

DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM USANDO O SISTEMA RMR DE CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA

Aarão de Andrade Lima¹; Hans Dieter Max Schuster²

RESUMO – O objetivo deste artigo é apresentar uma metodologia de trabalho para descrição geotécnica de testemunhos de sondagem utilizando o sistema RMR (Rock Mass Rating) de classificação geomecânica de maciços rochosos. Foram desenvolvidas tabelas que facilitam a coleta e o tratamento dos dados geotécnicos. Os aspectos práticos inerentes à descrição geotécnica de testemunhos de sondagem são apresentados. Uma maneira de avaliar o índice Q através do índice RMR é também apresentada.

Palavras-chave: maciços rochosos, descrição geotécnica, classificação geomecânica, RMR.

GEOTECHNICAL LOGGING OF DRILL CORES USING THE RMR ROCK MASS CLASSIFICATION SYSTEM

ABSTRACT – The objective of this article is to present a methodology for rock core logging using the rock mass classification system RMR (rock mass rating). Tables for collecting the data were developed, for facilitating collection and treatment of data. The practical aspects related to geotechnical core logging are presented. A way of estimating Q index based on RMR index is also presented.

Keywords: rock mass, geotechnical logging, rock mass geomechanical classification, RMR.

¹Professor Associado III, PhD, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882, Campina Grande – PB, CEP: 58109-970, e-mail: aaraolima@uol.com.br

²Professor Associado, PhD, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO

Para classificação geomecânica dos maciços rochosos foi escolhido o sistema RMR – *Rock Mass Rating*, na versão de 1989 (Bieniawski, 1989), de aceitação internacional na área de estabilidade de escavações em rocha.

O RMR foi selecionado porque seus parâmetros podem ser quantificados, ou qualificados, com maior facilidade através de testemunhos de sondagem. Conforme vasta literatura já publicada sobre o assunto, existe boa correlação entre o RMR e o outro sistema de classificação geomecânica de larga aceitação, que é o sistema Q (Barton, 2002), exceto quando as tensões são o mecanismo predominante de ruptura, quando apenas o sistema Q pode incorporar esse efeito. Ao final deste artigo serão apresentadas as duas equações mais utilizadas para correlação entre os índices geomecânicos RMR e Q .

Para o presente estudo foi decidido também que será feito o tratamento individualizado do RQD – *Rock Quality Designation* (Bieniawski, 1989), por se tratar de um índice universalmente aceito na quantificação da chamada compartimentação dos maciços rochosos, sendo útil também para estimar os tamanhos de bloco.

Com o objetivo de ganhar conhecimento sobre o número de conjuntos e as atitudes de descontinuidades presente nos maciços rochosos, é recomendável que também seja feita a medição dos ângulos que os planos das descontinuidades formam com o eixo dos testemunhos.

FUNDAMENTAÇÃO DO SISTEMA RMR

O índice RMR resulta da soma dos cinco parâmetros:

1. Índice de carga pontual, ou resistência à compressão.
2. RQD.
3. Espaçamento médio entre as descontinuidades.
4. Condições das descontinuidades.
5. Condições de água no maciço.

A tabela para ponderação dos cinco índices do RMR na versão de 1989 (Bieniawski, 1989) é apresentada na Figura 1.

Os quatro primeiros termos do RMR podem ser calculados, ou estimados, com base nos testemunhos de sondagem. Já a condição de água no maciço rochoso deve ser avaliada com base em estudos, ou em considerações, sobre a hidrogeologia do local da mina.

INSTRUÇÕES PARA DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA DOS TESTEMUNHOS

Para registro dos dados referentes aos parâmetros do RMR e dos ângulos das descontinuidades deverão ser utilizadas as duas fichas mostradas nas Figuras 2 e 3. As duas fichas são disponibilizadas em formato de planilha eletrônica.

A primeira ficha (Figura 2) se destina ao registro das medições de recuperação, RQD, número de descontinuidades por avanço e ângulos dos mergulhos das descontinuidades em relação ao eixo dos testemunhos. A segunda ficha (Figura 3) será usada para o registro das avaliações de resistência à compressão e das condições das descontinuidades.

As medições dos ângulos entre descontinuidades e eixos dos testemunhos, que não faz parte do sistema RMR, possibilitará a determinação do número de famílias de descontinuidades nos setores sondados e poderá ainda ser útil para estimativa das atitudes das famílias dominantes.

Após a coleta de dados geotécnicos dos testemunhos de sondagem, as fichas serão digitadas na forma de planilhas eletrônicas, utilizando-se o mesmo formato que foi adotado nas fichas de anotações, o que facilitará a conferência dos dados digitados.

Para o presente estudo as avaliações dos quatro parâmetros iniciais do RMR deverão ser feitas tomando como base os intervalos definidos em cada manobra de sondagem. Quando duas litologias estiverem presentes em uma mesma manobra, as mesmas deverão ser individualizadas em seus intervalos específicos.

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 <i>RQD</i>		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	Groundwater	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		
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		

Figura 1 - Tabela de ponderação dos índices do sistema RMR e qualidade do maciço (Fonte: Hoek, 2007).

Em manobras de sondagem com a presença de mais de duas litologias, ou com repetições entre duas litologias intercaladas, deve-se manter os intervalos originais das manobras e indicar na ficha de anotação as múltiplas litologias que estão presentes naquele intervalo. A forma registro dos dados com respeito aos intervalos de sondagem está exemplificada no Anexo deste artigo.

Nos intervalos em que os testemunhos houverem sido removidos para análise química (minério) ou para ensaios de compressão, não deverão ser feitas medições nos testemunhos porventura remanescentes, e a ocorrência de amostragem deverá ser anotada nas fichas.

É recomendável que os testemunhos dos trechos geotecnicamente descritos sejam fotografados e que os testemunhos dos respectivos furos sejam guardados até a aprovação do relatório final do estudo.

A seguir são apresentadas diretrizes básicas para medir, ou estimar, os cinco parâmetros que compõem o sistema RMR e para medir os ângulos entre planos de discontinuidades e eixos dos testemunhos de sondagem.

Diretrizes para Estimativa da Resistência à Compressão

A resistência à compressão da rocha deverá ser estimada com base na Tabela 1, adaptada de Brown (1981).

Tabela 1. Estimativa de Resistência à Compressão de Rochas.

Grau	Descrição da rocha	Identificação de campo	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
R0	Extremamente fraca	Amostra da rocha pode ser marcada com a unha.	0,25 - 1,0
R1	Muito fraca	Amostra pode ser descascada usando canivete. Fragmenta totalmente quando golpeada com a ponta do martelo geológico.	1,0 - 5,0
R2	Fraca	Amostra pode ser descascada com dificuldade usando um canivete. Marca rasa na rocha é produzida por golpe firme com a ponta de martelo geológico.	5 - 25
R3	Medianamente forte	Rocha não pode ser raspada ou descascada com uso de canivete. Amostra da rocha pode ser fraturada com um único golpe firme com martelo geológico.	25 - 50
R4	Forte	Para romper uma amostra da rocha é requerido mais de um golpe com martelo geológico.	50 - 100
R5	Muito forte	Para romper uma amostra da rocha são requeridos diversos golpes de martelo geológico.	100 - 250
R6	Extremamente forte	Golpes de martelo geológico removem apenas lascas da rocha, sem quebrá-la.	> 250

Fonte: Brown (1981), p. 32

Para cada intervalo correspondente a manobra de sondagem ou litologia deverá ser marcada a categoria de resistência mostrada na ficha da Figura 3. Caso ocorram variações apreciáveis de resistência em um mesmo intervalo, poderão ser marcadas mais de uma classe de resistência.

Na fase de tratamento dos dados será então calculada a média ponderada das avaliações em cada intervalo, sendo atribuído um valor único a cada intervalo. Com esse procedimento se consegue um valor mais refinado para a resistência compressiva estimada para a rocha.

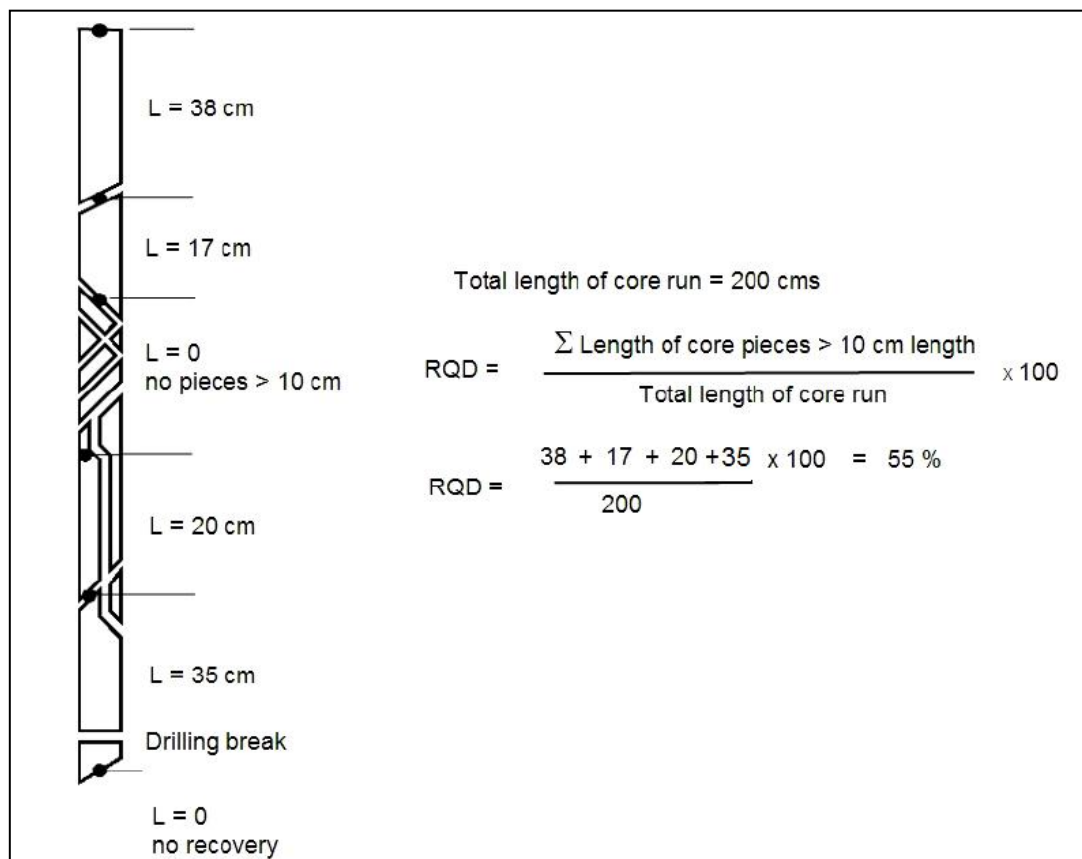
Diretrizes para Medição de RQD

Para cada manobra de sondagem o RQD será medido somando-se os pedaços de testemunhos com comprimentos maiores ou iguais a 10 cm, sendo as medidas dos comprimentos referentes aos eixos dos testemunhos (Figura 4).

O diâmetro recomendado para cômputo do RQD é NW (54 mm), mas em mineração diâmetros menores são habitualmente utilizados. No presente estudo os testemunhos estão disponíveis no diâmetro BQ (36,5 mm), o que acarretará um valor de RQD inferior ao que seria obtido com o diâmetro recomendado na norma.

Conforme procedimentos padronizados, devem ser desprezadas as quebras nos testemunhos que puderem ser claramente identificadas como sendo provocadas pela operação de sondagem ou pela colocação dos testemunhos nas respectivas caixas (Figura 4).

Além do RQD deverá ser medida a recuperação total, importante índice para discriminar alteração excessiva ou faturamento intenso do maciço rochoso.



Fonte: Hoek (2007).

Figura 4. Sumário de procedimentos para medição de RQD.

Diretrizes para Determinação do Espaçamento Médio entre Descontinuidades

Para a determinação do espaçamento médio entre descontinuidades devem ser contadas as fraturas naturais presentes nos testemunhos de sondagem em cada intervalo definido por manobra de sondagem ou por mudança de litologia.

Para o cálculo de espaçamento médio entre fraturas em metros, o comprimento de cada intervalo em metros será então dividido pelo respectivo número de fraturas.

Caso ocorram zonas de falha, com um número muito grande de fraturas, poderá simplesmente ser anotada nas fichas essa condição, e durante o tratamento dos dados será atribuída pontuação mínima ao parâmetro correspondente ao espaçamento médio entre fraturas.

Diretrizes para Estimativa das Condições das Descontinuidades

As condições das descontinuidades com respeito à resistência ao cisalhamento serão avaliadas de acordo com as cinco classes estipuladas no sistema RMR (Figura 1 e Figura 3), com pontuações 30, 25, 20, 10 e 0.

Para enquadramento de um intervalo em uma determinada classe são levados em consideração (Brown, 1981):

- Rugosidade das paredes das descontinuidades.
- Separação entre as paredes das descontinuidades.
- Alteração da parede das descontinuidades.
- Preenchimento das descontinuidades com material de baixa coesão (argila, rocha decomposta, areia ou silte).

A rugosidade das paredes das descontinuidades pode ser verificada em testemunhos de sondagem, exceto em caso de rocha muito alterada, quando pode ocorrer a remoção de material durante a sondagem.

A separação entre as paredes das fraturas naturais ocorre apenas nas zonas superficiais do maciço rochoso, e somente pode ser avaliada por inspeção direta da superfície rochosa.

A alteração das paredes pode ser avaliada em testemunhos, exceto em caso de alteração excessiva, quando ocorre remoção de material durante a sondagem.

Quando presente, o preenchimento das descontinuidades é geralmente removido pela água da sondagem, e não pode ser constatado diretamente nos testemunhos. Essa condição pode ser inferida em intervalos que apresentam baixa recuperação, indicativo de rochas alteradas ou com fraturas preenchidas. Nesses casos a condição mais desfavorável deve ser atribuída ao intervalo, o que corresponde à pontuação nula.

Cada intervalo deverá ser inspecionado para definir as classes de condições de descontinuidades presentes, podendo ser feita mais de uma classificação em cada intervalo, dependendo da variabilidade das condições das descontinuidades.

Na fase de tratamento dos dados será calculada a média ponderada das avaliações em cada intervalo, sendo atribuído um valor único a cada intervalo. Com esse procedimento se conseguirá um valor mais refinado para esse parâmetro do maciço que possui uma avaliação de natureza um tanto qualitativa.

Condições de Água no Maciço Rochoso

Conforme mencionado, a condição de água no maciço rochoso deve ser avaliada com base em estudos, ou em considerações, sobre a hidrogeologia do local. No caso de minas já em operação é possível estimar as condições de água por inspeção das aberturas subterrâneas. Idealmente as inspeções devem ser realizadas em diferentes épocas do ano para verificação de flutuações sazonais das condições hídricas do maciço.

De acordo com a Figura 1, as pontuações para as cinco condições de água previstas no sistema RMR (Bieniawski, 1989; Hoek, 2007) são as seguintes:

Condições de água subterrânea	Seca	Úmida	Molhada	Pingando	Em fluxo
Pontuação	15	10	7	4	0

Nas visitas ao subsolo foi constatado que na maioria dos locais prevalece a condição “seca” (15) ou “úmida” (10). Em alguns locais específicos foram verificadas as condições “molhada” (7) ou “pingando” (4). Dessa forma, parece razoável considerar provisoriamente o valor 10 para a condição geral de água, o qual poderá ser revisto após a consulta de relatórios sobre a hidrogeologia da mina.

Medição de Ângulos entre Mergulhos de Descontinuidades e Eixos dos Testemunhos

Com o objetivo de ganhar conhecimento sobre o número de conjuntos (ou famílias) de descontinuidades, com as respectivas atitudes, deverá ser feita a medição dos ângulos que os planos das descontinuidades formam com o eixo dos testemunhos, seguindo o procedimento indicado por Goodman (1976, p. 143) para medição do chamado ângulo alfa.

Em cada intervalo deverão ser feitas medições de todas as descontinuidades identificadas claramente como naturais, devendo para tal ser empregado um goniômetro. Em alguns intervalos em rocha muito alterada, ou em rocha sã sem descontinuidades, poderá ser impossível realizar medições de ângulos.

Caso possível, as descontinuidades deverão ser identificadas quanto à gênese: em junta, falha, bandamento, foliação ou contato, mas em caso de dúvida esse campo poderá ser deixado em branco sem maiores implicações na análise geotécnica dos dados.

CORRELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES RMR E Q

As equações (1) ou (2) podem ser utilizadas para achar o valor do índice Q após a avaliação do RMR.

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}} \quad (1)$$

$$Q = 10^{\frac{RMR-50}{15}} \quad (2)$$

A equação (1) foi proposta por Bieniawski (1989), enquanto a equação (2) foi proposta por Barton (1995). A equação (2) penaliza os valores de RMR abaixo de 60 (rocha alterada) e favorece os valores acima de 60 (rocha sã). A equações (1) é a mais utilizada na literatura, por ser mais antiga.

Como o Q tem uma faixa de variação muito ampla (0,001 a 1000), os valores previstos pelas duas equações conduzem a classes de suporte similares. Pode ser utilizado a valor médio das duas equações para obter um melhor equilíbrio em ambos os maciços em rocha sã e em rocha alterada, ou pode-se optar pelo menor valor de Q , penalizando assim a qualidade do maciço, e com isso aumentando o grau de suporte-reforço a ser empregado na estabilização das aberturas.

CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada uma metodologia de trabalho para descrição geotécnica de testemunhos de sondagem utilizando o sistema RMR (*Rock Mass Rating*) de classificação geomecânica de maciços rochosos, a qual permite rapidez e sistematização dos trabalhos de coleta de dados.

A metodologia foi concebida especificamente para aplicação em minas a céu aberto ou subterrâneas.

As tabelas desenvolvidas facilitam a coleta e o tratamento posterior dos dados geotécnicos obtidos em testemunhos de sondagem.

Os aspectos práticos inerentes à descrição geotécnica de testemunhos de sondagem são apresentados, bem como a maneira de avaliar o índice Q através do índice RMR.

REFERÊNCIAS

Barton, N. (1995). The Influence of Joint Properties in Modelling Jointed Rock Masses. Keynote lecture at the Eighth International Society for Rock Mechanics Congress Tokyo, Vol. 3. Balkema, Rotterdam, pp. 1023-1032.

Barton, N. (2002). Some New Q -value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39, pp. 185-216.

Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*, Willey, New York, 251p.

Brown, E.T. (Editor) (1981). *Rock Characterization Testing and Monitoring – ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press, Oxford, 211p.

Goodman, R.E. (1976). *Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks*, West Publishing Co., St. Paul, 472p.

Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering – Site*:
http://www.rockscience.com/education/hoek_corner, Acesso em 07/05/2011.