



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS E DE PETRÓLEO

TRABALHO DE FORMATURA EM ENGENHARIA DE MINAS

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS  
ROCHOSOS COM ÊNFASE EM DIMENSIONAMENTO DE SUPORTE DE  
ABERTURAS SUBTERRÂNEAS

ORIENTADOR: LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA

AUTOR: RODRIGO DUQUE ARAKI

SÃO PAULO

2003

TF-2003  
Ar 12d  
1424027

M20036

**DEDALUS - Acervo - EPMI**



31700005482

À minha família e aos meus amigos,  
que sempre dividiram minhas conquistas comigo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, que sempre me guiaram, aconselharam e apoiaram por toda minha jornada até aqui.

Agradeço ao Prof. Lineu Azuaga Ayres da Silva, que tornou esse trabalho possível.

Agradeço a meu amigo Sergio Sparano Vitelli, por todo apoio e ajuda dispensada para criação e conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas, que nunca me deixaram desistir.

Agradeço aos meus amigos, que hoje também são minha família.

Agradeço a Deus, que me deu a oportunidade de viver e desfrutar de tudo isso.

## SUMÁRIO

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| AGRADECIMENTOS .....                                         | ii   |
| SUMÁRIO .....                                                | iii  |
| LISTA DE FIGURAS .....                                       | iv   |
| LISTA DE GRÁFICOS .....                                      | iv   |
| LISTA DE TABELAS .....                                       | iv   |
| RESUMO .....                                                 | v    |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                          | 1    |
| 2. OBJETIVO .....                                            | 2    |
| 3. METODOLOGIA .....                                         | 2    |
| 4. INTERFACE .....                                           | 3    |
| 5. MÉTODOS UTILIZADOS .....                                  | 4    |
| 5.1 Terzaghi .....                                           | 4    |
| 5.1.1 Terzaghi – programa .....                              | 5    |
| 5.1.2 Discussão .....                                        | 7    |
| 5.2 RQD – Rock Quality Designation .....                     | 7    |
| 5.2.1 RQD – programa .....                                   | 8    |
| 5.2.2 Discussão .....                                        | 8    |
| 5.3 RSR – Rock Structure Rating .....                        | 9    |
| 5.3.1 RSR – programa .....                                   | 11   |
| 5.3.2 Discussão .....                                        | 14   |
| 5.4 RMR – Rock Mass Classification .....                     | 14   |
| 5.4.1 RMR – programa .....                                   | 16   |
| 5.4.2 Discussão .....                                        | 18   |
| 5.5 Q-System .....                                           | 19   |
| 5.5.1 Q – programa .....                                     | 21   |
| 5.5.2 Discussão .....                                        | 23   |
| 6. CONCLUSÃO .....                                           | 25   |
| 7. BIBLIOGRAFIA .....                                        | 26   |
| ANEXOS .....                                                 | I    |
| ANEXO A – Gráficos de Ajuste de Curva e Equacionamento ..... | II   |
| RSR .....                                                    | III  |
| RMR .....                                                    | IV   |
| Q .....                                                      | V    |
| ANEXO B – Tabelas .....                                      | VII  |
| Terzaghi .....                                               | VIII |
| RSR .....                                                    | IX   |
| RMR .....                                                    | XI   |
| Q .....                                                      | XIII |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Tela principal .....                        | 3  |
| Figura 2 - Tela de preenchimento de RSR .....          | 4  |
| Figura 3 - Terzaghi.....                               | 5  |
| Figura 4 - Tela de preenchimento de Terzaghi .....     | 6  |
| Figura 5 - Tela de resultado na tela principal.....    | 6  |
| Figura 6 - RQD.....                                    | 7  |
| Figura 7 - Preenchimento de RQD.....                   | 8  |
| Figura 8 - Resultado de RQD na tela principal.....     | 8  |
| Figura 9 - RSR (para túnel de 7,3 m de diâmetro). .... | 10 |
| Figura 10 - Preenchimento de RSR .....                 | 11 |
| Figura 11 - Resultado de RSR.....                      | 14 |
| Figura 12 - RMR stand-up time.....                     | 16 |
| Figura 13 - Preenchimento de RMR .....                 | 17 |
| Figura 14 - RMR - detalhe: ao usar ajuste manual ..... | 17 |
| Figura 15 - Resultado de RMR .....                     | 18 |
| Figura 16 - Tabela de solução de Q-system .....        | 20 |
| Figura 17 - Preenchimento de Q.....                    | 21 |
| Figura 18 - Preenchimento de Q – Jn .....              | 22 |
| Figura 19 - Resultado de Q.....                        | 23 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| Gráfico 1 - AF.....                     | 12 |
| Gráfico 2 - Concreto Projetado .....    | 13 |
| Gráfico 3 - Parafuso de Rocha.....      | 13 |
| Gráfico 4 - Arco Metalico 6 H 20.....   | 13 |
| Gráfico 5 - Arco Metalico 8 WF 31 ..... | 13 |
| Gráfico 6 - Arco Metalico 8 WF 48.....  | 13 |

## LISTA DE TABELAS

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Tabela 1 - AF .....                | 12 |
| Tabela 2 - Peso de Parâmetro ..... | 23 |

## RESUMO

A cada dia se faz mais necessário aliar o dinamismo e alta eficiência à redução de custos. Porém ao se tratar de segurança isso se torna extremamente delicado, por lidar com vidas e integridade de equipamentos.

O bom planejamento de suporte de aberturas subterrâneas garante custos otimizados e maior segurança a todos os trabalhos subterrâneos. Isso garante não só que vidas e equipamentos não sejam perdidos e que a produção não seja prejudicada, mas também a redução nos custos de suporte.

Porém esse tipo de trabalho requer análise constante e particular para cada trecho, pois as condições e solicitações podem diferir de um lugar para outro.

Esse trabalho visa agilizar o trabalho de dimensionamento a partir de um programa que reúna métodos confiáveis de dimensionamento de suporte a partir de classificação de maciços rochosos, para indicar o melhor método de suporte a ser empregado, de forma rápida e simples.

O programa foi escrito em Visual Basic 6.0. Com ele é possível calcular-se os parâmetros classificatórios de maciços rochosos pelos métodos de Terzaghi, RQD, RSR, RMR e Q-system.

**Palavras-chave:** Suporte de vias subterrâneas, *software*, classificação de maciços rochosos, Terzaghi, RQD, RSR, RMR, Q-system.

## 1. INTRODUÇÃO

Grande parte da segurança de uma abertura subterrânea está diretamente relacionada ao planejamento de suporte da mesma. Um bom projeto garante com que o custo seja otimizado, o risco seja conhecido, e a integridade dos equipamentos e vidas seja preservada.

Existem hoje diversos métodos de planejamento de suporte para aberturas subterrâneas, que são cada vez mais confiáveis e práticos. Porém a falta de conhecimento destes, e muitas vezes a falta de tempo de aplicá-los devido ao dinamismo dos tempos atuais, faz com que estes não sejam devidamente utilizados, dando lugar a métodos questionáveis, baseados geralmente na experiência pessoal do responsável. Geralmente isso pode resultar em dois problemas: o superdimensionamento, que acarreta em aumento de custos do empreendimento, ou o sub-dimensionamento, que pode vir a causar acidentes, e põe em risco equipamentos, instalações e equipe.

Este trabalho visa criar uma maneira mais rápida e confiável de utilizar as ferramentas existentes para uma pré-decisão, ou indicação do melhor método a ser utilizado para o suporte de aberturas subterrâneas, a partir de um programa simples, desenvolvido em Visual Basic, que auxilie os profissionais a melhor desfrutarem dos métodos de planejamento e dimensionamento de suporte.

## **2. OBJETIVO**

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver um software que auxilie no planejamento de suporte de aberturas subterrâneas, baseado nos métodos de projeto de abordagem empírica mais utilizados.

## **3. METODOLOGIA**

O programa será desenvolvido em Visual Basic 6.0, e utilizará métodos de classificação de maciços de Terzaghi, Deere (RQD), Wickham (RSR), Bieniawski (RMR), e Barton (Q).

A partir da classificação e dos dados de entrada ele retornará o método de suporte sugerido.

Para tanto tabelas serão inseridas no programa e gráficos deverão ser convertidos em equações que melhor os represente.

A interface deverá ser de fácil utilização e intuitiva. O programa ainda sugerirá valores para os campos de preenchimento.

Ao fim uma rotina de testes deverá ser feita para identificação de possíveis erros e discrepâncias.

#### 4. INTERFACE

O programa possui uma janela principal que concentra a lista dos métodos oferecidos, os valores destes e os resultados obtidos.

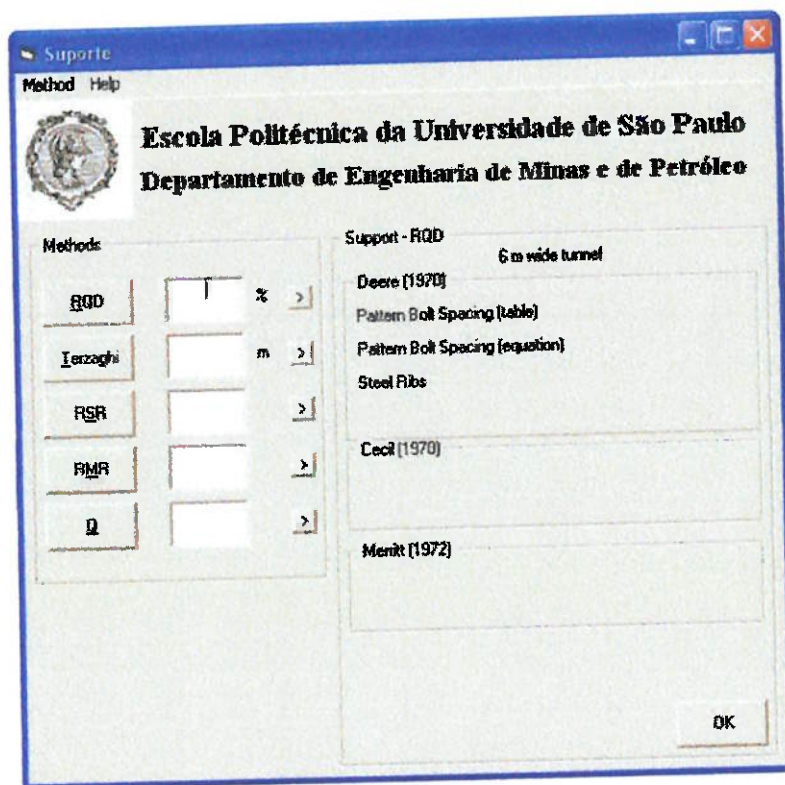


Figura 1 - tela principal

Os valores dos métodos utilizados podem tanto ser preenchidos manualmente pelo usuário, como calculados utilizando-se o formulário correspondente, que se abre ao clicar no botão.

Os resultados podem ser visualizados ao se clicar nos pequenos botões com sinal ">."

Figura 2 - tela de preenchimento de RSR

## 5. MÉTODOS UTILIZADOS

### 5.1 Terzaghi

Terzaghi formulou o primeiro método racional de classificação pela avaliação das cargas de rocha para o dimensionamento de suporte utilizando-se arcos de aço (1946).

O método se baseia no cálculo da carga de rocha a qual o túnel está submetido.

Posteriormente seu método foi revisado por Deere e Rose, que corrigiram os valores de Terzaghi para a tabela usada atualmente. As tabelas constam no Anexo B.

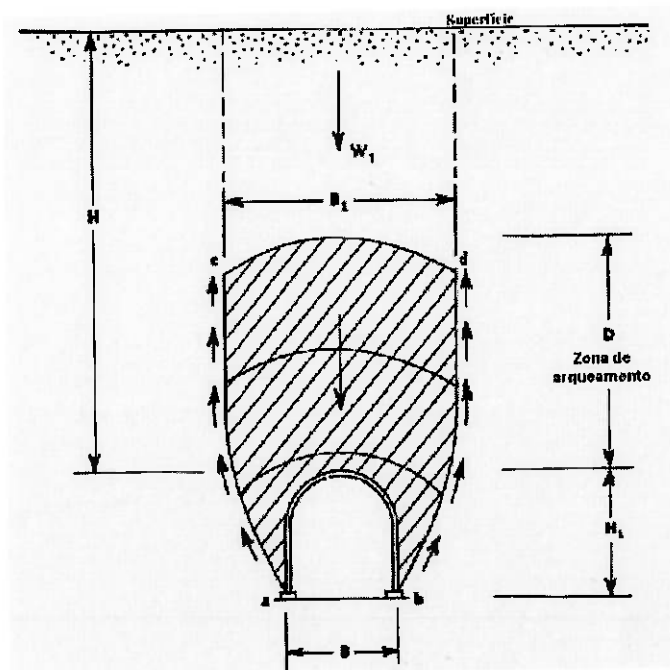


Figura 3 - Terzaghi

### 5.1.1 Terzaghi – programa

Como se trata de uma classificação qualitativa, para se obter os resultados é necessário que o usuário selecione as características que melhor descrevem o maciço estudado. O cálculo da carga é dado por:

$H_p = F \times B$  ou  $H_p = F \times (B + H_t)$ , a depender das características do maciço;

$H_p$  = carga

$F$  = fator estimado por Terzaghi

$B$  = largura da escavação

$H_t$  = altura da escavação

**Terzaghi's Rock Load Classification**

| Terzaghi                                                       | RQD      |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| <input type="radio"/> Hard intact                              | 95 - 100 |
| <input type="radio"/> Hard stratified or schistose             | 90 - 99  |
| <input type="radio"/> Massive, moderately jointed              | 85 - 95  |
| <input type="radio"/> Moderately blocky and seamy              | 75 - 85  |
| <input checked="" type="radio"/> Very blocky and seamy         | 30 - 75  |
| <input type="radio"/> Completely crushed but chemically intact | 3 - 30   |
| <input type="radio"/> Sand and Gravel                          | 0 - 3    |
| <input type="radio"/> Squeezing rock, moderate depth           | NA       |
| <input type="radio"/> Squeezing rock, great depth              | NA       |
| <input type="radio"/> Swelling rock                            | NA       |

RQD: 88.6 %  
 Refresh  
 Tunnel Width: 6 m  
 Tunnel Height: 5 m  
 0.4 B (B + H)  
 Range: 0.20 - 0.60 (B + H)  
 Rock Load Ht: 4.4 m  
 Insert  
 Cancel

Figura 4 - tela de preenchimento de Terzaghi

Como é dado um intervalo no qual F pode variar a depender do estado do maciço e do fator de segurança utilizado, o programa retorna este intervalo, e o valor médio de F. O valor de F pode ser alterado pelo usuário.

**Suporte**  
 Method Help  
 Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
 Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Methods

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| RQD      | 88.6 % | > |
| Terzaghi | 4.4 m  | > |
| RSR      |        | > |
| RMR      |        | > |
| Q        |        | > |

Support - Terzaghi

Remarks:  
 Little or no side pressure  
 Be sure to select the rock mass classification in Terzaghi  
 OK

Figura 5 - tela de resultado na tela principal

Os resultados finais são a carga Ht e as observações de Terzaghi a respeito do suporte e tensões.

### 5.1.2 Discussão

Com o desenvolvimento de novas técnicas de suporte (concreto projetado, parafuso de rocha, entre outros), este método tornou-se inadequado e obsoleto, pois se atém ao dimensionamento utilizando arcos metálicos. Além disso ele é bastante grosseiro por não levar em consideração fatores que poderiam refinar o cálculo, como condições de fraturas por exemplo. Porém ele tem sua importância ao fornecer um método rápido e simples para se fazer estimativas iniciais de carga e grau de suporte necessário.

### 5.2 RQD – Rock Quality Designation

Desenvolvido por Deere em 1964, o índice é calculado a partir da recuperação de testemunho em sondagem de calibre NX (54,7 mm) e comprimento preferencialmente maior que 1,5m. O método consiste em somar os comprimentos de fragmentos maiores que 10cm, e dividir pelo comprimento total.

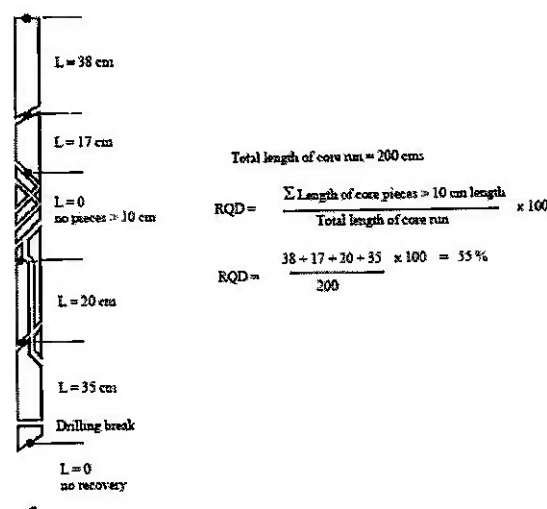


Figura 6 - RQD

Porém, caso a sondagem não seja disponível, pode-se estimar o RQD a partir do número total de fraturas por metro cúbico (Jv) – (Palmstrom – 1982):

$$RQD = 115 - 3,3 Jv$$

Essa estimativa diminui a influência do direcionamento da perfuração na obtenção do RQD.

### 5.2.1 RQD – programa

O cálculo do RQD é bastante simples. O usuário deve inicialmente escolher se deseja calcular a partir de  $J_v$  ou dos dados de sondagem, e em seguida preencher os campos necessários.

RQD Rock Quality Designation (Deere)

Choice  
☒ With core ☐ Without core

Insert  
Cancel  
Help

Jv (without core)  
\* total number of joints per cubic meter

2000 Total length of core run

1772 Sum of length of core pieces > 10 cm length

88.6 % RQD

Instruction

Entry must be in same unity

Figura 7 - preenchimento de RQD

A estimativa de suporte é baseada nas sugestões dadas por Deere (1970), Cecil (1970) e Merritt (1972).

Support - RQD

6 m wide tunnel

Deere (1970)

Pattern Bolt Spacing (table) None

Pattern Bolt Spacing (equation) 2.0 m

Steel Ribs None

Cecil (1970)

None

Merritt (1972)

None

OK

Figura 8 - resultado de RQD na tela principal

### 5.2.2 Discussão

Apesar do método já possibilitar uma análise quantitativa do fraturamento do maciço e poder ser relacionado aos novos métodos de suporte, este ainda tem muitas limitações, não sendo aconselhável ser usado isoladamente, a não ser para estimativas iniciais.

O método também não apresenta informações úteis que podem ser obtidas a partir do testemunho. Para uma descrição mais acurada do fraturamento do maciço aconselha-se que seja também utilizado o método de avaliação de número de fraturas por metro em trechos isofraturados. Este último permite se ter uma idéia melhor de como se distribuem as fraturas ao longo da perfuração.

Ainda, o RQD é extremamente dependente da sondagem. Vários fatores influenciam consideravelmente no resultado, entre eles a recuperação do testemunho e o direcionamento do furo.

A maior aplicabilidade do RQD atualmente é como parâmetro importante nas classificações mais usadas atualmente.

### **5.3 RSR – Rock Structure Rating**

RSR foi desenvolvido por Wickham, Tiedemann e Skinner em 1972 nos Estados Unidos. Foi o primeiro sistema completo de classificação de maciços rochosos proposto desde Terzaghi. Ele inovou em vários aspectos. Entre eles, o fato de se tratar de uma classificação quantitativa, e não qualitativa como a de Terzaghi; incorporar vários parâmetros, ao contrário do RQD que depende apenas da qualidade do material recuperado; e possuir entrada e saída de dados.

O RSR considera duas categorias de fatores que influenciam no comportamento da escavação: os parâmetros geológicos e os parâmetros construtivos.

Os parâmetros geológicos são: tipo de rocha, padrão de descontinuidades, orientação das descontinuidades, tipo de descontinuidade, falhas principais e dobramentos, propriedades da rocha, e grau de alteração.

Os parâmetros construtivos são: tamanho do túnel, direção da escavação, e método de escavação.

Esses parâmetros foram agrupados em três parâmetros básicos: A, B e C, onde o valor de  $RSR = A + B + C$  com valor máximo de 100.

Em escavações mecânicas o dano ao maciço é menor do que em escavações que utilizam perfuração e desmonte com explosivos. Com isso criou-se um fator de correção (AF) para tais casos. O fator sugerido varia apenas em função do diâmetro da escavação, como dado na tabela abaixo.

A partir do valor de RSR pode-se estimar o método de suporte a partir de gráficos como o que segue:

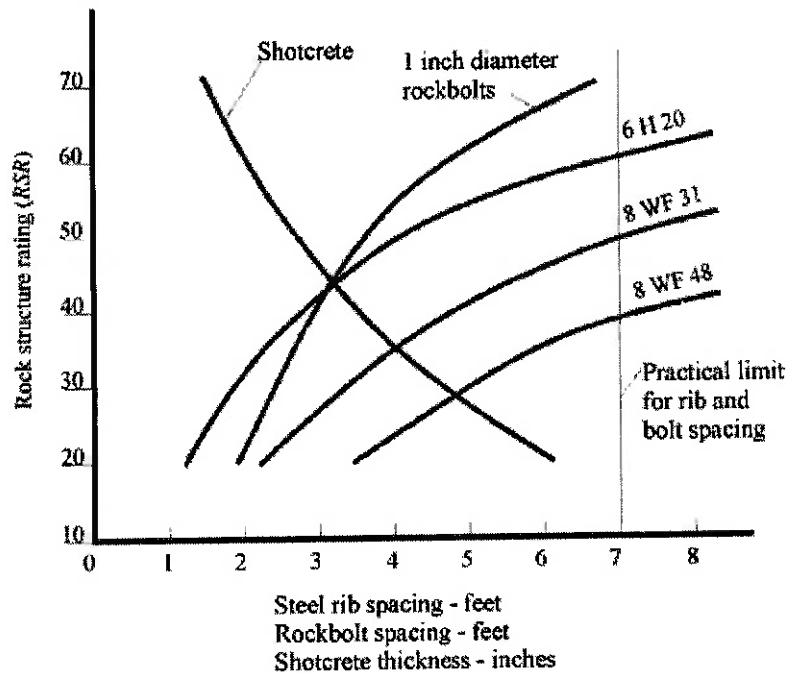


Figura 9 - RSR (para túnel de 7,3 m de diâmetro)  
Fonte: Hoek, E. Rock Engineering. 1998.

Ainda, foram propostas as seguintes relações:

- Parafusos de rocha

$$\text{Espaçamento} = (\text{carga nominal do parafuso}) / (\text{solicitação})$$

Ex.: Para um parafuso que tem como carga nominal (resistência) = 24000 lb, de 25mm diâmetro, têm-se:

$$\text{Espaçamento (ft)} = 24000 / (W), \quad W = \text{solicitação em (lb/ft}^2\text{)} \quad (\text{RSR-i})$$

- Concreto projetado

Por não encontrar nenhuma correlação entre condições geológicas e requerimento de concreto projetado, as seguintes relações empíricas foram sugeridas:

$$T = 1 + (W/1,25) \quad (\text{RSR-ii})$$

Ou

$$T = D (65 - \text{RSR})/150 \quad (\text{RSR-iii})$$

Onde T = espessura da camada de concreto projetado (in)

W = carregamento de rocha (lb/ft<sup>2</sup>)

D = diâmetro do túnel (ft)

### 5.3.1 RSR – programa

A exemplo da tabela proposta (Anexo B), o programa consiste em atribuir valores relativos às opções selecionadas pelo usuário. Os valores são somados, resultando no valor do RSR.

RSR - Rock Structure Rating (Wickham)

**Parameter A - General Area Geology**

Basic Rock Type

- ☐ Igneous
- ☒ Metamorphic
- ☐ Sedimentary

Hardness

- ☐ Hard
- ☒ Medium
- ☐ Soft
- ☐ Decomposed

Geological Structure

- ☐ Massive
- ☒ Slightly Faulted or Folded
- ☐ Moderately Faulted or Folded
- ☐ Intensely Faulted or Folded

**Parameter B - Joint Pattern, Direction of Drive**

Strike

- ☒ Perpendicular to Axis
- ☐ Parallel to Axis (any direction of drive)

Direction of Drive

- ☐ Both (dip Flat)
- ☐ With Dip
- ☒ Against Dip

Dip of Prominent Joints

- ☐ Flat
- ☒ Dipping
- ☐ Vertical

Average Joint Spacing

- ☐ Very Closely Jointed, < 25 mm
- ☐ Closely Jointed, 25 - 150 mm
- ☐ Moderately Jointed, 150 - 300 mm
- ☒ Moderate to Blocky, 300 - 600 mm
- ☐ Blocky to Massive, 0.6 - 1.2 m
- ☐ Massive, > 1.2 m

**Parameter C - Groundwater, Joint Condition**

Joint Condition: Fair

Anticipated Water Inflow (l/m of tunnel): Slight, < 2.5 l/m

Instruction:

Machine Bored Tunnel: ☐

Tunnel Diameter: m

BSR: Result: 60.0

Insert

Cancel

Figura 10 - preenchimento de RSR

Para a correção do caso de escavação mecânica, uma curva foi ajustada aos dados tabelados. Isso propiciou a linearização do resultado, para uma estimativa mais acurada do AF. Logo, AF é calculado a partir da equação encontrada, e não a partir de valores indicados pela tabela.

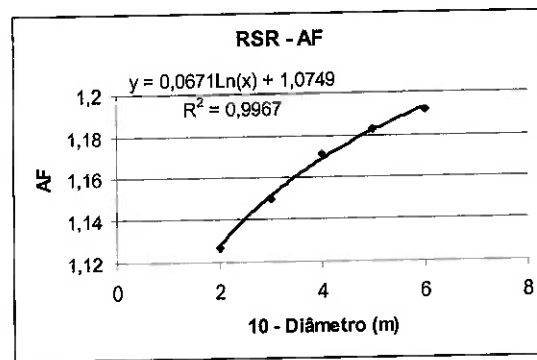


Gráfico 1 – AF

Tabela 1 - AF

| D - diâmetro do túnel (m) | 10 - D (m) | AF    |
|---------------------------|------------|-------|
| 8                         | 2          | 1,127 |
| 7                         | 3          | 1,150 |
| 6                         | 4          | 1,171 |
| 5                         | 5          | 1,183 |
| 4                         | 6          | 1,192 |

Esse método de linearização da resposta será novamente utilizado para casos semelhantes nos método que seguem.

A recomendação de suporte divide-se em duas partes distintas. A primeira se baseia no gráfico, relativo a túnel de 7,3 m de diâmetro. Ajustou-se equações às curvas sugeridas, como segue:

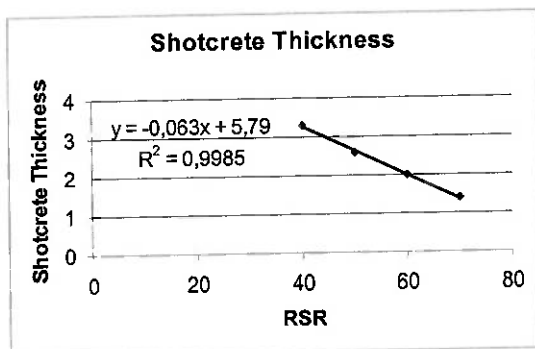


Gráfico 2- Concreto Projetado

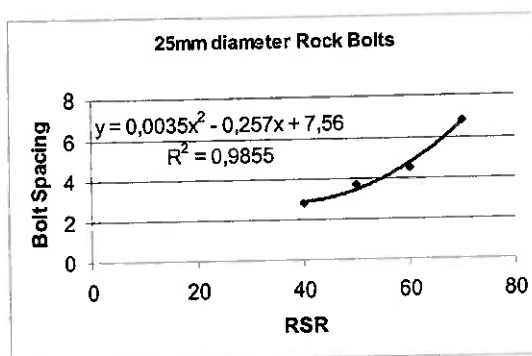


Gráfico 3 - Parafuso de Rocha

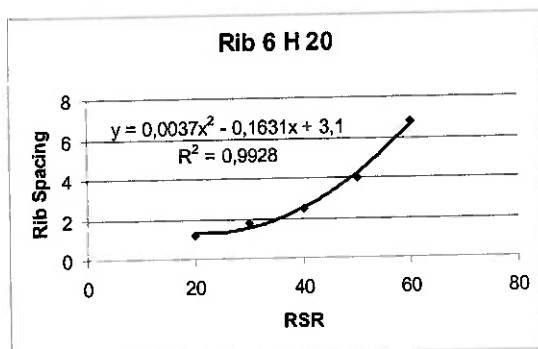


Gráfico 4 - Arco Metálico 6 H 20

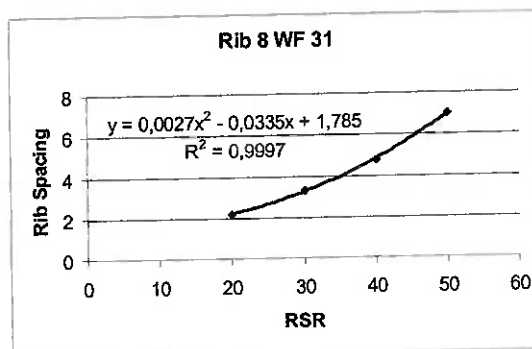


Gráfico 5 - Arco Metálico 8 WF 31

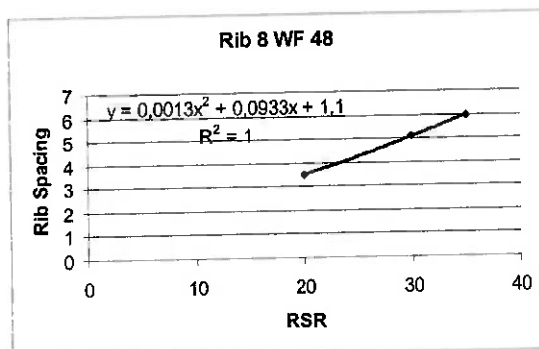


Gráfico 6 - Arco Metálico 8 WF 48

A segunda parte da solução parte das equações acima apresentadas (RSR-i, RSR-ii e RSR-iii), referentes a espaçamento dos parafusos e espessura da camada de concreto projetado, onde o usuário deve fornecer também a carga (W) e/ou o diâmetro da escavação (D).

Support - RSR

7.3 m diameter tunnel

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Shotcrete Thickness (mm) | 51.1 mm |
| Bolt Spacing (m)         | 1.4 m   |
| Rib GH20 Spacing (m)     | 2.0 m   |
| Rib BWF31 Spacing (m)    |         |
| Rib BWF48 Spacing (m)    |         |

---

30 Load (W) in t/m<sup>2</sup> ok

1.19 m = Spacing of bolts  
150.3 mm = Shotcrete thickness

6 Diameter of excavation (m) ok

16.7 mm = Shotcrete thickness

25 mm diameter rock bolt (10.1 t)

OK

Figura 11 - resultado de RSR

### 5.3.2 Discussão

RSR é muito útil para seleção de arcos metálicos. Porém, como em qualquer método empírico, não se deve utilizá-lo além dos limites suficientemente embasados por dados confiáveis. Sendo assim, não é recomendado utilizar o RSR para projetos envolvendo parafuso de rocha e concreto projetado.

No cálculo de espaçamento utilizando-se a equação RSR-i, leva-se em consideração apenas a carga para o qual foi projetado, desconsiderando fatores como interação entre os blocos de rocha e fraturamento.

Apesar de ser um método pouco empregado hoje, o RSR serviu como base de todos os métodos mais importantes e mais utilizados atualmente.

## 5.4 RMR – Rock Mass Classification

Desenvolvido por Bieniawski em 1973, o RMR foi ajustado ao longo do tempo à medida que o número de mais casos disponíveis aumentava, mantendo, porém, sua essência inalterada.

Este parâmetro tem diversas utilizações, como em projetos de túneis, taludes, fundações e minas.

Seis parâmetros são utilizados:

1. Resistência à compressão uniaxial da rocha;

2. RQD;
3. Espaçamento das descontinuidades;
4. Condição das descontinuidades;
5. Condições do lençol freático;
6. Orientação das descontinuidades.

Para aplicar o RMR, o maciço deve ser dividido em regiões estruturais que possuam características aproximadamente uniformes.

Então, assim como o RSR, dá-se notas aos diversos parâmetros do método, onde cada parâmetro tem seu peso de acordo com a sua importância para a estabilidade da abertura.

A partir do valor do RMR, pode-se estimar o “stand-up time” pelo diagrama abaixo, e pode-se também sugerir o sistema de suporte. Ainda, a partir do estudo de Hoek e Brown, pode-se estimar a resistência do maciço.

Porém o RMR tende a ser um método bastante conservador, o que leva a superdimensionar o sistema de suporte. Esse aspecto é contornado estudando-se o comportamento da rocha durante a escavação e ajustando o valor para as condições locais. Kaiser propôs uma correção para o RMR destinado a aberturas sem suporte:

$$\text{RMR (NS)} = 22 \ln(\text{ED}) + 25$$

A partir do valor obtido de RMR propõe-se o sistema de suporte e escavação a ser utilizado.

O tempo de auto-suporte do túnel em relação a RMR e largura da escavação é dado pelo seguinte gráfico:

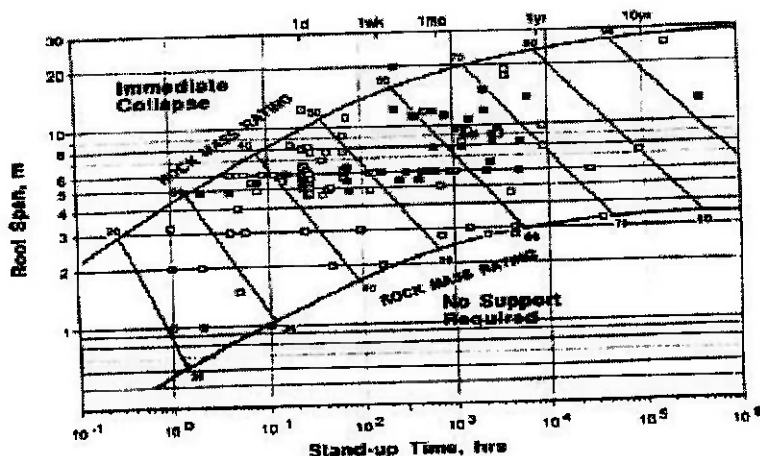


Figura 12 - RMR stand-up time

### 5.4.1 RMR – programa

Os parâmetros de caráter quantitativo (tais como resistência à compressão uniaxial e RQD) foram relacionados aos valores parciais de RMR a eles atribuídos a partir de equações, no intuito de linearizar a resposta, ao invés de simplesmente utilizar valores atribuídos ao intervalo, utilizando o mesmo método usado em AF de RSR. Com isso espera-se contornar os problemas com valores próximos às extremidades dos intervalos e obter valores de RMR mais distintos e precisos para diferentes situações.

Para tanto, o valor parcial de RMR atribuído ao intervalo foi atribuído ao valor médio do intervalo, e os valores máximo e mínimo, atribuídos aos valores extremos citados na tabela.

Para três casos, resistência à compressão uniaxial, RQD e espaçamento das descontinuidades, os gráficos correspondentes ao equacionamento da relação já existiam em bibliografia. Nesses três casos chegou-se a equações quadráticas relativamente simples, que foram utilizadas no programa.

Ao preencher os campos, o usuário pode saber o valor parcial de RMR atribuído a cada parâmetro clicando no botão “RMR.”

Figura 13 – preenchimento de RMR

Um *checkbox* permite que o usuário utilize para o cálculo valores dos parâmetros por ele ajustados manualmente.

Figura 14 - RMR - detalhe: ao usar ajuste manual

A partir do valor de RMR o programa sugere o avanço, malha de parafusos e arcos metálicos da mesma forma que a tabela o faria. Porém a relação “RMR – espessura do concreto projetado” foi aproximada por uma equação, utilizando-se o mesmo método anteriormente utilizado.

Os gráficos, curvas e equações se encontram no Anexo A.

Suporte

Method Help

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Methods

|         |      |   |                                     |
|---------|------|---|-------------------------------------|
| BQD     | 86.6 | % | >                                   |
| Izazghi | 4.4  | m | >                                   |
| RSR     | 60   |   | >                                   |
| RMR     | 79.4 |   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Q       |      |   | >                                   |

Support RMR 10 m span

Rock Mass Class  
Good Rock

Excavations  
Full face, 1 - 1.5 m advance. Complete support 20 m from face

Rock Bolts  
Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m with occasional wire mesh

Shotcrete  
50 mm in crown, where required

Steel Sets  
None

Graph Stand-up Time

Correlation

OK

Figura 15 - resultado de RMR

#### 5.4.2 Discussão

O RMR é um dos métodos mais utilizados hoje para estimativa de suporte. Seus dados de entrada são relativamente simples de serem obtidos, e é um método simples e fácil de ser utilizado.

Seu trunfo é a grande adaptabilidade a diferentes casos, verificada em diversas minas, fundações e taludes, e seu contínuo ajuste à medida que mais casos são considerados.

Porém, ao se utilizar intervalo de valores para sugerir os diferentes esquemas de suporte, o método requer bom senso para sua aplicação, principalmente nos valores próximos aos extremos do intervalo. Isto é, um maciço classificado com RMR = 39 ("Poor Rock") não deveria ter seu esquema de suporte muito diferente de um outro classificado com RMR = 42 ("Fair Rock"), visto que RMR atinge um valor máximo de 100 e mínimo de -50 (para taludes).

Finalmente, verifica-se que a tabela utilizada não passou por nenhuma revisão considerável desde 1973, e portanto não considera alternativas que usem novas tecnologias (onde se sugere a utilização de concreto projetado e malha de aço, talvez pudesse ser utilizado concreto projetado reforçado com fibras de aço, por exemplo).

## 5.5 Q-System

O sistema Q de classificação de maciços foi desenvolvido em 1974 por Barton, Lien e Lunde, na Noruega.

Este foi baseado na análise de 212 casos de túneis, e se trata de um sistema quantitativo, assim como RSR e RMR.

Os valores assumidos por Q variam entre 0,001 e 1000 em escala logarítmica, e é obtido a partir de seis parâmetros:

1. RQD;
2. Número de famílias de fraturas;
3. Atrito da fratura ou descontinuidade mais desfavorável;
4. Grau de alteração ou preenchimento da fratura mais fraca;
5. Vazão de água;
6. Condições de tensões.

Esses seis parâmetros são agrupados em forma de quocientes que resultam no valor do parâmetro Q.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Onde:

RQD – Rock Quality Designation (Deere)

$J_n$  – Parâmetro de família de fraturas

$J_r$  – Parâmetro de atrito da fratura

$J_a$  – Parâmetro de alteração da fratura

$J_w$  – Parâmetro de pressão de água

SRF – Fator de tensão

O primeiro quociente descreve a rocha e tamanho dos blocos, o segundo descreve os contatos, e o terceiro, as tensões.

Para estimar o suporte a partir do sistema Q, calcula-se a dimensão equivalente da abertura (ED).

$$ED = \frac{\text{Dimensão}}{ESR}$$

onde a Dimensão é a largura/diâmetro da abertura e ESR é a razão de suporte da escavação (excavation support ratio), dado pela tabela (Anexo A).

O comprimento dos parafusos pode ser obtido pela equação:

$$L = \frac{2 + 0,15B}{ESR}$$

E a maior abertura que não requer suporte pode ser calculada por:

$$\text{Max} = 2(ESR)Q^{0,4}$$

Os valores dos parâmetros para o cálculo de Q são dados por tabelas.

A partir do valor Q resultante e de ED, pode-se chegar ao método de suporte utilizando o gráfico ou tabela.

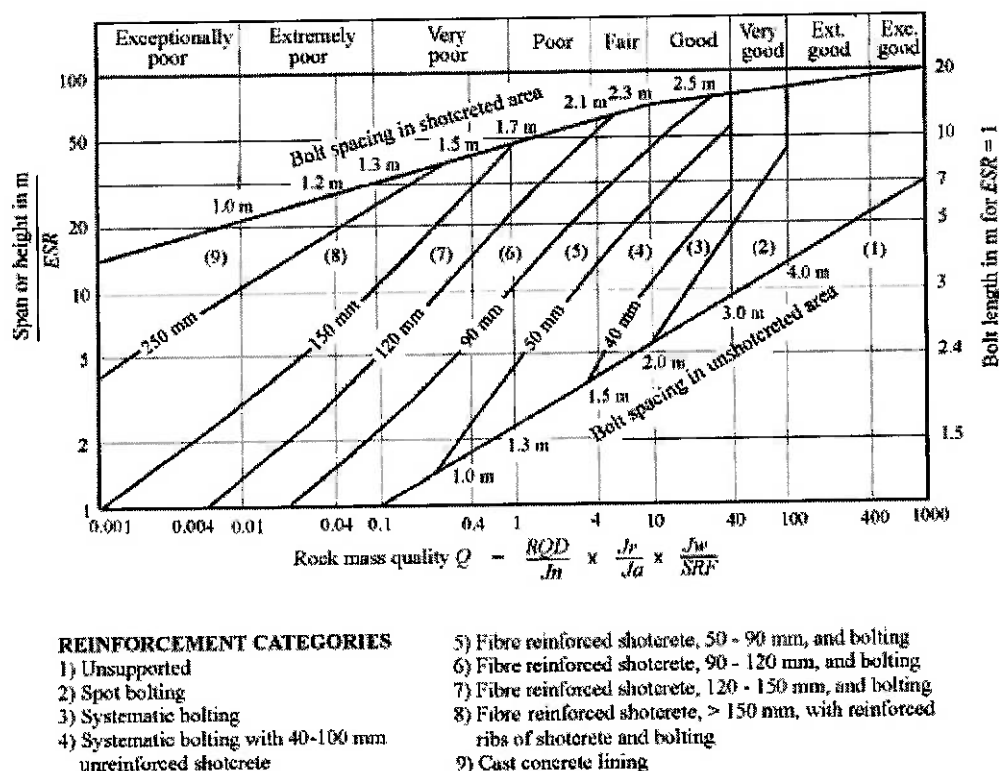


Figura 16 - Tabela de solução de Q-system  
Fonte: Hoek, E. RockEngineering. 1998.

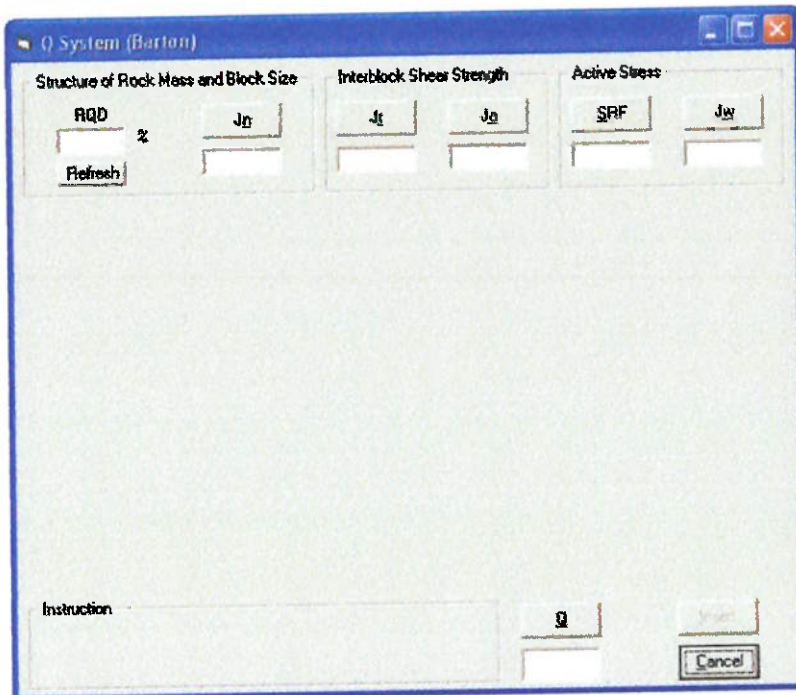
Correlações entre os sistemas RSR, RMR e Q foram propostas por alguns autores.

$$\text{RMR} = 9 \ln(Q) + 44 \quad (\text{Bieniawski, 1976})$$

$$\text{RSR} = 0,77 \text{ RMR} + 12,4 \quad (\text{Rutledge and Preston, 1978})$$

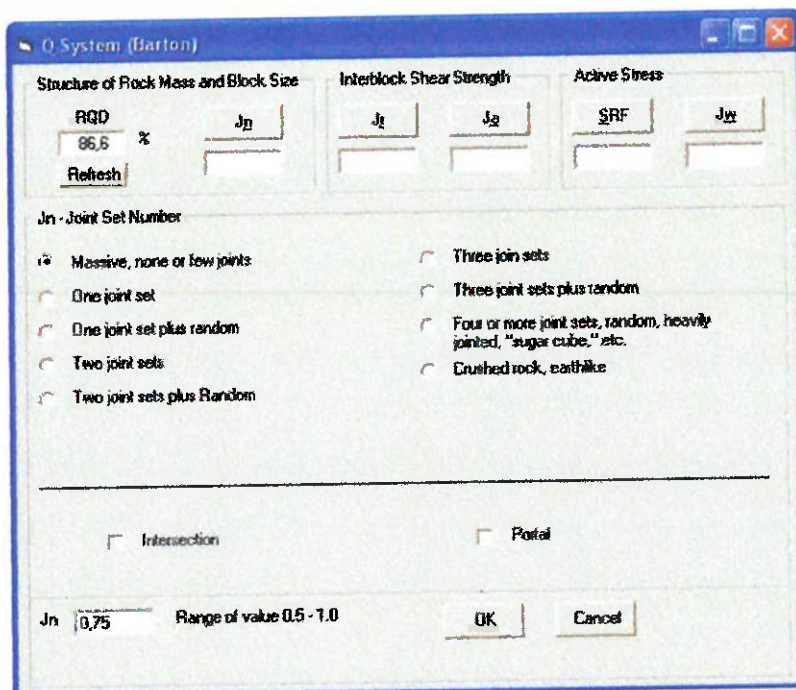
### 5.1.1 Q – programa

Como geralmente é fornecido um intervalo de valores para os parâmetros dependendo da classificação de cada um, o programa retorna o valor médio do intervalo e indica qual é o intervalo, de modo que o usuário possa alterar o valor de acordo com seu próprio julgamento.



The screenshot shows the 'Q System (Barton)' dialog box. It has three main sections: 'Structure of Rock Mass and Block Size', 'Interblock Shear Strength', and 'Active Stress'. In the first section, 'RQD' is set to 2% and 'Jn' is empty. In the second section, 'Jt' and 'Ja' are empty. In the third section, 'SRF' and 'Jw' are empty. There is a 'Refresh' button under RQD. At the bottom, there is an 'Instruction' field, a 'Q' field, and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 17 - Preenchimento de Q



The screenshot shows the 'Q System (Barton)' dialog box with more options. 'RQD' is now 86.6%. Under 'Jn - Joint Set Number', there are two columns of radio button options. The first column includes 'Massive, none or few joints' (selected), 'One joint set', 'One joint set plus random', 'Two joint sets', and 'Two joint sets plus Random'. The second column includes 'Three joint sets', 'Three joint sets plus random', 'Four or more joint sets, random, heavily jointed, "sugar cube," etc.', and 'Crushed rock, earthlike'. Below these are 'Intersection' and 'Portal' checkboxes. At the bottom, 'Jn' is set to 0.75, with a note 'Range of value 0.5 - 1.0'. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Figura 18 - Preenchimento de Q – Jn

Para o dimensionamento do suporte foi utilizado o gráfico, pois este permitia uma melhor análise numérica do que a tabela.

Cada uma das curvas do gráfico foi equacionada como nos métodos anteriores (gráfico de ajuste de curva no Anexo A), dividindo-se o gráfico em partes quando necessário, para obter equações distintas para diferentes partes de uma mesma curva.

Após o cálculo de ED, o usuário deverá clicar no botão "Analysis" para que o programa faça a estimativa de dimensionamento do suporte.

**Suporte**  
Method Help

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**  
**Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo**

**Methods**

|         |          |   |   |
|---------|----------|---|---|
| HQD     | 86.6     | % | > |
| Iczeghi | 4.4      | m | > |
| RSR     | 60       |   | > |
| RMR     | 79.4     |   | > |
| Q       | 5248,485 |   | > |

**Support - Q**

ED  
ESR C. Permanent mine openings Note  
1.6 User edited  
Width 6 ED 3.8

**Classification**  
Exceptionally Good

Rock Bolt  
N/A  
Bolt length: 1.8 m

Shotcrete  
None

Remarks  
Unsupported

Max unsupported span: 38.4 m  
Max span: 203.5 m

Correlation

Analysis Graph 1 Graph 2 OK

Figura 19 - Resultado de Q

### 5.5.2 Discussão

Este, juntamente com o RMR, são os métodos mais utilizados hoje em dia para a classificação de maciços rochosos. Ambos incorporam parâmetros geológicos, geométricos e de design, e transformam parâmetros qualitativos em quantitativos.

As principais diferenças estão no uso de parâmetros distintos e no peso dado a parâmetros similares. Porém a maior diferença é a inexistência de um parâmetro relativo às tensões no RMR.

Tabela 2 - Peso de Parâmetro

| Q – System     |      | RMR                                |      |
|----------------|------|------------------------------------|------|
| Parâmetro      | Peso | Parâmetro                          | Peso |
| RQD            | 29%  | RQD                                | 20%  |
| SRF            | 14%  | Resist. da rocha                   | 15%  |
| J <sub>w</sub> | 19%  | Pressão d'água                     | 15%  |
| J <sub>n</sub> | 9%   | Espaçamento de<br>descontinuidades | 20%  |
| J <sub>a</sub> | 20%  | Condição das<br>descontinuidades   | 30%  |
| J <sub>r</sub> | 9%   |                                    |      |

Entretanto, alguns chamam a atenção à dificuldade de se trabalhar com escala logarítmica, principalmente ao se comparar dois casos distintos, e defendem uma variação onde Q varia linearmente de zero a 100.

Mais uma vez o usuário não pode se ater aos valores de resposta do programa, devendo se munir mais uma vez de bom senso e intuição lógica, a fim de chegar a um valor confiável. Vale lembrar que vários fatores, como perturbação provocada por galerias vizinhas e tectonia, estarão embutidos nos parâmetros de entrada, que deverão ser ajustados pelo próprio usuário.

## 6. CONCLUSÃO

O programa foi desenvolvido com sucesso, apesar de ainda ter limitações. Algumas delas devido à falta de conhecimento do programador sobre a linguagem utilizada, outras devido à falta de métodos numéricos disponíveis. Entre elas pode-se destacar o fato do programa não possuir um código que permita edição de limites, fórmulas ou constantes pelo usuário, assim como também não possui sistema para salvar ou imprimir resultados. Seria desejável também que permitisse a entrada de alguns dados de modo mais centralizado. Alguns resultados são específicos para apenas um diâmetro de escavação. Outros não possuem uma resposta com relação contínua em relação aos dados de entrada (pois provêm de tabelas e não de equações). Uma análise financeira também poderia ser útil para avaliação de mais de uma alternativa de suporte equivalente.

Entretanto o programa cumpre seu propósito de classificação de maciços e direcionamento da solução do problema de suporte de forma satisfatória.

Além disso ele abre para discussão a necessidade de desenvolvimento métodos com respostas mais contínuas (equacionadas ao invés de tabeladas), e de índices de suportabilidade que permitam a comparação e correlação direta entre diversos sistemas de suporte, integrados ou não, inclusive novas tecnologias.

Chama a atenção também para a falta de atualização dos sistemas de suporte sugeridos pelos métodos analisados.

É importante lembrar que o método de suporte indicado pelo programa tem apenas o intuito de direcionar o planejamento do suporte, e não tem a pretensão de prover o usuário de uma solução definitiva apenas com a utilização deste. Esta é apenas uma parte da abordagem empírica do desenvolvimento de uma solução para um problema de suporte.

Por fim, é importante ressaltar a importância de um dimensionamento de suporte bem feito, pois em trabalhos como este é que traçamos a tênue linha que separa o empreendimento mineral de desastres fatais.

## 7. BIBLIOGRAFIA

HOEK, Evert. **Rock Engineering: The Application of Modern Techniques to Underground Design**. São Paulo: CBMR – Brazilian Rock Mechanics Committee, 1998. 268 p.

HOEK, Evert et al. **Support of Underground Excavations in Hard Rock**. 2. ed. Rotterdam: A. A. Balkema, 1997. 215 p.

BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1989. 250 p.

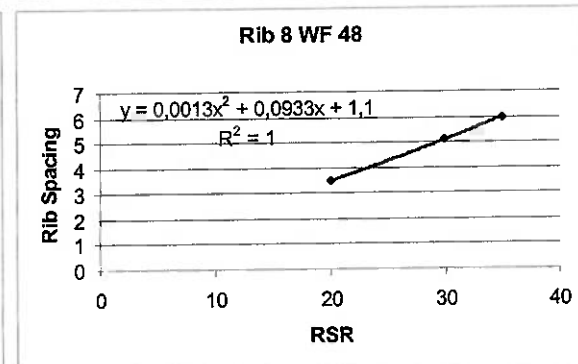
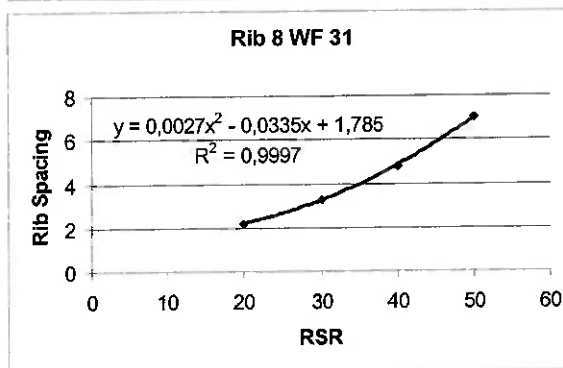
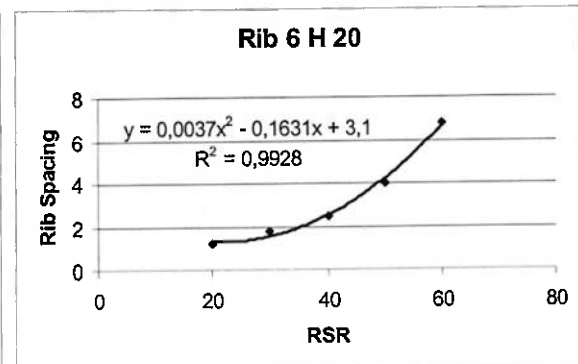
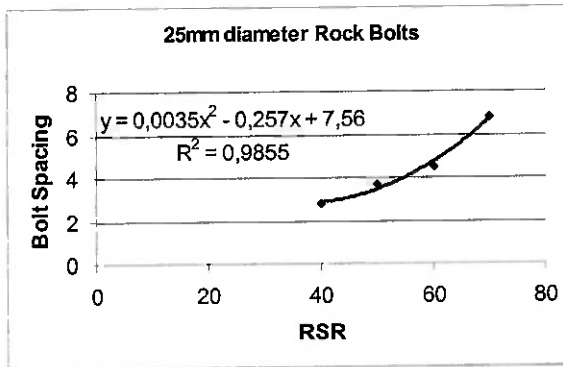
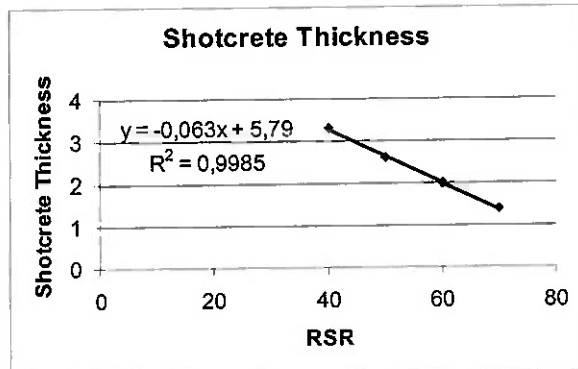
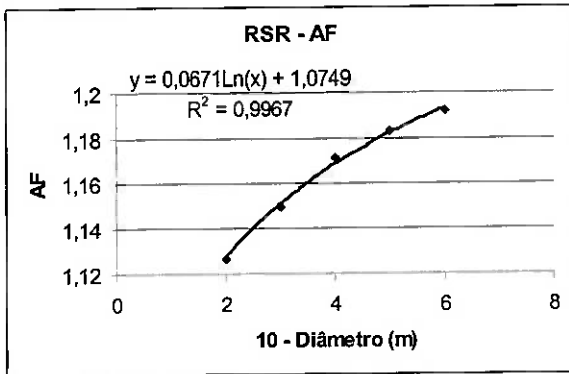
## **ANEXOS**

## **ANEXO A**

### **Gráficos de ajuste de curva e equacionamento**

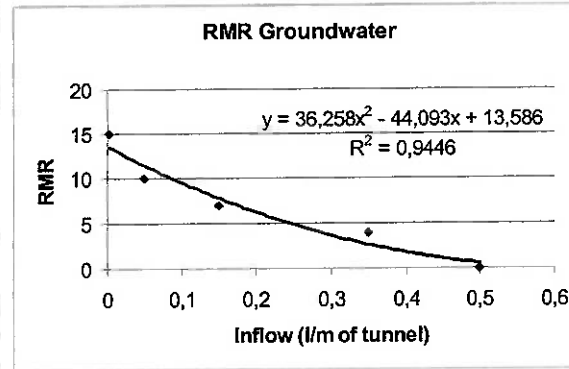
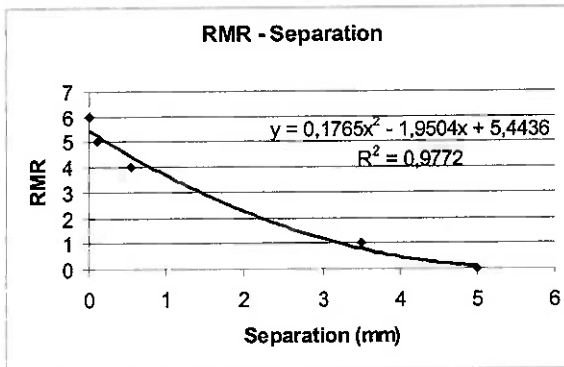
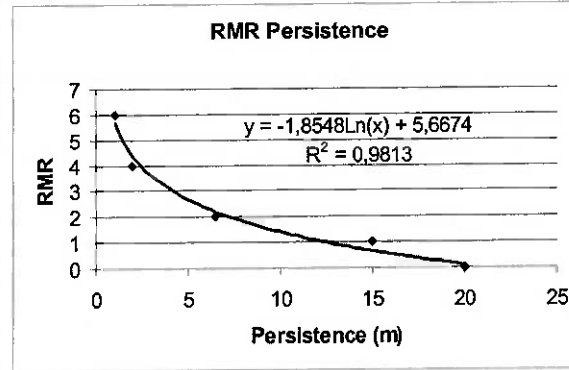
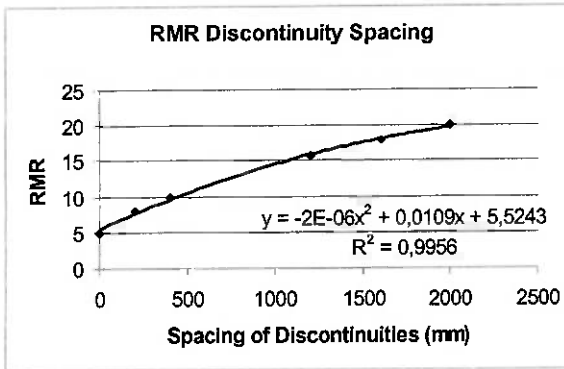
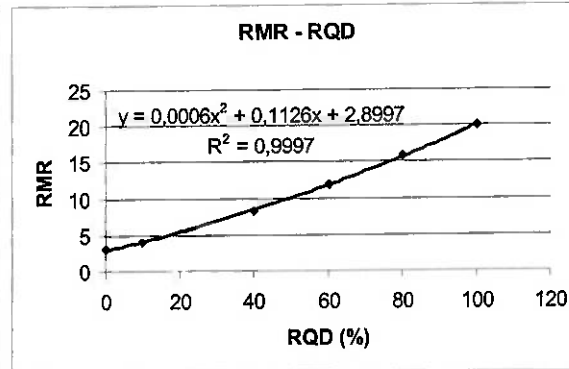
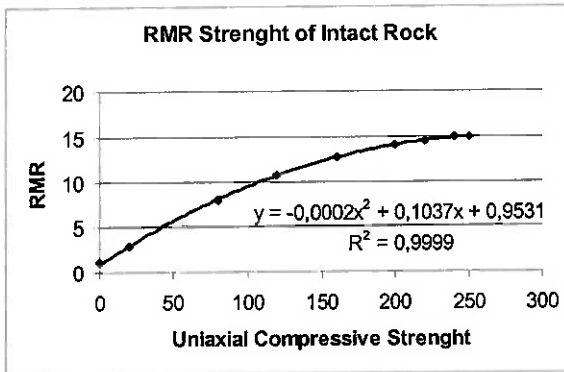
## RSR

### Ajuste de Curvas e Equacionamento



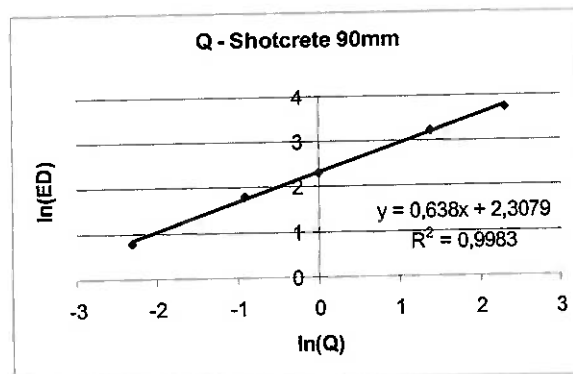
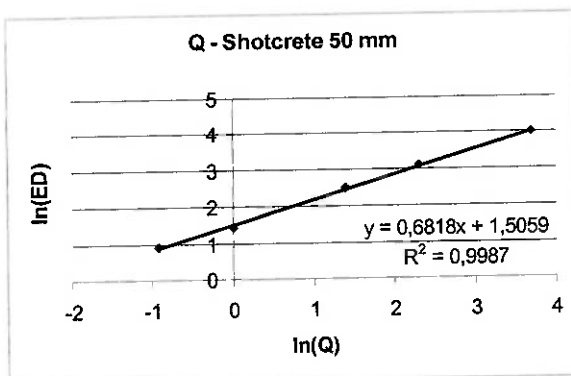
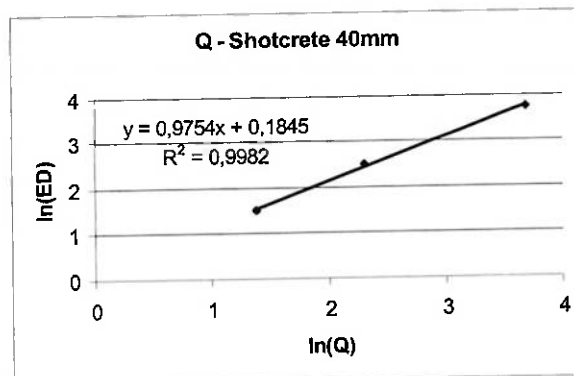
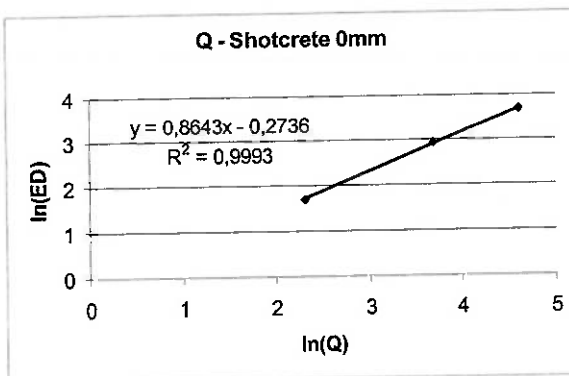
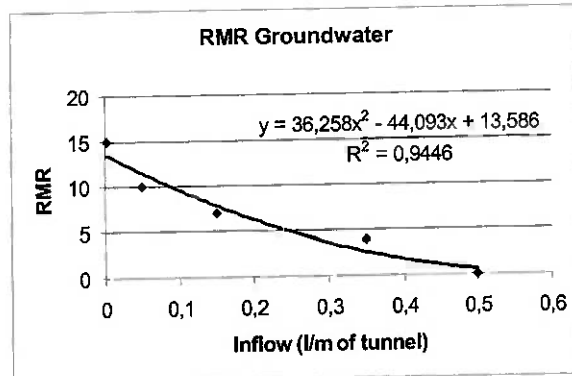
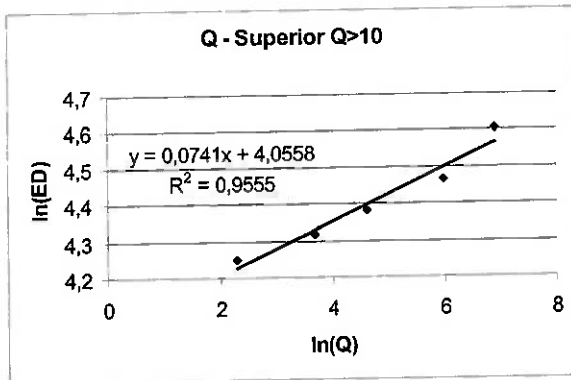
# RMR

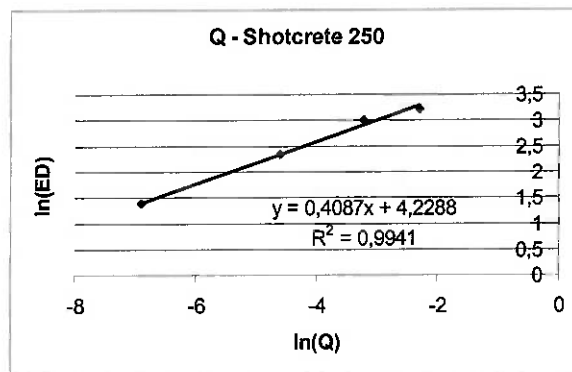
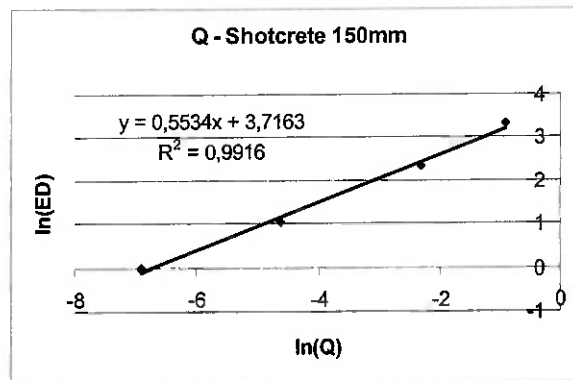
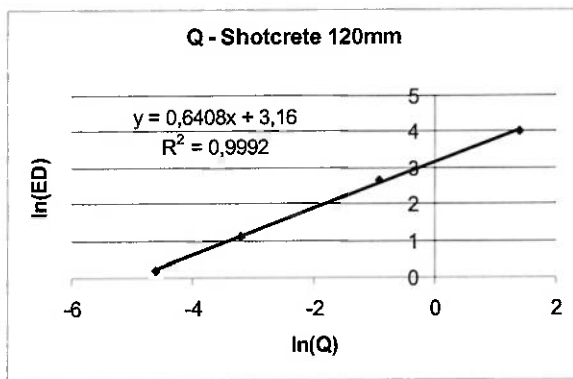
## Ajuste de Curvas e Equacionamento



Q

## Ajuste de Curvas e Equacionamento





## **ANEXO B**

### **Tabelas**

# Terzaghi

## Tabela para Cálculo

**TABLE 3.2 Original Terzaghi's Rock Load Classification of 1946<sup>a,b</sup>**

| Rock Condition <sup>c</sup>       | Rock Load $H_p$ (ft)                                   | Remarks                                                                                                                        |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Hard and intact                | Zero                                                   | Light lining required only if spalling or popping occurs                                                                       |
| 2. Hard stratified or schistose   | 0-0.5B                                                 | Light support, mainly for protection against spalls. Load may change erratically from point to point                           |
| 3. Massive, moderately jointed    | 0-0.25B                                                | No side pressure                                                                                                               |
| 4. Moderately blocky and seamy    | $0.25B - 0.35(B + H_r)$                                | Little or no side pressure                                                                                                     |
| 5. Very blocky and seamy          | $(0.35 - 1.10)(B + H_r)$                               | Considerable side pressure                                                                                                     |
| 6. Completely crushed             | $1.10(B + H_r)$                                        | Softening effects of seepage toward bottom of tunnel require either continuous support for lower ends of ribs or circular ribs |
| 7. Squeezing rock, moderate depth | $(1.10 - 2.10)(B + H_r)$                               | Heavy side pressure, invert struts required. Circular ribs are recommended                                                     |
| 8. Squeezing rock, great depth    | $(2.10 - 4.50)(B + H_r)$                               | Circular ribs are required. In extreme cases, use yielding support                                                             |
| 9. Swelling rock                  | Up to 250 ft, irrespective of the value of $(B + H_r)$ |                                                                                                                                |

<sup>a</sup>After Terzaghi (1946).

<sup>b</sup>Rock load  $H_p$  in feet on tunnel roof with width  $B$  (ft) and height  $H_r$  (ft) at depth of more than  $1.5(B + H_r)$ .

<sup>c</sup>Definitions:

- **Intact rock** contains neither joints nor hair cracks. Hence, if it breaks, it breaks across sound rock. On account of the injury to the rock due to blasting, spalls may drop off the roof several hours or days after blasting. This is known as a spalling condition. Hard, intact rock may also be encountered in the popping condition involving the spontaneous and violent detachment of rock slabs from the sides or roof.
- **Stratified rock** consists of individual strata with little or no resistance against separation along the boundaries between strata. The strata may or may not be weakened by transverse joints. In such rock, the spalling condition is quite common.
- **Moderately jointed rock** contains joints and hair cracks, but the blocks between joints are locally grown together or so intimately interlocked that vertical walls do not require lateral support. In rocks of this type, both spalling and popping conditions may be encountered.
- **Blocky and seamy rock** consists of chemically intact or almost intact rock fragments which are entirely separated from each other and imperfectly interlocked. In such rock, vertical walls may require lateral support.
- **Crushed but chemically intact rock** has the character of a crusher run. If most or all of the fragments are as small as fine sand grains and no recementation has taken place, crushed rock below the water table exhibits the properties of a water-bearing sand.
- **Squeezing rock** slowly advances into the tunnel without perceptible volume increase. A prerequisite for squeeze is a high percentage of microscopic and submicroscopic particles of micaceous minerals or of clay minerals with a low swelling capacity.
- **Swelling rock** advances into the tunnel chiefly on account of expansion. The capacity to swell seems to be limited to those rocks that contain clay minerals such as montmorillonite, with a high swelling capacity.

**TABLE 3.3 Terzaghi's Rock Load Classification Currently in Use<sup>a,b</sup>**

| Rock Condition                              | RQD             | Rock Load $H_p$ (ft)                              | Remarks                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Hard and intact                          | 95-100          | Zero                                              | Same as Terzaghi (1946)                                                                                                                       |
| 2. Hard stratified or schistose             | 90-99           | 0-0.5 B                                           | Same as Terzaghi (1946)                                                                                                                       |
| 3. Massive, moderately jointed              | 85-95           | 0-0.25 B                                          | Same as Terzaghi (1946)                                                                                                                       |
| 4. Moderately blocky and seamy              | 75-85           | $0.25 B - 0.20 (B + H_r)$                         | Types 4, 5, and 6 reduced by about 50% from Terzaghi values because water table has little effect on rock load (Terzaghi, 1946; Brekke, 1968) |
| 5. Very blocky and seamy                    | 30-75           | $(0.20 - 0.60) (B + H_r)$                         |                                                                                                                                               |
| 6. Completely crushed but chemically intact | 3-30            | $(0.60 - 1.10) (B + H_r)$                         |                                                                                                                                               |
| 6a. Sand and gravel                         | 0-3             | $(1.10 - 1.40) (B + H_r)$                         |                                                                                                                                               |
| 7. Squeezing rock, moderate depth           | NA <sup>c</sup> | $(1.10 - 2.10) (B + H_r)$                         | Same as Terzaghi (1946)                                                                                                                       |
| 8. Squeezing rock, great depth              | NA <sup>c</sup> | $(2.10 - 4.50) (B + H_r)$                         | Same as Terzaghi (1946)                                                                                                                       |
| 9. Swelling rock                            | NA <sup>c</sup> | Up to 250 ft irrespective of value of $(B + H_r)$ | Same as Terzaghi (1946)                                                                                                                       |

<sup>a</sup>As modified by Deere et al. (1970) and Rose (1982).

<sup>b</sup>Rock load  $H_p$  in feet of rock on roof of support in tunnel with width  $B$  (ft) and height  $H_r$  (ft) at depth of more than  $1.5 (B + H_r)$ .

<sup>c</sup>Not applicable.

## RSR

### Tabela para Cálculo

Table 4.1: Rock Structure Rating: Parameter A: General area geology

|             | Basic Rock Type |        |      |            | Geological Structure |           |            |             |
|-------------|-----------------|--------|------|------------|----------------------|-----------|------------|-------------|
|             | Hard            | Medium | Soft | Decomposed |                      | Slightly  | Moderately | Intensively |
| Igneous     | 1               | 2      | 3    | 4          |                      | Folded or | Folded or  | Folded or   |
| Metamorphic | 1               | 2      | 3    | 4          |                      | Faulted   | Faulted    | Faulted     |
| Sedimentary | 2               | 3      | 4    | 4          | Massive              |           |            |             |
| Type 1      |                 |        |      |            | 30                   | 22        | 15         | 9           |
| Type 2      |                 |        |      |            | 27                   | 20        | 13         | 8           |
| Type 3      |                 |        |      |            | 24                   | 18        | 12         | 7           |
| Type 4      |                 |        |      |            | 19                   | 15        | 10         | 6           |

Table 4.2: Rock Structure Rating: Parameter B: Joint pattern, direction of drive

| Average joint spacing           | Strike ⊥ to Axis                     |          |          |             |          | Strike    to Axis       |         |          |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|-------------|----------|-------------------------|---------|----------|
|                                 | Direction of Drive                   |          |          |             |          | Direction of Drive      |         |          |
|                                 | Both                                 | With Dip |          | Against Dip |          | Either direction        |         |          |
|                                 | Dip of Prominent Joints <sup>a</sup> |          |          |             |          | Dip of Prominent Joints |         |          |
|                                 | Flat                                 | Dipping  | Vertical | Dipping     | Vertical | Flat                    | Dipping | Vertical |
| 1. Very closely jointed, < 2 in | 9                                    | 11       | 13       | 10          | 12       | 9                       | 9       | 7        |
| 2. Closely jointed, 2-6 in      | 13                                   | 16       | 19       | 15          | 17       | 14                      | 14      | 11       |
| 3. Moderately jointed, 6-12 in  | 23                                   | 24       | 28       | 19          | 22       | 23                      | 23      | 19       |
| 4. Moderate to blocky, 1-2 ft   | 30                                   | 32       | 36       | 25          | 28       | 30                      | 28      | 24       |
| 5. Blocky to massive, 2-4 ft    | 36                                   | 38       | 40       | 33          | 35       | 36                      | 24      | 28       |
| 6. Massive, > 4 ft              | 40                                   | 43       | 45       | 37          | 40       | 40                      | 38      | 34       |

Table 4.3: Rock Structure Rating: Parameter C: Groundwater, joint condition

| Sum of Parameters A + B                            |                              |      |         |      |      |      |
|----------------------------------------------------|------------------------------|------|---------|------|------|------|
| 13 - 44                                            |                              |      | 45 - 75 |      |      |      |
| Anticipated water inflow<br>gpm/1000 ft. of tunnel | Joint Condition <sup>b</sup> |      |         |      |      |      |
|                                                    | Good                         | Fair | Poor    | Good | Fair | Poor |
| None                                               | 22                           | 18   | 12      | 25   | 22   | 18   |
| Slight, < 200 gpm                                  | 19                           | 15   | 9       | 23   | 19   | 14   |
| Moderate, 200-1000 gpm                             | 15                           | 22   | 7       | 21   | 18   | 12   |
| Heavy, > 1000 gp                                   | 10                           | 8    | 6       | 18   | 14   | 10   |

<sup>a</sup> Dip: flat: 0-20°; dipping: 20-50°; and vertical: 50-90°

<sup>b</sup> Joint condition: good = tight or cemented; fair = slightly weathered or altered; poor = severely weathered, altered or open

Figura 20 - Tabelas RSR

## RMR

### Tabelas para Cálculo

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      | $\geq 10$ MPa                                                                   | 4 - 10 MPa                                                                 | 2 - 4 MPa                                                                | 1 - 2 MPa                                                                                    | For this low range - uniaxial compressive test is preferred                |            |           |
|                                                                       |                                      | Uniaxial comp. strength        | $\geq 250$ 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%                                                                                    | $\approx 25\%$                                                             |            |           |
|                                                                       | Rating                               | 20                             | 17                                                                              | 13                                                                         | 8                                                                        | 3                                                                                            |                                                                            |            |           |
| 3                                                                     | Spacing of discontinuities           |                                | $\geq 2$ 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<br>Not continuous<br>No separation<br>Unweathered wall rock | Slightly rough surfaces<br>Separation $< 1$ mm<br>Slightly weathered walls | Slightly rough surfaces<br>Separation $< 1$ mm<br>Highly weathered walls | Slickensided surfaces<br>or<br>Gouge $< 5$ mm thick<br>or<br>Separation 1-5 mm<br>Continuous | Soft gouge $\geq 5$ mm thick<br>or<br>Separation $\geq 5$ mm<br>Continuous |            |           |
|                                                                       |                                      | Rating                         | 30                                                                              | 25                                                                         | 20                                                                       | 10                                                                                           | 0                                                                          |            |           |
|                                                                       | 5                                    | Ground water                   | Inflow per 10 m tunnel length (l/m)                                             | None                                                                       | $< 10$                                                                   | 10 - 25                                                                                      | 25 - 125                                                                   | $\geq 125$ |           |
| (Joint water pressure)<br>(Major principal $\sigma$ )                 |                                      |                                | 0                                                                               | $< 0.1$                                                                    | 0.1 - 0.2                                                                | 0.2 - 0.5                                                                                    | $\geq 0.5$                                                                 |            |           |
| 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 $\leftarrow$ 81                  |                                | 80 $\leftarrow$ 61                                                              | 60 $\leftarrow$ 41                                                         | 40 $\leftarrow$ 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)                                           | $\geq 400$                           |                                | 300 - 400                                                                       | 200 - 300                                                                  | 100 - 200                                                                | $< 100$                                                                                      |                                                                            |            |           |
| Friction angle of rock mass (deg)                                     | $\geq 45$                            |                                | 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                                                                | $\geq 20$ m                                                                                  |                                                                            |            |           |
| Rating                                                                | 6                                    |                                | 4                                                                               | 2                                                                          | 1                                                                        | 0                                                                                            |                                                                            |            |           |
| Separation (aperture)                                                 | None                                 |                                | $< 0.1$ mm                                                                      | 0.1 - 1.0 mm                                                               | 1 - 5 mm                                                                 | $\geq 5$ 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 $\geq 5$ mm                                                   | Soft filling $< 5$ mm                                                    | Soft filling $\geq 5$ 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).

Figura 21 - Tabela RMR

Table 4.5: Guidelines for excavation and support of 10 m span rock tunnels in accordance with the *RMR* system (After Bieniawski 1989).

| Rock mass class                           | Excavation                                                                                                                                    | Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted)                                                  | Shotcrete                                                | Steel sets                                                                                      |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I - Very good rock<br><i>RMR</i> : 81-100 | Full face, 3 m advance.                                                                                                                       | Generally no support required except spot bolting.                                          |                                                          |                                                                                                 |
| II - Good rock<br><i>RMR</i> : 61-80      | Full face, 1-1.5 m advance. Complete support 20 m from face.                                                                                  | Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m with occasional wire mesh.                   | 50 mm in crown where required.                           | None.                                                                                           |
| III - Fair rock<br><i>RMR</i> : 41-60     | Top heading and bench 1.5-3 m advance in top heading. Commence support after each blast. Complete support 10 m from face.                     | Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5 - 2 m in crown and walls with wire mesh in crown.     | 50-100 mm in crown and 30 mm in sides.                   | None.                                                                                           |
| IV - Poor rock<br><i>RMR</i> : 21-40      | Top heading and bench 1.0-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation, 10 m from face.                         | Systematic bolts 4-5 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh.              | 100-150 mm in crown and 100 mm in sides.                 | Light to medium ribs spaced 1.5 m where required.                                               |
| V - Very poor rock<br><i>RMR</i> : < 20   | Multiple drifts 0.5-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting. | Systematic bolts 5-6 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert. | 150-200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face. | Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and forepoling if required. Close invert. |

Figura 22 - Tabela RMR (cont.)

## Q

### Tabelas para Cálculo

| 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        |

Figura 23 - Tabela ESR

Table 4.6: Classification of individual parameters used in the Tunnelling Quality Index  $Q$  (After Barton et al 1974).

| DESCRIPTION                                                                                                                                                                                                 | VALUE                   | NOTES                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. ROCK QUALITY DESIGNATION</b>                                                                                                                                                                          | <b>RQD</b>              |                                                                                                                                                                                                                                |
| A. Very poor                                                                                                                                                                                                | 0 - 25                  | 1. Where RQD is reported or measured as $\leq 10$ (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                |                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>2. JOINT SET NUMBER</b>                                                                                                                                                                                  | <b><math>J_n</math></b> |                                                                                                                                                                                                                                |
| A. Massive, no or few joints                                                                                                                                                                                | 0.5 - 1.0               | 1. For intersections use $(3.0 \times J_n)$<br>2. For portals use $(2.0 \times J_n)$                                                                                                                                           |
| 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                       |                                                                                                                                                                                                                                |
| G. Three joint sets plus random                                                                                                                                                                             | 12                      |                                                                                                                                                                                                                                |
| H. Four or more joint sets, random, heavily jointed, 'sugar cube', etc.                                                                                                                                     | 15                      |                                                                                                                                                                                                                                |
| J. Crushed rock, earthlike                                                                                                                                                                                  | 20                      |                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>3. JOINT ROUGHNESS NUMBER</b>                                                                                                                                                                            | <b><math>J_r</math></b> |                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>a. Rock wall contact</i>                                                                                                                                                                                 |                         | 1. Add 1.0 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3 m.<br>2. $J_r = 0.5$ can be used for planar, slickensided joints having lineations, provided that the lineations are oriented for minimum strength. |
| <i>b. Rock wall contact before 10 cm shear</i>                                                                                                                                                              |                         |                                                                                                                                                                                                                                |
| A. Discontinuous joints                                                                                                                                                                                     | 4                       |                                                                                                                                                                                                                                |
| B. Rough and irregular, undulating                                                                                                                                                                          | 3                       |                                                                                                                                                                                                                                |
| C. Smooth undulating                                                                                                                                                                                        | 2                       |                                                                                                                                                                                                                                |
| D. Slickensided undulating                                                                                                                                                                                  | 1.5                     |                                                                                                                                                                                                                                |
| E. Rough or irregular, planar                                                                                                                                                                               | 1.5                     |                                                                                                                                                                                                                                |
| F. Smooth, planar                                                                                                                                                                                           | 1.0                     |                                                                                                                                                                                                                                |
| G. Slickensided, planar                                                                                                                                                                                     | 0.5                     |                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>c. No rock wall contact when sheared</i>                                                                                                                                                                 |                         |                                                                                                                                                                                                                                |
| H. Zones containing clay minerals thick enough to prevent rock wall contact                                                                                                                                 | (nominal)               |                                                                                                                                                                                                                                |
| J. Sandy, gravelly or crushed zone thick enough to prevent rock wall contact                                                                                                                                | (nominal)               |                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>4. JOINT ALTERATION NUMBER</b>                                                                                                                                                                           | <b><math>J_a</math></b> | $\phi$ degrees (approx.)                                                                                                                                                                                                       |
| <i>a. Rock wall contact</i>                                                                                                                                                                                 |                         | 1. Values of $\phi$ , the residual friction angle, are intended as an approximate guide to the mineralogical properties of the alteration products, if present.                                                                |
| A. Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling                                                                                                                                                 | 0.75                    |                                                                                                                                                                                                                                |
| 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                     |                                                                                                                                                                                                                                |
| 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                     |                                                                                                                                                                                                                                |

Figura 24 - Tabela Q

Table 4.6: (cont'd.) Classification of individual parameters used in the Tunnelling Quality Index *Q* (After Barton et al 1974).

| DESCRIPTION                                                                                                                                                         | VALUE       | NOTES                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>4. JOINT ALTERATION NUMBER</b>                                                                                                                                   | $J_a$       | $\phi$ 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  |                                                                                                                          |
| <b>5. JOINT WATER REDUCTION</b>                                                                                                                                     | $J_w$       | approx. water pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )                                                                            |
| 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                                                                                                               |
| 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                                                                                                                     |
| F. Exceptionally high inflow or pressure                                                                                                                            | 0.1 - 0.05  | > 10                                                                                                                     |
| <b>6. STRESS REDUCTION FACTOR</b>                                                                                                                                   |             | 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         |                                                                                                                          |

Figura 25 - Tabela Q (cont.)

Table 4.6: (cont'd.) Classification of individual parameters in the Tunnelling Quality Index  $Q$  (After Barton et al 1974).

| DESCRIPTION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | VALUE               |                     | NOTES                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>6. STRESS REDUCTION FACTOR</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>SRF</b>          |                     |                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>b. Competent rock, rock stress problems</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |                     |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\sigma_c/\sigma_1$ | $\sigma_t/\sigma_1$ | 2. For strongly anisotropic virgin stress field                                                                                                                                                                                                             |
| H. Low stress, near surface                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | > 200               | > 13                | (if measured): when $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ , reduce $\sigma_c$                                                                                                                                                                                  |
| J. Medium stress                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 200 - 10            | 13 - 0.66           | to $0.6\sigma_c$ and $\sigma_t$ to $0.3\sigma_t$ . When $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ ,                                                                                                                                                                          |
| K. High stress, very tight structure<br>(usually favourable to stability, may<br>be unfavourable to wall stability)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 10 - 5              | 0.66 - 0.33         | reduce $\sigma_c$ and $\sigma_t$ to $0.6\sigma_c$ and $0.5\sigma_t$ , where<br>$\sigma_c$ = unconfined compressive strength, and<br>$\sigma_t$ = tensile strength (point load) and $\sigma_1$ and<br>$\sigma_3$ 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                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>c. Squeezing rock, plastic flow of incompetent rock<br/>under influence of high rock pressure</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     |                     |                                                                                                                                                                                                                                                             |
| N. Mild squeezing rock pressure                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |                     | 5 - 10                                                                                                                                                                                                                                                      |
| O. Heavy squeezing rock pressure                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |                     | 10 - 20                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>d. Swelling rock, chemical swelling activity depending on presence of water</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |                     |                                                                                                                                                                                                                                                             |
| P. Mild swelling rock pressure                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |                     | 5 - 10                                                                                                                                                                                                                                                      |
| R. Heavy swelling rock pressure                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |                     | 10 - 15                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>ADDITIONAL NOTES ON THE USE OF THESE TABLES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     |                     |                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 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 $J_s$ (representing shear strength) should be relevant to the weakest significant joint set or clay lined discontinuity in the given zone. However, if the joint set or discontinuity with the minimum value of $J_f/J_s$ 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 $J_f/J_s$ should be used when evaluating Q. The value of $J_f/J_s$ 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 ( $\sigma_c$ and $\sigma_t$ ) 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.                                                                                                                                                                                                                   |                     |                     |                                                                                                                                                                                                                                                             |

Figura 26 - Tabela Q (cont.)

Obs.: Todas as tabelas foram obtidas em Bieniawski, Z.T. – *Engineering Rock Mass Classifications*.

