 6: Classification of individual parameters used in the Tunneling Quality Index Q

DESCRIPTION	VALUE	NOTES
1. ROCK QUALITY DESIGNATION	RQD	
A. Very poor	0 - 25	1. Where RQD is reported or measured as ≤ 10 (including 0), a nominal value of 10 is used to evaluate Q.
B. Poor	25 - 50	
C. Fair	50 - 75	2. RQD intervals of 5, i.e. 100, 95, 90 etc. are sufficiently accurate.
D. Good	75 - 90	
E. Excellent	90 - 100	
2. JOINT SET NUMBER	J_n	
A. Massive, no or few joints	0.5 - 1.0	
B. One joint set	2	
C. One joint set plus random	3	
D. Two joint sets	4	
E. Two joint sets plus random	6	
F. Three joint sets	9	1. For intersections use $(3.0 \times J_n)$
G. Three joint sets plus random	12	
H. Four or more joint sets, random, heavily jointed, 'sugar cube', etc.	15	2. For portals use $(2.0 \times J_n)$
J. Crushed rock, earthlike	20	
3. JOINT ROUGHNESS NUMBER	J_r	
a. Rock wall contact		
b. Rock wall contact before 10 cm shear		
A. Discontinuous joints	4	
B. Rough and irregular, undulating	3	
C. Smooth undulating	2	
D. Slickensided undulating	1.5	1. Add 1.0 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3 m.
E. Rough or irregular, planar	1.5	
F. Smooth, planar	1.0	
G. Slickensided, planar	0.5	2. $J_r = 0.5$ can be used for planar, slickensided joints having lineations, provided that the lineations are oriented for minimum strength.
c. No rock wall contact when sheared		
H. Zones containing clay minerals thick enough to prevent rock wall contact	1.0 (nominal)	
J. Sandy, gravelly or crushed zone thick enough to prevent rock wall contact	1.0 (nominal)	
4. JOINT ALTERATION NUMBER	J_a	ϕ degrees (approx.)
a. Rock wall contact		
A. Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling	0.75	1. Values of ϕ , the residual friction angle, are intended as an approximate guide to the mineralogical properties of the alteration products, if present.
B. Unaltered joint walls, surface staining only	1.0	
C. Slightly altered joint walls, non-softening mineral coatings, sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc.	2.0	
D. Silty, or sandy-clay coatings, small clay-fraction (non-softening)	3.0	20 - 25
E. Softening or low-friction clay mineral coatings, i.e. kaolinite, mica. Also chlorite, talc, gypsum and graphite etc., and small quantities of swelling clays. (Discontinuous coatings, 1 - 2 mm or less)	4.0	8 - 15

4. JOINT ALTERATION NUMBER	J_a	ϕ degrees (approx.)	
<i>b. Rock wall contact before 10 cm shear</i>			
F. Sandy particles, clay-free, disintegrating rock etc.	4.0	25 - 30	
G. Strongly over-consolidated, non-softening clay mineral fillings (continuous < 5 mm thick)	6.0	16 - 24	
H. Medium or low over-consolidation, softening clay mineral fillings (continuous < 5 mm thick)	8.0	12 - 16	
J. Swelling clay fillings, i.e. montmorillonite, (continuous < 5 mm thick). Values of J_a depend on percent of swelling clay-size particles, and access to water.	8.0 - 12.0	6 - 12	
<i>c. No rock wall contact when sheared</i>			
K. Zones or bands of disintegrated or crushed	6.0		
L. rock and clay (see G, H and J for clay	8.0		
M. conditions)	8.0 - 12.0	6 - 24	
N. Zones or bands of silty- or sandy-clay, small clay fraction, non-softening	5.0		
O. Thick continuous zones or bands of clay	10.0 - 13.0		
P. & R. (see G, H and J for clay conditions)	6.0 - 24.0		
6. JOINT WATER REDUCTION	J_w	approx. water pressure (kgf/cm ²)	
A. Dry excavation or minor inflow i.e. < 5 l/m locally	1.0	< 1.0	
B. Medium inflow or pressure, occasional outwash of joint fillings	0.66	1.0 - 2.5	
C. Large inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints	0.5	2.5 - 10.0	1. Factors C to F are crude estimates; increase J_w if drainage installed.
D. Large inflow or high pressure	0.33	2.5 - 10.0	
E. Exceptionally high inflow or pressure at blasting, decaying with time	0.2 - 0.1	> 10	2. Special problems caused by ice formation are not considered.
F. Exceptionally high inflow or pressure	0.1 - 0.05	> 10	
8. STRESS REDUCTION FACTOR		SRF	
<i>a. Weakness zones intersecting excavation, which may cause loosening of rock mass when tunnel is excavated</i>			
A. Multiple occurrences of weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock, very loose surrounding rock (any depth)	10.0		1. Reduce these values of SRF by 25 - 50% but only if the relevant shear zones influence do not intersect the excavation
B. Single weakness zones containing clay, or chemically disintegrated rock (excavation depth < 50 m)	5.0		
C. Single weakness zones containing clay, or chemically disintegrated rock (excavation depth > 50 m)	2.5		
D. Multiple shear zones in competent rock (clay free), loose surrounding rock (any depth)	7.5		
E. Single shear zone in competent rock (clay free). (depth of excavation < 50 m)	5.0		
F. Single shear zone in competent rock (clay free). (depth of excavation > 50 m)	2.5		
G. Loose open joints, heavily jointed or 'sugar cube', (any depth)	5.0		

DESCRIPTION	VALUE		NOTES
8. STRESS REDUCTION FACTOR		SRF	
b. Competent rock, rock stress problems			
	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	2. For strongly anisotropic virgin stress field
H. Low stress, near surface	> 200	> 13	2.5 (If measured): when $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reduce σ_c
J. Medium stress	200 - 10	13 - 0.66	1.0 to $0.8\sigma_c$ and σ_t to $0.8\sigma_t$. When $\sigma_1/\sigma_3 > 10$,
K. High stress, very tight structure (usually favourable to stability, may be unfavourable to wall stability)	10 - 5	0.66 - 0.33	0.5 - 2 reduce σ_c and σ_t to $0.6\sigma_c$ and $0.6\sigma_t$ where σ_c = unconfined compressive strength, and σ_t = tensile strength (point load) and σ_1 and σ_3 are the major and minor principal stresses.
L. Mild rockburst (massive rock)	5 - 2.5	0.33 - 0.16	5 - 10
M. Heavy rockburst (massive rock)	< 2.5	< 0.16	10 - 20
c. Squeezing rock, plastic flow of incompetent rock under influence of high rock pressure			
N. Mild squeezing rock pressure			5 - 10 cases (see H).
O. Heavy squeezing rock pressure			10 - 20
d. Swelling rock, chemical swelling activity depending on presence of water			
P. Mild swelling rock pressure			5 - 10
R. Heavy swelling rock pressure			10 - 15
ADDITIONAL NOTES ON THE USE OF THESE TABLES			
When making estimates of the rock mass Quality (Q), the following guidelines should be followed in addition to the notes listed in the tables:			
1. When borehole core is unavailable, RQD can be estimated from the number of joints per unit volume, in which the number of joints per metre for each joint set are added. A simple relationship can be used to convert this number to RQD for the case of clay free rock masses: $RQD = 115 - 3.3 J_v$ (approx.), where J_v = total number of joints per m^3 ($0 < RQD < 100$ for $35 > J_v > 4.5$).			
2. The parameter J_n representing the number of joint sets will often be affected by foliation, schistosity, slaty cleavage or bedding etc. If strongly developed, these parallel 'joints' should obviously be counted as a complete joint set. However, if there are few 'joints' visible, or if only occasional breaks in the core are due to these features, then it will be more appropriate to count them as 'random' joints when evaluating J_n .			
3. The parameters J_f and J_g (representing shear strength) should be relevant to the weakest significant joint set or clay filled discontinuity in the given zone. However, if the joint set or discontinuity with the minimum value of J_f/J_g is favourably oriented for stability, then a second, less favourably oriented joint set or discontinuity may sometimes be more significant, and its higher value of J_f/J_g should be used when evaluating Q. The value of J_f/J_g should in fact relate to the surface most likely to allow failure to initiate.			
4. When a rock mass contains clay, the factor SRF appropriate to loosening loads should be evaluated. In such cases the strength of the intact rock is of little interest. However, when jointing is minimal and clay is completely absent, the strength of the intact rock may become the weakest link, and the stability will then depend on the ratio rock-stress/rock-strength. A strongly anisotropic stress field is unfavourable for stability and is roughly accounted for as in note 2 in the table for stress reduction factor evaluation.			
5. The compressive and tensile strengths (σ_c and σ_t) of the intact rock should be evaluated in the saturated condition if this is appropriate to the present and future in situ conditions. A very conservative estimate of the strength should be made for those rocks that deteriorate when exposed to moist or saturated conditions.			

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

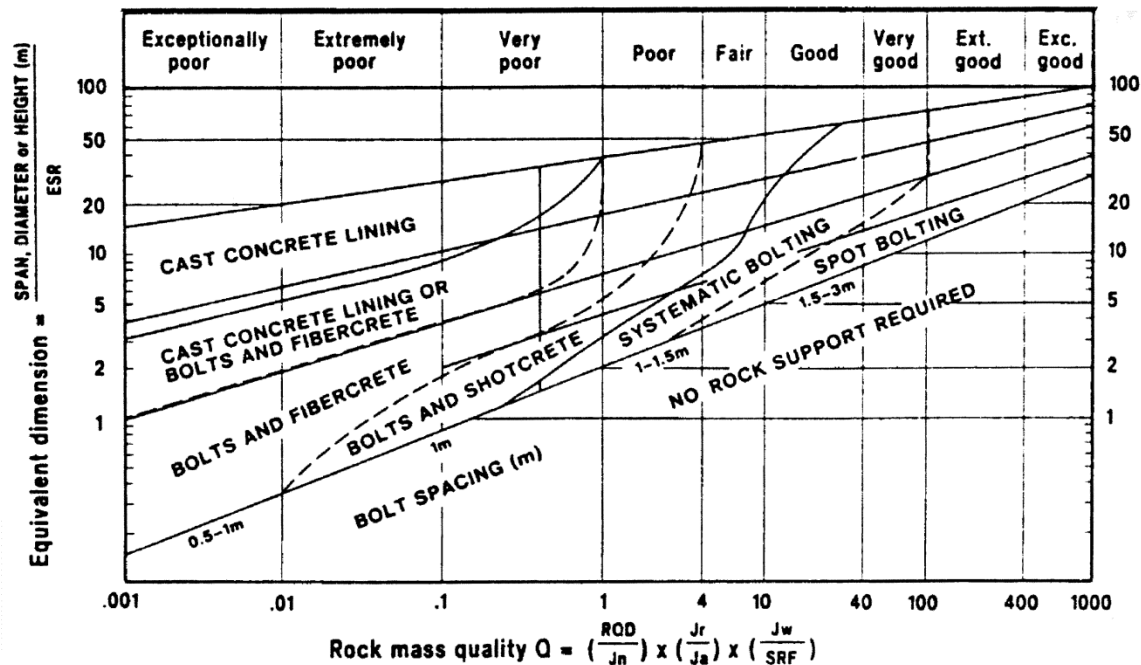


Figure 1.6: Chart for preliminary selection of support for underground excavations on the basis of the Tunnelling Quality Index Q published by Barton, Lien and Lunde (1974). The Excavation Support Ratio ESR depends upon the application for which the underground excavation has been designed. After Barton (1989).

CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

$$D_e = \frac{\text{Excavation span, diameter or height (m)}}{\text{Excavation Support Ratio } ESR}$$

The value of *ESR* is related to the intended use of the excavation and to the degree of security which is demanded of the support system installed to maintain the stability of the excavation. Barton et al (1974) suggest the following values:

Excavation category		<i>ESR</i>
A	Temporary mine openings.	3-5
B	Permanent mine openings, water tunnels for hydro power (excluding high pressure penstocks), pilot tunnels, drifts and headings for large excavations.	1.6
C	Storage rooms, water treatment plants, minor road and railway tunnels, surge chambers, access tunnels.	1.3
D	Power stations, major road and railway tunnels, civil defence chambers, portal intersections.	1.0
E	Underground nuclear power stations, railway stations, sports and public facilities, factories.	0.8

- Zonamento geotécnico

