

# **ESTUDO ESTATÍSTICO DE LEVANTAMENTOS SISTEMÁTICOS DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE DIFERENTES CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS NA ESCAVAÇÃO DE TÚNEIS E A SUA APLICAÇÃO NO PRÉ- DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO**

**SAMUEL AGOSTINHO CARVALHO PEREIRA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM GEOTECNIA**

---

Orientador: Professor Doutor José Eduardo Tavares Quintanilha De  
Menezes

---

Coorientador: Professor Doutor António Milton Topa Gomes

JUNHO DE 2013

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus pais

*“Um homem sábio pode aprender mais com uma questão  
estúpida do que um estúpido com uma resposta sábia.”*

Bruce Lee



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor José Eduardo Tavares Quintanilha De Menezes e ao Professor Doutor António Milton Topa Gomes pela ajuda e grande disponibilidade que ofereceram ao longo deste trabalho.

À empresa EDP pelos dados disponibilizados.

Aos meus pais por todo o apoio e dedicação que me deram ao longo destes anos.

Aos meus amigos pelos bons momentos e companheirismo na minha vida académica.



## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo propor e estudar uma nova correlação entre os índices RMR e Q.

Faz-se uma descrição das classificações de maciços rochosos que ao longo dos anos foram propostas, dando mais importância aos índices RMR, Q e GSI, que atualmente são os mais utilizados.

Para o estudo de uma correlação entre os índices RMR e Q são utilizadas medições provenientes de três aproveitamentos hidroelétricos nacionais, Bemposta, Picote e Alqueva fornecidos pela EDP. As medições são organizadas numa base de dados onde sofrem um estudo e tratamento estatístico.

É efetuado um estudo correlativo entre os dois índices avaliando os parâmetros em comum e procedendo à alteração de alguns, novas medidas são adotadas procurando melhorar a relação entre os dois índices.

Ao longo do estudo, algumas incoerências são detetadas. Os dados são corrigidos e são aplicadas novas medidas em prol de uma melhor correlação.

Por último é criada uma ferramenta que permite, em frente de obra, realizar a medição dos índices Q, RMR e GSI, obter dados estatísticos relevantes automaticamente e diminuir o risco de erro. Com esta ferramenta o autor espera despertar interesse para futuros desenvolvimentos de novas funcionalidades que permitam auxiliar cada vez mais a análise dos maciços rochosos e o pré-dimensionamento de suportes.

**PALAVRAS-CHAVE:** RMR, Q, GSI, correlação, túnel, suporte.



## **ABSTRACT**

The objectives of this work are the development and study of a new correlation between the RMR and Q systems.

A description of the rock masses classification systems is presented giving more emphasis to the RMR and Q systems that are more importante nowadays.

In order to study a correlation between the RMR and Q systems, a sort of measurements from three hydroelectric works, Bemposta, Picote and Alqueva are used. The measurements are organized in a database where they are submitted to a study and statistical analysis.

A correlative analysis between the RMR and Q systems is made, evaluating the parameters in common and doing some changes to them seeking to improve the relationship between the two systems.

Over the study, some inconsistencies are detected. The data are corrected and the changes are applied seeking for a better correlation.

Finally, a new tool that allows the user perform the measurements of the Q, RMR and GSI indexes, obtain relevant statistical data automatically and reduce the risk of error is created. With this tool the author hopes arousing interest for further development of new features that may assist increasingly analysis of rock masses and pre-design of supports.

**KEYWORDS:** RMR, Q, GSI, correlation, tunnel, support.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.2. ÂMBITO E OBJETIVO .....	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	2
<b>2 CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS</b> .....	<b>3</b>
2.1. CLASSIFICAÇÕES GEOLÓGICAS EM MACIÇOS ROCHOSOS.....	3
2.1.1. INTRODUÇÃO .....	3
2.1.2. CLASSIFICAÇÃO DE TERZAGHI (1946) .....	3
2.1.3. ROCK QUALITY DESIGNATION INDEX (RQD).....	5
2.1.4. DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA BÁSICA (“ <i>BASIC GEOTECHINICAL DESCRIPTION</i> ” – BGD) .....	7
2.2. CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS .....	8
2.2.1. INTRODUÇÃO .....	8
2.2.2. CLASSIFICAÇÃO DE BIENIAWSKI – RMR ( <i>ROCK MASS RATING</i> ) .....	8
2.2.3. CLASSIFICAÇÃO DE BARTON – Q .....	12
2.2.4. CLASSIFICAÇÃO DE HOEK E BROWN – GSI (ÍNDICE DE RESISTÊNCIA GEOLÓGICA) .....	18
<b>3 OBRAS EM ESTUDO</b> .....	<b>23</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	23
3.2. LOCALIZAÇÃO DOS APROVEITAMENTOS.....	23
3.2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO APROVEITAMENTO DA BEMPOSTA.....	24
3.2.2. CARATERÍSTICAS GERAIS DO APROVEITAMENTO DO PICOTE .....	26
3.2.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO APROVEITAMENTO DE ALQUEVA .....	28
3.3. DADOS PROVENIENTES DAS OBRAS .....	29

<b>4 CORRELAÇÃO DOS ÍNDICES RMR E Q .....</b>	<b>33</b>
4.1. INTRODUÇÃO .....	33
4.2. PROPOSTAS EXISTENTES .....	33
4.3. BREVE REFERÊNCIA A CORRELAÇÕES ESTATÍSTICAS .....	34
4.3.1. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON .....	35
4.3.2. COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO .....	36
4.3.3. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN .....	36
4.4. CORRELACIONANDO OS DADOS .....	38
4.5. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS .....	43
4.5.1. RESULTADOS DA CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE RMR E Q .....	44
4.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	46
4.6.1. APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE BEMPOSTA .....	46
4.6.2. APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE PICOTE .....	47
4.6.3. APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE ALQUEVA .....	49
4.6.4. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS .....	50
<b>5 TRATAMENTO DE DADOS – O ESTUDO DE UMA CORRELAÇÃO .....</b>	<b>53</b>
5.1. INTRODUÇÃO .....	53
5.2. ASPETOS CORRELATIVOS DO ÍNDICE RMR E Q .....	53
5.3. A CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE ENTRADA DO ÍNDICE RMR E Q .....	54
5.3.1. A CORRELAÇÃO DO RQD .....	54
5.3.2. A CORRELAÇÃO DA RUGOSIDADE .....	56
5.3.3. A CORRELAÇÃO DO GRAU DE ALTERAÇÃO E ENCHIMENTO .....	59
5.3.4. A CORRELAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	61
5.4. NOVA CORRELAÇÃO COM A CORREÇÃO DOS DADOS .....	64
5.5. CORRELAÇÕES DE INTERVALOS .....	66
5.5.1. MACIÇOS DE FRACA QUALIDADE .....	66
5.5.2. MACIÇOS DE MÉDIA A BOA QUALIDADE .....	67
5.5.3. MACIÇOS DE EXCELENTE QUALIDADE .....	68
5.5.4. ALGUMAS OBSERVAÇÕES .....	68

<b>6 CRIAÇÃO DE UMA FOLHA DE CÁLCULO AUTOMÁTICA</b>	<b>71</b>
6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	71
6.2. OBJETIVO .....	71
6.3. DESIGN .....	72
6.4. MÉTODO DE INTRODUÇÃO DE DADOS .....	75
6.4.1. ÍNDICE Q .....	75
6.4.2. ÍNDICE RMR.....	76
6.4.3. GSI.....	77
6.5. TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO .....	78
6.6. OUTPUT .....	80
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>81</b>
<b>EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA FOLHA DE CÁLCULO .....</b>	<b>85</b>



## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 - Exemplo de cálculo de RQD, (Apontamentos da Disciplina de Geologia de Engenharia, 2011). .....	6
Figura 2 - Classes de suporte estimadas para o sistema de classificação Q .....	17
Figura 3 - Estimativa do GSI com base na descrição geológica. Exemplo de um resultado entre 70 a 75.....	20
Figura 4 - Planta da bacia do Rio Douro e de localização do aproveitamento (EDP,2013) .....	23
Figura 5 - Localização da Barragem de Alqueva, Freguesia de Alqueva (a roxo) e albufeira da Barragem.....	24
Figura 6 - Perfil esquemático da cascata do aproveitamento Douro Internacional (Volume I,EDP, 2007) .....	25
Figura 7 - Barragem de Bemposta.....	26
Figura 8 - Barragem de Picote .....	27
Figura 9 - Alqueva I e Alqueva II.....	28
Figura 10 - Exemplo de uma ficha de medição do índice Q (Picote).....	30
Figura 11 - Exemplo de uma ficha de medição do índice RMR (Picote) .....	31
Figura 12 - Correlações já existentes entre o índice RMR e Q .....	34
Figura 13 - Correlação de Spearman vs Pearson, Exemplo 1, (Wikipédia, 2013b) .....	37
Figura 14 - Correlação de Spearman vs Pearson, Exemplo 2, (Wikipédia, 2013b) .....	37
Figura 15 - Correlação de Spearman vs Pearson, Exemplo 3, (Wikipédia, 2013b) .....	38
Figura 16 - Correlação Logarítmica.....	39
Figura 17 - Correlação potencial .....	40
Figura 18 - Correlação linear.....	40
Figura 19 - Correlação exponencial .....	41
Figura 20 - Correlação polinomial grau 3.....	42
Figura 21 - Correlação polinomial de grau 4.....	42
Figura 22 - Limites das correlações propostas entre 1978 e 1987 dos índices RMR e Q .....	44
Figura 23 - Frequências Q e RMR .....	44
Figura 24 - Correlação obtida entre os índices RMR e Q com os dados provenientes das três obras em estudo.....	45
Figura 25 - Comparação das correlações existentes com a encontrada.....	46
Figura 26 - Frequência do índice Q e RMR, Bemposta.....	47
Figura 27 - Correlação entre os índices RMR e Q, Bemposta .....	47
Figura 28 - Frequência do índice Q e RMR, Picote .....	48

Figura 29 - Correlação entre os índices RMR e Q, Picote .....	48
Figura 30 - Frequência do índice Q e RMR, Alqueva .....	49
Figura 31 - Correlação entre os índices RMR e Q, Alqueva .....	49
Figura 32 - Resultados das correlações das várias obras .....	50
Figura 33 - Correlação entre o índice RMR e Q, Picote e Alqueva .....	51
Figura 34 - Correlação entre os parâmetros RQD e A2.....	55
Figura 35 - Correlação entre RQD e A2 corrigida.....	56
Figura 36 - Correlação entre os parâmetros Jr e A4c .....	57
Figura 37 - Correlação entre os parâmetros Jr e A4c corrigida.....	59
Figura 38 - Correlação entre os parâmetros Jw e A5 .....	63
Figura 39 - Correlação entre os parâmetros Jw e A5 corrigida .....	64
Figura 40 - Correlação entre o índice RMR e Q com os dados corrigidos .....	65
Figura 41 - Correlação corrigida sem a Bemposta .....	65
Figura 42 - Correlação em maciços de fraca qualidade.....	66
Figura 43 - Correlação em maciços de média a boa qualidade.....	67
Figura 44 - Correlação em maciços de excelente qualidade .....	68
Figura 45 - Correlações das três classes de classificação estudadas.....	69
Figura 46 - Diagrama de funcionamento da ferramenta desenvolvida .....	72
Figura 47 - Interface gráfica.....	74
Figura 48 - Exemplo caixa de combinação .....	75
Figura 49 - Exemplo de botão de opção .....	75
Figura 50 - Caixa de visualização do índice Q.....	76
Figura 51 - Exemplo de sugestão do valor de RQD.....	76
Figura 52 - Botões de opção presentes nas características das discontinuidades e botão “Continuar para GSI” .....	77
Figura 53 - Introdução do GSI .....	78
Figura 54 - Criação de gráfico de dispersão e coeficiente de determinação $R^2$ .....	79
Figura 55 - Escalas de cores para os índices RMR e Q .....	79

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de Maciços Rochosos para Túneis (Terzaghi 1946).....	4
Tabela 2 - Graus de alteração de maciços rochosos, (ISRM. 2007).....	5
Tabela 3 - Graus de fracturação de maciços rochosos, (ISRM. 2007).....	5
Tabela 4 - Classificação RQD de Maciços Rochosos, (ISRM. 2007).....	6
Tabela 5 - Classes de espessura das camadas, (ISRM. 2007).....	7
Tabela 6 - Classe de resistência à compressão simples, (ISRM. 2007). ....	7
Tabela 7 - Classes de ângulo de atrito das fraturas, (ISRM. 2007).....	8
Tabela 8 - (A) Classificação dos parâmetros e o seu peso no sistema de classificação RMR <sub>1989</sub> (Bieniawski, 1990).....	10
Tabela 9 – (A4) Condições das descontinuidades, (Bieniawski, 1990).....	11
Tabela 10 - (B) Pesos de ajustamento para a orientação das descontinuidades, (Bieniawski, 1990) .	11
Tabela 11 - Classificação segundo o índice RMR, (Bieniawski, 1990) .....	12
Tabela 12 - Rock quality designation ( <i>RQD</i> ) .....	13
Tabela 13 - Rácio de classificação para o número de descontinuidades ( <i>J<sub>n</sub></i> ).....	13
Tabela 14 - Rácio de classificação para a rugosidade das descontinuidades ( <i>J<sub>r</sub></i> ).....	14
Tabela 15 - Rácio de classificação para as condições Hidrogeológicas ( <i>J<sub>r</sub></i> ).....	14
Tabela 16 - Rácio de classificações para o grau de alteração das descontinuidades ( <i>J<sub>a</sub></i> ) .....	15
Tabela 17 - Rácio de classificação para o fator de redução de tensões ( <i>SRF</i> ) .....	16
Tabela 18 - Índice de Segurança ESR para Obras Subterrâneas (Q).....	17
Tabela 19 - Resultados das tipologias de correlações .....	43
Tabela 20 - Parâmetros de entrada usados no índice RMR e Q.....	54
Tabela 21 - Obtenção do parâmetro A2 pelo RQD.....	54
Tabela 22 - Nova relação entre os parâmetros relativos ao RQD entre os índices RQD e Q .....	55
Tabela 23 - Parâmetro relativo à Rugosidade (A4c) do índice RMR.....	56
Tabela 24 - Parâmetro relativo à Rugosidade e respetivos pesos no índice Q.....	57
Tabela 25 - Nova relação entre os parâmetros relativos à Rugosidade entre os índices RMR e Q ....	58
Tabela 26 - Parâmetro relativo ao Enchimento (A4d) e Grau de Alteração (A4e) do índice RMR .....	59
Tabela 27 - Parâmetro relativo ao Grau de Alteração das descontinuidades ( <i>J<sub>a</sub></i> ) do índice Q .....	60
Tabela 28 - Nova relação entre os parâmetros relativos ao Grau de Alteração e ao Preenchimento das descontinuidades entres os índices RMR e Q .....	61
Tabela 29 - Parâmetro relativo à Presença de Água (A5) do índice RMR .....	62
Tabela 30 - Parâmetro relativo à Presença de Água ( <i>J<sub>w</sub></i> ) do índice Q .....	62

Tabela 31 - Nova relação entre os parâmetros relativos à Água Subterrânea nos índices RMR e Q.. 63

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A1 - Parâmetro relativo à compressão uniaxial (RMR)

A2 - Parâmetro relativo ao RQD (RMR)

A3 - Parâmetro relativo ao espaçamento das descontinuidades (RMR)

A4 - Parâmetro relativo às condições das descontinuidades (RMR)

A4a - Parâmetro relativo à persistência das descontinuidades (RMR)

A4b - Parâmetro relativo à separação das descontinuidades (RMR)

A4c - Parâmetro relativo à rugosidade das descontinuidades (RMR)

A4d - Parâmetro relativo ao preenchimento das descontinuidades (RMR)

A4e - Parâmetro relativo à alteração das descontinuidades (RMR)

A5 - Parâmetro relativo à água subterrânea (RMR)

B - Parâmetro relativo ao ajuste da orientação das descontinuidades (RMR)

BGD - "*Basic Geotechnical Description*"

ESR - "*Excavation Support Ratio*"

GSI - "*Geological Stress Index*"

Hp - Fator de Carga

Ja - Grau de Alteração das Descontinuidades

Jn - Índice das Famílias de Diáclases

Jr - Índice de Rugosidade das Diáclases

Jw - Índice das Condições Hidrogeológicas

R<sub>2</sub> - Coeficiente de Determinação

RMR - "*Rock Mass Classification*"

RQD - "*Rock Quality Designation*"

SRF - Factor de Redução de Tensões

Q - Índice de Qualidade



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Ao longo dos anos têm sido usados e aperfeiçoados métodos de classificação de maciços rochosos com o objetivo de responder às necessidades da engenharia geotécnica. O uso destes métodos nas várias obras de engenharia correntes, como túneis, cavernas, poços, taludes, entre outros, é uma realidade para garantir a segurança da sua execução e utilização.

Qualquer obra de arte ou estrutura necessita de um suporte que a sustenha e mantenha a sua integridade durante a sua vida. O uso do terreno é uma realidade em quase todo o tipo de obras, sendo estas construídas sobre solos ou maciços rochosos. No caso de obras subterrâneas, como túneis, toda a obra é envolvida por um maciço rochoso.

Não existindo um método de classificação universalmente aceite por toda a comunidade, no que toca a maciços rochosos, cada projetista utiliza aquele com que mais se identifica, de acordo com as suas especificações, e características e experiência.

Os principais sistemas de classificação de maciços rochosos têm um papel importante em engenharia geotécnica e no dimensionamento de suportes, usando parâmetros semelhantes para a sua classificação. As principais classificações para o dimensionamento de suportes de maciços rochosos, classificação de Barton – Q e classificação de Bieniawski – RMR, usam as mais importantes características do terreno como parâmetros de entrada. Cada um destes parâmetros, é classificado em classes, valores ou pesos para expressar a qualidade do maciço rochoso com segurança para que a estabilidade do túnel seja assegurada.

Para chegar a um resultado apropriado, Bieniawski (1984, 1989) aconselha o uso de pelo menos dois sistemas classificativos quando o uso destes métodos empíricos é requerido. Contudo, muitos utilizadores têm seguido esta recomendação encontrando métodos para obter o resultado de um sistema classificativo a partir de outro usando equações correlativas.

É importante ter presente que qualquer um destes sistemas classificativos têm diferentes limitações e qualquer aproximação envolve uma incerteza de cerca de 50% ou superior, Bieniawski (1984, 1989), já que o ajuste de uma dispersão de resultados a uma curva não pode satisfazer todos os pontos. O uso destas correlações entre sistemas classificativos, envolve erros que podem levar a decisões menos corretas, e por sua vez resultar na redução da qualidade dos suportes dimensionados.

## 1.2. ÂMBITO E OBJETIVO

Este trabalho estuda uma correlação entre o sistema classificativo de Barton – Q e o de Bieniawski – RMR, através de valores colhidos em três grandes aproveitamentos hidroelétricos nacionais, sendo eles os aproveitamentos hidroelétricos de Bemposta, Picote e Alqueva. O objetivo é propor uma nova correlação empírica entre os dois sistemas classificativos mais usados.

Contar com uma equação que permita obter o resultado do índice RMR, através do índice Q medido *in situ*, ou vice-versa, é sem dúvida uma mais-valia no processo de tomada de decisão. De facto, dois sistemas classificativos que forneçam sugestões de suporte a partir da mesma informação podem-se revelar mais produtivos.

É sem dúvida muito fácil, em medições sistemáticas, haver erro humano que leve a resultados que se distanciam da realidade podendo resultar no prejuízo do resultado final. Para diminuir este erro e otimizar o processo de medição, uma ferramenta automática que alerte para eventuais erros e que forneça resultados automaticamente pode revelar-se numa mais-valia na frente de escavação. Sem dúvida que cada profissional desenvolve o seu próprio método, como este trabalho procura também a criação de uma. Estando muito longe de ser proposta uma ferramenta universal, este trabalho procura idealizar um *software* com esta filosofia.

## 1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é composta por 7 capítulos, sendo o presente o primeiro, onde o autor procura introduzir o tema referir os seus objetivos e explicar a estrutura do mesmo.

No Capítulo 2, são apresentadas várias classificações geológicas e geotécnicas utilizadas na construção de túneis. São apresentadas cronologicamente dando mais importância às classificações de Barton e Bieniawski onde este trabalho se foca.

O Capítulo 3 aborda a descrição geral das obras, focando a localização geográfica da área de implantação e as características gerais dos aproveitamentos hidroelétricos de Bemposta, Picote e Alqueva. São também apresentadas duas fichas de medições dos índices RMR e Q provenientes destes aproveitamentos.

No Capítulo 4 são apresentadas as correlações mais conhecidas entre os índices RMR e Q. É feita uma breve referência a índices de correlação estatísticos, e com base nos dados provenientes dos aproveitamentos, são estudadas novas correlações.

No Capítulo 5 são identificadas semelhanças entre os índices, selecionando aspetos correlativos em comum para propor um método correlativo mais robusto.

O Capítulo 6 procura introduzir uma ferramenta criada pelo autor que permite diminuir os erros de medições na frente de obra e utilizando os métodos deste trabalho, fornecer resultados estatísticos.

Finalmente, no Capítulo 7 são tecidas algumas considerações finais nas quais se resumem as conclusões mais relevantes e onde são propostos desenvolvimentos futuros.

# 2

## CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

### 2.1. CLASSIFICAÇÕES GEOLÓGICAS EM MACIÇOS ROCHOSOS

#### 2.1.1. INTRODUÇÃO

Todas as obras subterrâneas, sejam elas próximas da superfície ou em profundidade, estão envolvidas ou até mesmo, são constituídas, por um material extremamente hiperestático, o terreno. Ao contrário de outras obras ou estruturas em engenharia, como estruturas metálicas ou de betão armado, estas oferecem um carácter muito mais incerto como estrutura. Não é possível definir com muita precisão qual o comportamento estrutural que determinado maciço rochoso irá ter quando escavado.

Para a determinação o mais aproximada possível desse comportamento, é extremamente importante a classificação do maciço. Esta classificação permite a definição dos parâmetros que o caracterizam, sendo mais importante quanto mais a estrutura a projetar o requeira, podendo variar com a construção de fundações, túneis, minas, entre outras.

Neste capítulo, são referidos cronologicamente os tipos de classificação de maciços rochosos utilizados para a construção de túneis.

#### 2.1.2. CLASSIFICAÇÃO DE TERZAGHI (1946)

A primeira classificação de maciços rochosos para o projeto de estruturas de suporte de túneis foi elaborada por Terzaghi (1946). Esta classificação foi o primeiro método desenvolvido dentro da filosofia exposta, descrevendo os maciços rochosos tendo em conta o modo de jazida e estado de fracturação descartando qualquer referência ao tipo litológico, considerando este, irrelevante.

É de notar o brilhantismo por trás da simplicidade, onde Terzaghi dá bastante relevância aos parâmetros mais importantes no dimensionamento de suportes para túneis. Analisando a

Tabela 1 é pertinente referir a preocupação da determinação de tensões sobre os suportes, dando bastante importância ao estado de fratura do maciço, à alteração, à convergência das paredes e ainda à profundidade da escavação. Quanto ao tipo de suporte, o único que é referido são cambotas.

Apesar de bastante simples e intuitivo, sendo esta uma classificação de carácter observacional, carece de vários fatores importantes para o dimensionamento de suportes de túneis, como a litologia e o estado de tensão no maciço. Este último é muito variável com a dimensão da escavação e estado de tensão inicial do maciço. Esta classificação também é limitada a um único tipo de suporte (cambotas),

não fazendo referência a outros tipos de suporte como pregagens, betão projetado ou ancoragens certamente devido a estes últimos serem menos desenvolvidos ou até mesmo inexistentes à época.

Tabela 1 - Classificação de Maciços Rochosos para Túneis (Terzaghi 1946)

Tipo	Definição	Fator de carga ( $H_p$ )	Observações
1	<u>Duro e intacto</u> – Rocha dura e intacta sem conter juntas ou fraturas. Depois da escavação a rocha pode exibir lascas ou pedaços. Difícilmente, rocha dura pode ser encontrada em condições que envolve a espontânea e violenta separação de lajes de rocha das paredes ou teto.	0	Necessita de suporte ligeiro para blocos que se possam desprender devido à libertação de tensões <i>in situ</i> .
2	<u>Duro, estratificado e xistosa</u> – Constituído por estratos individuais com coesão nula ou muito pequena, podendo apresentar-se fraturado. Neste tipo de rochas o lasqueamento é muito comum.	0 a 0,5 B	Suporte ligeiro. A tensão pode mudar entre camadas.
3	<u>Compacto a moderadamente fraturado</u> – Diaclasado e micro-fraturado; no entanto os blocos permanecem solidários ou interligados, não necessitando os hasteais de suporte. O lasqueamento e explosão de rocha podem ocorrer.	0 a 0,25 B	Suporte ligeiro.
4	<u>Moderadamente fraturado</u> – Diaclasado, apresentando-se os blocos separados por juntas moderadamente espaçadas. A rocha não está quimicamente alterada. Os blocos não se apresentam muito interligados. As paredes verticais não necessitam de suporte. O lasqueamento pode ocorrer.	0,25 B a 0,35 (B + $H_t$ )	Não se verificam pressões laterais.
5	<u>Muito fraturado</u> – A rocha não se encontra quimicamente alterada e contem descontinuidades pouco espaçadas.	(0,35 a 1,1) (B + $H_t$ )	Poucas ou nenhuma pressões laterais.
6	<u>Completamente fragmentado mas não quimicamente alterado</u> – A rocha não se encontra quimicamente alterada mas está altamente fraturada em pequenos fragmentos. A frente de escavação necessita de suporte.	(1,1) (B + $H_t$ )	Pressões laterais consideráveis. Amolecimento pela água na base do túnel. Requer cambotas circulares em todo o contorno
7	<u>Expansivo a profundidades moderadas (150 ~ 1000m)</u> – Após abertura do túnel verifica-se uma ligeira convergência das paredes, embora sem perceptibilidade de aumento de volume.	(1,1 a 2,1) (B + $H_t$ )	Pressões laterais elevadas. Cambotas circulares são recomendadas.
8	<u>Expansivo a grandes profundidades (&gt; 1000m)</u> – Após abertura do túnel verifica-se uma ligeira convergência das paredes, embora sem perceptibilidade de aumento de volume.	(2,1 a 4,5) (B + $H_t$ )	
9	<u>Rocha expansiva</u> – A rocha expande provocando a convergência das paredes devido à presença de minerais argilosos com características expansivas.	Até 250 pés, independentemente do B e $H_t$	Requer cambotas circulares. Em casos extremos usar suportes flexíveis.

Nota: Valores em “pés” sendo B a largura e  $H_t$  a altura do túnel. Se o teto do túnel se encontrar sempre acima do nível freático os valores são reduzidos de 50%.

Para obter a pressão do suporte ( $p$ ) do fator de carga do maciço ( $H_p$ ), Terzaghi sugeriu a Equação 1.

$$p = H_p \gamma H \quad (1)$$

Onde,  $\gamma$  é o peso volúmico da rocha e  $H$  é a profundidade do túnel ou a espessura da sobrecarga.

### 2.1.3. ROCK QUALITY DESIGNATION INDEX (RQD)

As características de qualidade de maciços rochosos são fundamentalmente consequência do seu estado de alteração e de fracturação como já foi referido anteriormente.

O estado de alteração sendo um método expedito de observação é indicado pela sua descrição. Em rochas é comum dar importância à sua coloração e brilho como consequência da alteração de certos minerais como feldspatos e minerais ferromagnesianos e ainda, a maior ou menor facilidade com que o material se parte com o uso do martelo do geólogo. Os graus de alteração mais usuais estão descritos na Tabela 2, (Apontamentos da Disciplina de Geologia de Engenharia, 2011).

Tabela 2 - Graus de alteração de maciços rochosos, (ISRM, 2007).

Símbolos	Designações	Características
$W_1$	São	Sem quaisquer sinais de alteração
$W_2$	Pouco alterado	Sinais de alteração apenas nas imediações das descontinuidades
$W_3$	Medianamente alterado	Alteração visível em todo o maciço rochoso mas a rocha não é friável
$W_4$	Muito alterado	Alteração visível em todo o maciço e a rocha é parcialmente friável
$W_5$	Decomposto (saibro)	O maciço apresenta-se completamente friável com comportamento de solo

Normalmente, quando se realizam sondagens com recuperação contínua de amostra, para avaliação do estado de alteração, um indicador muito frequentemente usado é a percentagem de recuperação da amostra. É comum considerar que um maciço rochoso é pouco alterado quando esta percentagem é superior a 80%, muito alterado para percentagens inferiores a 50% e medianamente alterado para valores intermédios. Não obstante, esta classificação é toda ela muito relativa, servindo apenas para uma primeira ideia do tipo de maciço em análise já que o valor de recuperação obtido pode ser altamente influenciado pela qualidade do equipamento de furação, pela competência do operador e também por particularidades litológicas ou estruturais das formações geológicas.

Quanto ao estado de fracturação de um maciço, a avaliação é feita tendo em conta o número de diáclases por metro, (Apontamentos da Disciplina de Geologia de Engenharia, 2011).

Tabela 3 - Graus de fracturação de maciços rochosos, (ISRM, 2007).

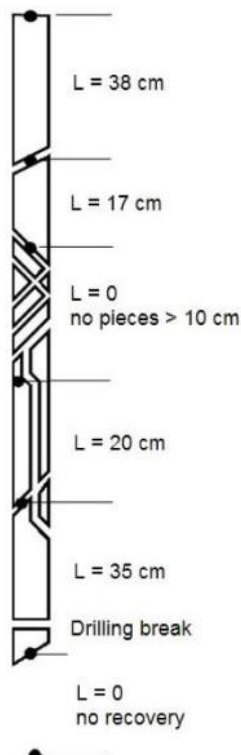
Classificação	Intervalo entre Fraturas (cm)	Designação
$F_1$	>200	Muito afastadas
$F_2$	60 - 200	Afastadas
$F_3$	20 - 60	Medianamente afastadas
$F_4$	6 - 20	Próximas
$F_5$	<6	Muito Próximas

O *Rock Quality Designation Index* (RQD) foi criado e desenvolvido por Deere *et al* (1967) para proporcionar um método sistemático de descrição da qualidade de um maciço rochoso através do seu

estado de alteração e fracturação. Deere, a partir dos testemunhos de sondagens realizadas com recuperação contínua de amostra, criou este índice, que não é mais do que a percentagem determinada pelo quociente entre o somatório dos troços de amostra com comprimento superior a 10 cm e o comprimento total furado em cada manobra. A metodologia da determinação deste índice pode ser consultada na Figura 1, onde está representado um provete a título de exemplo. Na Tabela 4 é apresentada a classificação RQD.

Tabela 4 - Classificação RQD de Maciços Rochosos, (ISRM. 2007).

RQD (%)	Qualidade do Maciço Rochoso
0 - 25	Muito fraco
25 - 50	Fraco
50 - 75	Razoável
75 - 90	Bom
90 - 100	Excelente



$$RQD (\%) = \frac{\sum li(>10cm)}{L} \times 100 \quad (2)$$

$$L: \text{Comprimento total furado numa manobra } L = \sum li$$

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$RQD = \frac{(38 + 17 + 20 + 35)}{200} \times 100 = 55\%$$

Figura 1 - Exemplo de cálculo de RQD, (Apontamentos da Disciplina de Geologia de Engenharia, 2011).

Posteriormente, devido à necessidade de estimar o valor de RQD quando não houvesse amostragens obtidas por sondagens, sendo as descontinuidades facilmente identificáveis em afloramentos rochosos ou em escavações, Palmström (1982) propôs a relação apresentada na Expressão 3 com o índice volumétrico  $J_v$ , sendo este o somatório do número de descontinuidades por unidade de comprimento.

$$RQD = 115 - 3.3 J_V \quad (3)$$

O RQD é um parâmetro que representa a qualidade de um maciço rochoso no local de jazida. Com a perturbação imposta pelo processo de sondagem, pode facilmente ocorrer fracturação da amostra tornando-se importante identificar as fraturas já existentes antes da furação e aquelas provocadas pela extração do material para não influenciar positiva ou negativamente os resultados. Para a determinação do  $J_V$  também é necessário dar uma especial atenção às fraturas, pelo que algumas possam ter ocorrido pelo uso de explosivos.

#### 2.1.4. DESCRIÇÃO GEOTÉCNICA BÁSICA (“*BASIC GEOTECHNICAL DESCRIPTION*” – BGD)

Proposto pela Sociedade Internacional da Mecânica das Rochas (ISRM, 2007), este sistema tem como objetivo estruturar a informação para fins de engenharia civil. Intencionalmente esta “descrição básica” foi elaborada com a necessidade de criar um código de linguagem não ambíguo que permitisse descrever e classificar um maciço rochoso da mesma forma independentemente do utilizador. Uma classificação que contivesse informação tanto quanto possível quantitativa que possibilitasse a resolução de problemas práticos e baseada, de preferência, em medições simples em vez de medições exclusivas da observação direta dos maciços ou de provetes de sondagem.

Assim, de forma a atender a estes aspetos, são incluídos neste sistema classificativo alguns parâmetros como a caracterização geológica, a espessura de camadas, o espaçamento entre fraturas, a compressão simples da rocha e o ângulo de atrito das discontinuidades.

Para a aplicação deste método é necessário realizar um zonamento prévio do maciço a classificar, isto é, este método só deve ser aplicado depois de identificar as zonas em que, dentro de cada uma, haja certa uniformidade de propriedades. Variações de litologia, de estado de alteração ou de grau de fracturação são exemplo de propriedades a utilizar no zonamento.

Para uniformizar estas classificações, as Tabelas 5, 6 e 7, apresentam classificações baseadas na espessura das camadas, nas classes de resistência à compressão simples e nas classes de ângulo de atrito.

Tabela 5 - Classes de espessura das camadas, (ISRM, 2007).

Classificação	Espessura (cm)	Descrição
L <sub>1</sub>	>200	Muito espessas
L <sub>2</sub>	60 – 200	Espessas
L <sub>3</sub>	20 – 60	Espessura mediana
L <sub>4</sub>	6 – 20	Delgadas
L <sub>5</sub>	<6	Muito delgadas

Tabela 6 - Classe de resistência à compressão simples, (ISRM, 2007).

Classificação	Espessura (MPa)	Descrição
S <sub>1</sub>	>200	Muito elevada
S <sub>2</sub>	60 – 200	Elevada
S <sub>3</sub>	20 – 60	Média
S <sub>4</sub>	6 – 20	Baixa
S <sub>5</sub>	<6	Muito Baixa

Tabela 7 - Classes de ângulo de atrito das fraturas, (ISRM, 2007).

Classificação	Ângulo de Atrito	Descrição
A <sub>1</sub>	> 45°	Muito elevado
A <sub>2</sub>	35° - 45°	Elevado
A <sub>3</sub>	25° - 35°	Médio
A <sub>4</sub>	15° - 25°	Baixo
A <sub>5</sub>	< 15°	Muito Baixo

Em rochas que exibem comportamento claramente anisotrópico devem registrar-se os valores médios das resistências nas diversas direções e também a direção para a qual o valor das resistências é mais baixo.

Na descrição geotécnica básica, cada zona em que o maciço é subdividido pode ser caracterizada por todos estes parâmetros apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7. Esta caracterização é composta por uma descrição geológica sintética, seguida dos símbolos classificativos dos parâmetros avaliados, por exemplo, “Granito W<sub>2</sub>, L<sub>1</sub>, F<sub>3</sub>, S<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>”. Sempre que o maciço apresente características especiais ou o projeto o requeira, deverão ser incluídas informações complementares.

## 2.2. CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS

### 2.2.1. INTRODUÇÃO

Os critérios de classificação anteriores utilizam elementos de análises químicas, micropetrográficas e observação macroscópica de amostras. As classificações que se apresentam a seguir, destinam-se a fins de engenharia onde ensaios físicos e mecânicos para a caracterização dos maciços têm mais importância.

Apesar de não existir atualmente uma classificação universal aprovada por toda a comunidade técnica e científica, alguns autores têm tentado implementar sistemas de classificação de maciços rochosos para obras especialmente subterrâneas. Seguidamente serão resumidas as três classificações atualmente mais importantes.

### 2.2.2. CLASSIFICAÇÃO DE BIENIAWSKI – RMR (*ROCK MASS RATING*)

O sistema “*Rock Mass Rating*” (RMR) foi desenvolvido por Bieniawski (1972) através de dados recolhidos ao longo da sua vida. Durante as últimas 4 décadas, tendo resistido ao teste do tempo, este sistema sofreu várias modificações e adaptações por vários autores, sendo usado não só em túneis mas também em minas, fundações e taludes, (Bieniawski, 1990).

Este sistema tem por base 6 parâmetros que o autor considerou serem preponderantes na classificação de um maciço rochoso e não é mais que a soma dos pesos atribuídos a cada um desses parâmetros. Os parâmetros seguintes são então usados para a classificação RMR.

- Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta;
- RQD (“Rock Quality Designation”);
- Espaçamento das descontinuidades;
- Condições das descontinuidades;
- Influência da água;
- Orientação das descontinuidades.

Para utilizar esta classificação é necessário dividir *a priori* o maciço em várias regiões estruturais (zonas) tal que certas características sejam mais ou menos uniformes dentro de cada região. Apesar de os maciços rochosos serem altamente descontínuos por natureza, eles podem, no entanto, ser uniformes em zonas quando, por exemplo, o tipo de rocha ou espaçamento de descontinuidades sejam idênticas. Depois desta identificação, a classificação de cada parâmetro para cada região estrutural é feita de acordo com as Tabelas 8, 9 e 10 dando pesos a cada parâmetro.

A Tabela 11 apresenta a classificação do maciço rochoso com base no RMR, dando estimativas quanto ao ângulo de atrito, coesão e ainda quanto ao período de tempo que pode ocorrer entre a escavação e a colocação do suporte sob o risco de ocorrer rotura.

Tabela 8 – (A) Classificação dos parâmetros e o seu peso no sistema de classificação RMR<sub>1989</sub> (Bieniawski, 1990)

Parâmetros		Coeficientes							
1	Resistência da rocha intacta	Carga pontual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Ver compressão uniaxial		
		Compressão uniaxial	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	<b>Pesos</b>		<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
2		RQD	90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	<25 %		
	<b>Pesos</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>		
3		Espaçamento das descontinuidades	> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	<b>Pesos</b>		<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
4	Condição das descontinuidades (ver Tabela 9)		Superfícies muito rugosas, não contínuas, sem separação, paredes de rocha não alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, separação <1 mm, paredes ligeiramente alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, separação <1 mm, paredes muito alteradas	Superfícies polidas ou enchimento com espessura <5 mm ou juntas contínuas com separação 1-5 mm	Enchimento mole com espessura > 5 mm ou juntas contínuas com separação > 5 mm		
		<b>Pesos</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>0</b>		
5	Presença de água		Caudal por 10 m de comprimento do túnel	Nenhum	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min	
			Relação pressão da água vs. tensão principal máxima	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5	
			Condições gerais	Completamente seco	Água intersticial	Húmido	Escorrimentos	Entrada de Água	
<b>Pesos</b>		<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>			

Tabela 9 – (A4) Condições das descontinuidades (Bieniawski, 1990)

a.	Comprimento da descontinuidade (m)	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20
	Peso	6	4	2	1	0
b.	Separação / abertura (mm)	Nenhuma	< 0,1	0,1 - 1,0	1,0 - 5,0	> 5,0
	Peso	6	5	4	1	0
c.	Rugosidade	Muito rugoso	Rugoso	Ligeiramente rugoso	Quase liso	Liso
	Peso	6	5	3	1	0
d.	Enchimento	Nenhum	Duro com espessura < 5 mm	Duro com espessura > 5 mm	Mole com espessura < 5 mm	Mole com espessura > 5 mm
	Peso	6	4	2	2	0
e.	Grau de Alteração	Não alteradas	Ligeiramente alteradas	Moderadamente alteradas	Muito alteradas	Em decomposição
	Peso	6	5	3	1	0

Tabela 10 – (B) Pesos de ajustamento para a orientação das descontinuidades (Bieniawski, 1990)

Direção perpendicular ao eixo do túnel				Direção paralela ao eixo do túnel		
Abertura do túnel no sentido da inclinação		Abertura do túnel no sentido inverso da inclinação		Inclinação 45-90°	Inclinação 20-45°	Inclinação 0-20°
Inclinação 45-90°	Inclinação 20-45°	Inclinação 45-90°	Inclinação 20-45°	Muito desfavorável	Razoável	Razoável
Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável			
		Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Pesos	Túneis	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Tabela 11 – Classificação segundo o índice RMR (Bieniawski, 1990)

Peso Total	Classe	Descrição	Tempo médio para aguentar sem suporte	Coesão (KPa)	Ângulo de atrito (°)
100 - 81	I	Maciço rochoso muito bom	20 Anos para 15 m de vão	> 400	> 45
80 – 61	II	Maciço rochoso bom	1 Ano para 10 m de vão	300 – 400	35 – 45
60 – 41	III	Maciço rochoso razoável	1 Semana para 5m de vão	200 – 300	25 – 35
40 – 21	IV	Maciço rochoso fraco	10 Horas para 2,5 m de vão	100 – 200	15 – 25
<21	V	Maciço rochoso muito fraco	30 min para 1 m de vão	< 100	<15

### 2.2.3. CLASSIFICAÇÃO DE BARTON – Q

Em 1974, com fundamento empírico, observando um enorme número de dados, Barton, Lien e Lund, apresentaram uma proposta de uma classificação que assenta na definição de um índice de qualidade (Q). Este índice baseava-se na análise de 6 fatores considerados relevantes para a caracterização de maciços rochosos, (Barton N., Lien R. and Lunde J., 1974)

Este índice é determinado pela Expressão 4 e apresenta uma variação entre  $10^{-3}$  e  $10^3$ . Todas as variáveis são descritos nas Tabelas 12 a 17.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (4)$$

Todas as variáveis dos três quocientes que compõem a expressão correspondem a três aspetos relativos ao maciço rochoso.

- $\frac{RQD}{J_n}$  caracteriza a estrutura do maciço rochoso e constitui uma medida do bloco unitário deste; o seu valor, variável entre 200 e 0,5, dá uma ideia genérica da dimensão dos blocos;
- $\frac{J_r}{J_a}$  caracteriza as descontinuidades e /ou o seu enchimento sob o aspeto da rugosidade e do grau de alteração; este quociente é crescente com o incremento da rugosidade e diminui com o grau de alteração das paredes em contacto direto, situações a que correspondem aumentos da resistência ao corte; o quociente diminui, tal como a resistência ao corte, quando as descontinuidades têm preenchimentos argilosos ou quando se encontram abertas;
- $\frac{J_w}{SRF}$  representa o estado de tensão no maciço rochoso; o fator SRF caracteriza o estado de tensão no maciço rochoso, em profundidade, ou as tensões de expansibilidade em formações incompetentes de comportamento plástico, sendo a sua avaliação feita quer a partir de evidências de libertação de tensões (explosões de rocha, etc.), quer a partir da ocorrência de zonas de escorregamento ou de alteração localizada; o fator  $J_w$  representa a medida da pressão da água, que tem um efeito adverso na resistência ao escorregamento das descontinuidades.

Para a obtenção do tipo de suporte, foi proposto, por Grimstad e Barton (1993), um gráfico que permite, através do índice Q e da Dimensão Equivalente da Escavação (De), estimar o tipo de suporte, para consulta na Figura 2. A Dimensão Equivalente é obtida dividindo o vão, diâmetro ou altura de escavação pelo índice ESR (“Excavation Support Ratio”), que constitui um fator de segurança definido em função do tipo de obra como mostra a Tabela 18.

Tabela 12 - Rock quality designation (RQD)

Descrição		RQD	Notas
A	Muito mau	0 – 25	Quando RQD for < 10 (incluindo 0) considera-se um valor nominal de 10 no cálculo de Q
B	Mau	25 – 50	
C	Médio	50 – 75	
D	Bom	75 – 90	Intervalos de 5 no RQD têm precisão suficiente (100, 95, 90)
E	Muito bom	90 - 100	

Tabela 13 - Rácio de classificação para o número de descontinuidades ( $J_n$ )

Descrição		$J_n$	Notas
A	Nenhuma ou poucas descontinuidades	0,5 – 1,0	Nas intersecções utilizar
B	Uma família de descontinuidades	2	
C	Uma família mais descontinuidades esparsas	3	
D	Duas famílias de descontinuidades	4	3 x $J_n$
E	Duas famílias mais descontinuidades esparsas	6	
F	Três famílias de descontinuidades	9	No emboquilhamento utilizar
G	Três famílias de descontinuidades esparsas	12	
H	Quatro ou mais famílias, descontinuidades esparsas, maciços muito fraturados	15	
I	Rocha esmagada, tipo terroso	20	2 x $J_n$

Tabela 14 - Rácio de classificação para a rugosidade das discontinuidades ( $J_r$ )

Descrição		$J_r$	Notas
a) Contacto entre as paredes de rocha das discontinuidades			1. As descrições das alíneas a) e b) referem-se a escalas de amostragem de pequena e média dimensão.  2. Adicionar 1,0 se o espaçamento médio da família de discontinuidades mais relevante for maior que 3 m.  3. $J_r$ igual a 0,5 pode ser usado para discontinuidades polidas e planas contendo lineações, se essas lineações estiverem orientadas na direção de menor resistência.
b) Contacto entre as paredes de rocha antes de 10 cm de escorregamento			
A	Juntas descontínuas	4	
B	Descontinuidades rugosas, irregulares, onduladas	3	
C	Descontinuidades suaves e onduladas	2	
D	Descontinuidades polidas e onduladas	1,5	
E	Descontinuidades rugosas ou irregulares, planas	1,5	
F	Descontinuidades lisas, planas	1,0	
G	Descontinuidades polidas, planas	0,5	
c) Não há contacto entre as paredes de rocha no escorregamento			
H	Zona contendo minerais argilosos e suficientemente espessa de modo a impedir o contacto entre as paredes	1,0	
I	Zonas esmagadas contendo areias de modo a impedir o contacto entre as paredes	1,0	

Tabela 15 - Rácio de classificação para as condições hidrogeológicas ( $J_r$ )

Descrição		$J_w$	Pressão da água (MPa)	Notas
A	Escavações secas ou caudal afluído pequeno, <5 l/min localmente	1,0	<0,1	Os fatores nos casos C e F são estimados para condições naturais; o parâmetro $J_w$ deverá ser aumentado caso sejam efetuadas drenagens  Os problemas especiais relacionados com a formação de gelo não são considerados
B	Caudal médio ou pressão que ocasionalmente arraste o preenchimento das discontinuidades	0,66	0,1 – 0,25	
C	Caudal ou pressão elevada em rochas competentes sem preenchimento	0,5	0,25 – 1	
D	Caudal ou pressão elevada, com considerável arrastamento do preenchimento das discontinuidades	0,3	0,25 – 1	
E	Caudal excepcionalmente elevado ou pressão explosiva, decaindo com o tempo	0,2 – 0,1	> 1	
F	Caudal excepcionalmente elevado ou pressão contínua, sem decaimento	0,1 – 0,05	> 1	

Tabela 16 - Rácio de classificações para o grau de alteração das descontinuidades ( $J_a$ )

Descrição		$J_a$	$\phi$ (°)
a) Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			
A	Paredes duras, compactas, preenchimentos impermeáveis	0,75	---
B	Paredes não alteradas, somente com leve descoloração	1,0	25 – 35
C	Paredes ligeiramente alteradas, com partículas arenosas e rochas desintegradas não brandas	2,0	25 – 30
D	Paredes com partículas siltosas ou areno-argilosas	3,0	20 – 25
E	Paredes com partículas de materiais moles ou de baixo ângulo de atrito, tais como caulinite, mica, gesso, talco, clorite, grafite, outras, e pequenas quantidades de argilas expansivas	4,0	8 – 16
b) Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades antes de 10 cm de escorregamento			
F	Paredes com partículas de areia e rocha desintegradas	4,0	25 – 30
G	Descontinuidades com preenchimento argiloso sobreconsolidado (contínuo, mas com espessura < 5 mm)	6,0	16 – 24
H	Descontinuidades com preenchimento argiloso subconsolidado (contínuo, mas com espessura < 5 mm)	8,0	12 – 16
I	Descontinuidades com enchimento argiloso expansivo, como por exemplo montmorilonite; o valor de $J_a$ depende da percentagem de partículas de argila expansiva e do acesso da água	8 – 12	6 – 12
c) Não há contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			
J	Zonas ou bandas com rochas desintegradas ou esmagadas com argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	6,8 ou 8 – 12	6 - 24
K	Zonas ou bandas siltosas ou areno-argilosas, com pequena fração de argila	5,0	---
L	Zonas contínuas de argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	10, 13, 13 – 20	6 - 24

Tabela 17 - Rácio de classificação para o fator de redução de tensões (SRF)

Descrição		SRF	Notas	
a) Zonas de fraqueza intersectando as escavações, o que pode causar a descompressão do maciço rochoso durante a abertura destas			1. Reduzir o índice SRF de 25 a 50% se as zonas de corte influenciarem a escavação sem a atravessarem  2. No caso de maciços rochosos contendo argila, é conveniente obter o índice SRF para as cargas de descompressão. A resistência da matriz rochosa é então pouco significativa, em maciços muito pouco fraturados e sem argila.	
A	Zonas frequentemente fracas, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente; maciço rochoso durante a abertura destas	10,0		
B	Zonas fracas individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (profundidades de escavação inferiores a 50 m)	5,0		
C	Zonas fracas individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (profundidades de escavação superiores a 50 m)	2,5		
D	Numerosas zonas de corte em rocha competente, sem argila; rocha envolvente descomprimida (todas as profundidades)	7,5		
E	Zonas individuais de corte em rocha competente, sem argila (profundidades de escavação inferiores a 50 m)	5,0		
F	Zonas individuais de corte em rocha rígida, sem argila (profundidades de escavação superiores a 50 m)	2,5		
G	Juntas abertas, rocha muito fraturada e descomprimida (todas as profundidades)	5,0		
b) Rocha competente, problemas de tensões na rocha			$\sigma_c / \sigma_1$	$\sigma_t / \sigma_1$
H	Tensões baixas, próximo da superfície	2,5	> 200	> 13
I	Tensões médias	1,0	200 – 10	13 – 0,66
J	Tensões altas, estrutura rochosa muito fechada (usualmente favorável para a estabilidade; pode ser desfavorável para a estabilidade das paredes)	0,5 – 2,0	10 – 5	0,66 – 0,33
K	Explosões moderadas das rochas (rocha maciça)	5 – 10	5 – 2,5	0,33 – 0,16
L	Explosões intensas de rochas (rocha maciça)	10 – 20	< 2,5	< 0,16
c) Rocha esmagada: plastificação de rochas incompetentes sob a influência de altas pressões de rocha				
M	Pressão moderada da rocha esmagada	5 – 10		
N	Pressão elevada da rocha esmagada	10 – 20		
d) Rochas expansivas: atividade química expansiva devida à presença de água				
O	Pressão de expansão moderada	5 – 10		
P	Pressão de expansão elevada	10 – 15		

Tabela 18 - Índice de Segurança ESR para obras subterrâneas (Q)

Classe	Tipo de escavação	ESR
A	Cavidades minerais temporárias	3 – 5
B	Poços verticais de secção circular Poços verticais de secção quadrada ou retangular	2,5 2,0
C	Cavidades minerais definitivas, túneis de aproveitamentos hidráulicos (exceto túneis sob pressão), túneis piloto, túneis de desvio, escavações superiores de grandes cavidades	1,6
D	Cavernas de armazenagem, estações de tratamento de águas, pequenos túneis rodoferroviários, chaminés de equilíbrio, túneis de acesso	1,3
E	Centrais subterrâneas, túneis rodoferroviários de grande dimensão, abrigos de defesa, bocas de entrada, intersecções	1,0
F	Centrais nucleares subterrâneas, estações de caminhos-de-ferro, fábricas	0,8

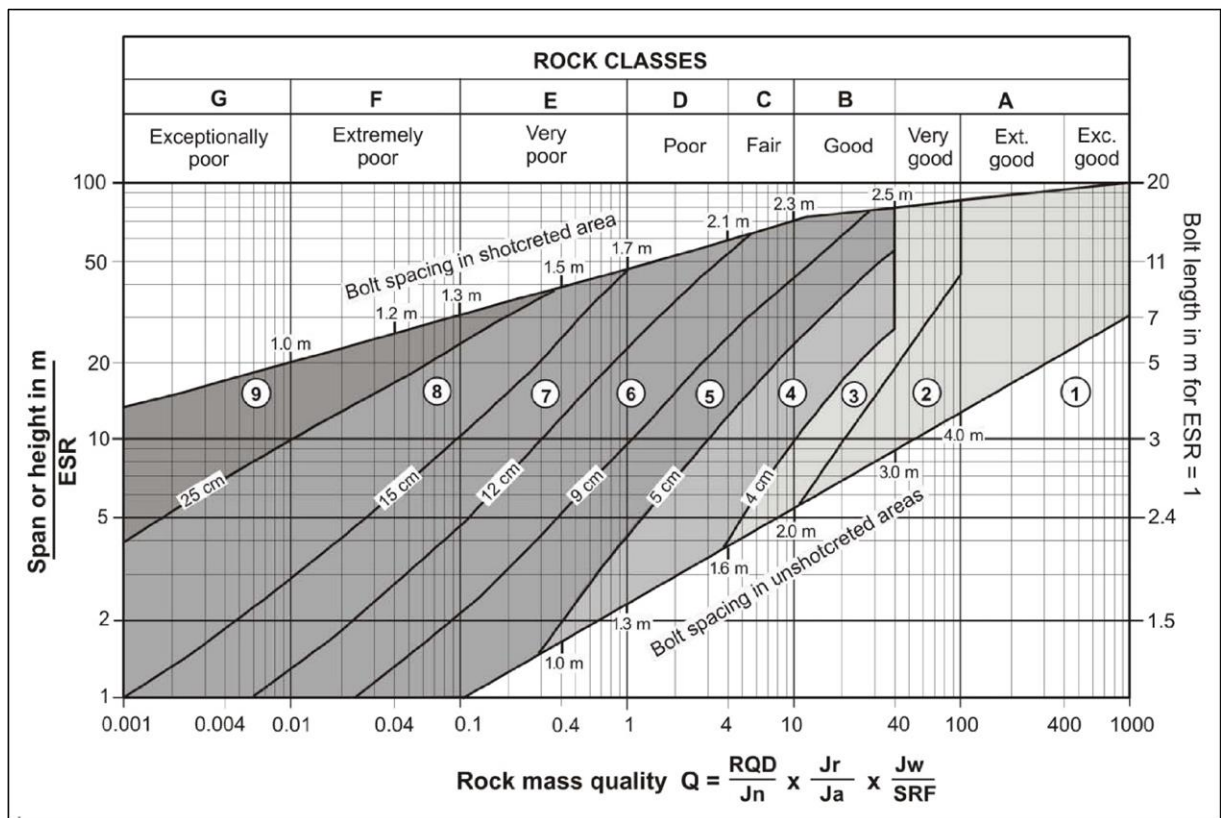


Figura 2 – Classes de suporte estimadas para o sistema de classificação Q

#### 2.2.4. CLASSIFICAÇÃO DE HOEK E BROWN – GSI (ÍNDICE DE RESISTÊNCIA GEOLÓGICA)

Hoek e Brown com o desenvolvimento do critério de rotura generalizado para maciços rochosos, aperceberam-se que este não teria nenhum efeito prático relevante se não pudesse ser relacionado com simples observações que pudessem ser feitas rapidamente em campo pelo engenheiro ou geólogo. Assim, anos depois, com fundamento neste critério de rotura generalizado foi criada uma nova classificação chamada de Índice de Resistência Geológica, GSI (Hoek *et al.*, 2007).

Para melhor compreensão desta classificação é importante fazer uma primeira referência ao critério de rotura por eles criado.

##### 2.2.4.1. Critério Generalizado de Rotura de Hoek-Brown

O critério de rotura generalizado proposto por Hoek e Brown para maciços rochosos articulados é dado pela Expressão 5.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times (m_b \times \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s)^a \quad (5)$$

Onde,

- $\sigma'_1$  e  $\sigma'_3$  são as tensões efetivas de rotura, máxima e mínima, respetivamente;
- $m_b$  é o valor da constante  $m$  de Hoek e Brown para maciços rochosos;
- $s$  e  $a$  são constantes que dependem das características do maciço rochoso;
- $\sigma_{ci}$  é a resistência à compressão uniaxial da rocha intacta.

Para utilizar este critério na estimativa da resistência e deformabilidade de maciços rochosos, é necessário estimar/determinar três características:

- A resistência à compressão uniaxial,  $\sigma_{ci}$ , através de ensaios de laboratório;
- O valor da constante  $m_i$ , determinada também através de ensaios laboratoriais;
- O valor do Índice de Resistência Geológica, GSI.

Para as partes do maciço onde a rocha se apresenta intacta, a Expressão 5 simplifica-se para:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times (m_i \times \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + 1)^{0,5} \quad (6)$$

A relação entre as duas tensões principais na rotura para uma dada rocha é definida por duas constantes, a resistência à compressão uniaxial  $\sigma_{ci}$ , e uma constante  $m_i$ . Estas duas constantes devem ser, sempre que possível determinadas por análises estatísticas dos resultados de ensaios triaxiais.

Uma vez obtidos os resultados dos ensaios triaxiais, depois de serem analisados, estes são usados para determinar a resistência da rocha intacta  $\sigma_{ci}$  e a constante  $m_i$  e a Equação 6 é reescrita da seguinte forma:

$$y = m\sigma_{ci}x + s\sigma_{ci} \quad (7)$$

Onde,  $x = \sigma'_3$  e  $y = (\sigma'_1 - \sigma'_3)^2$ .

#### 2.2.4.2. Índice de Resistência Geológica, GSI

O Índice de Resistência Geológica (GSI) foi introduzido por Hoek (1995) quando este autor procurava estimar a resistência de um maciço rochoso sujeito a diferentes condições geológicas. Esta nova classificação não era mais do que um sistema de classificação de maciços rochosos duros, equivalente ao sistema RMR até então desenvolvido. Entretanto, desde 1998, em que Hoek e Marinos, na construção de um túnel na Grécia encontraram materiais extremamente fracos, estes desenvolveram o GSI e materializaram-no no que hoje é a sua presente forma. Hoje em dia o GSI continua a ser um dos principais veículos para o uso do critério de cedência de Hoek-Brown, (Hoek *et al.*, 2007).

Na Figura 3 está representado um exemplo de uma medição do índice GSI efetuada numa determinada obra. A forma de apresentação pode variar ligeiramente mas geralmente todos os métodos são semelhantes.

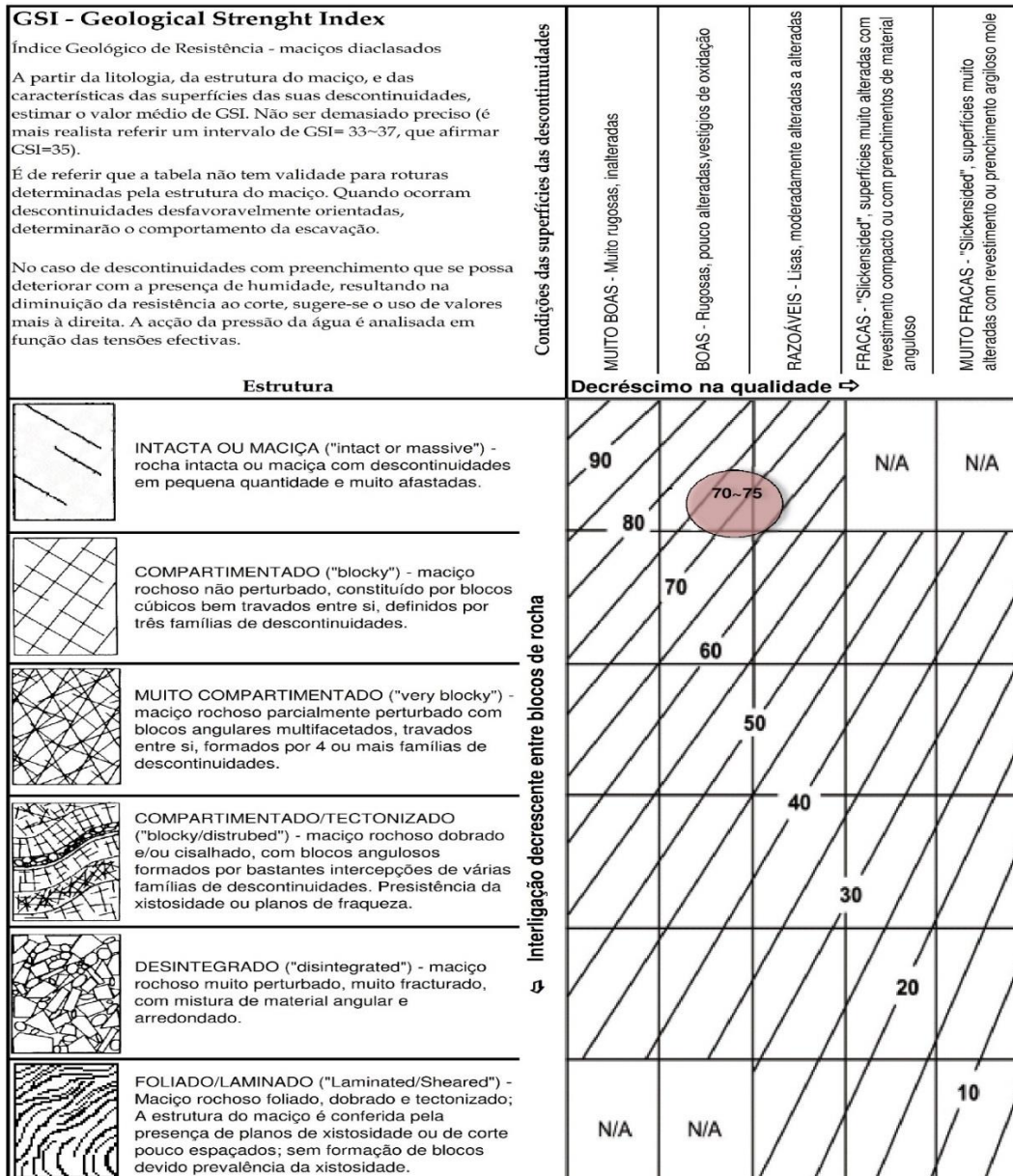


Figura 3 - Estimativa do GSI com base na descrição geológica. Exemplo de um resultado entre 70 a 75.

A resistência de um maciço rochoso é inerente às propriedades dos blocos que o constitui. A facilidade que estes têm de rodar ou deslizar quando são sujeitos a diferentes condições de pressão ou tensão são determinantes para a avaliação global do maciço. Já por si, a facilidade de deslizamento ou rotação depende das formas geométricas dos blocos intactos e das condições das descontinuidades, isto é, as condições das superfícies que separam os blocos. Os blocos com superfícies mais limpas permitem um maciço muito mais forte que aqueles que têm partículas arredondadas nas suas descontinuidades e que contêm o material que as constitui, alterado.

O GSI é um parâmetro estimado e não exato, sendo importante reter que um intervalo de GSI é mais preciso que referir um valor exato. Se o valor de GSI for superior a 25, isto é, se o GSI estimado corresponder a um maciço rochoso de média a boa qualidade, é aplicado o critério original de Hoek-Brown com as Expressões 9 e 10. Por outro lado, se o valor de GSI encontrado for inferior a 25, isto é,

um maciço de fraca qualidade, é aplicado o critério de Hoek-Brown modificado com as Expressões 11 e 12.

$$m_b = m_i * e^{\frac{GSI}{28}} \quad (8)$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9}} \quad (9)$$

$$a = 0,5 \quad (10)$$

$$s = 0 \quad (11)$$

$$a = 0,65 - \frac{GSI}{200} \quad (12)$$

O valor que delimita os maciços de boa qualidade dos de má qualidade foi determinado empiricamente para delimitar a transição entre o critério de original e modificado. Para valores superiores a 25, ou seja, para maciços de boa qualidade, o valor de GSI pode ser estimado através da classificação de Bieniawski, RMR, feita em 1976. Já para valores inferiores a 25, como o maciço em questão se trata de um maciço de pouca ou fraca qualidade, o RMR é difícil de determinar, complicando a correlação com o GSI. A Expressão 13 mostra uma proposta de Hoek e Brown (1997) para a obtenção de uma estimativa do GSI a partir do RMR.

$$GSI = RMR - 5 \quad (13)$$

Uma das principais dificuldades que se pode encontrar aquando da medição do valor do GSI no terreno, é fazer uma correta avaliação deste índice quando temos danos causados por explosivos. De facto, é necessário saber se os danos que se visualizam são naturais do maciço ou se foram causados pelos explosivos. Para contornar este problema, sempre que possível, é preferível utilizar uma superfície escavada ou decapada do que uma superfície obtida com recurso a explosivos, já que o principal objetivo é avaliar e determinar as características de um maciço inalterado. Quando não é possível utilizar superfícies previamente escavadas ou quando todas as superfícies foram afetadas pelo uso de explosivos, deve haver o cuidado de compensar o valor do GSI medido, que será inferior ao que realmente existia. Frequentemente o valor do GSI pode ser avaliado até 10 pontos abaixo daquilo que realmente seria no maciço intacto.

Assim, se estivermos perante superfícies afetadas pelo uso de explosivos podemos fazer uma compensação considerando uma linha acima daquela que daríamos na tabela de classificação Figura 3. De igual forma, se estivermos perante uma superfície afetada pelo uso de explosivos e exposta durante vários anos, devemos fazer um ajuste, na mesma tabela, mas agora considerando a coluna imediatamente à esquerda da coluna que seria considerada sem o ajuste.

O sistema de classificação GSI é essencialmente qualitativo e nunca teve intencionalidade de substituir o RMR ou o Q, já que não tem nenhum tipo de dimensionamento de suporte incorporado. O GSI também não é uma ferramenta que, sozinha, permita dimensionar um túnel, mas sim uma ferramenta que pode estimar a resistência de um maciço.



# 3

## OBRAS EM ESTUDO

### 3.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo são apresentadas os três aproveitamentos hidroelétricos em relação aos quais a informação cedida pela EDP Gestão de Produção de Energias SA., foi objeto de estudo, sendo eles os reforços de Potência de Bemposta, Picote e Alqueva. Estas obras não tiveram qualquer critério de escolha, a não ser o facto de envolverem a escavação de túneis e de terem sido as disponibilizadas pela EDP.

### 3.2. LOCALIZAÇÃO DOS APROVEITAMENTOS

Os aproveitamentos hidroelétricos de Bemposta e Picote localizam-se no troço internacional do Rio Douro, constituindo em conjunto com o escalão de Miranda, o aproveitamento hidroelétrico do Douro Internacional. Este foi atribuído a Portugal pelo convénio Luso-Espanhol de 1927 e construído nas décadas de 50 a 60 do passado século. Na Figura 4 está esquematizado toda a bacia hidrográfica do rio Douro bem como a localização dos seus aproveitamentos.

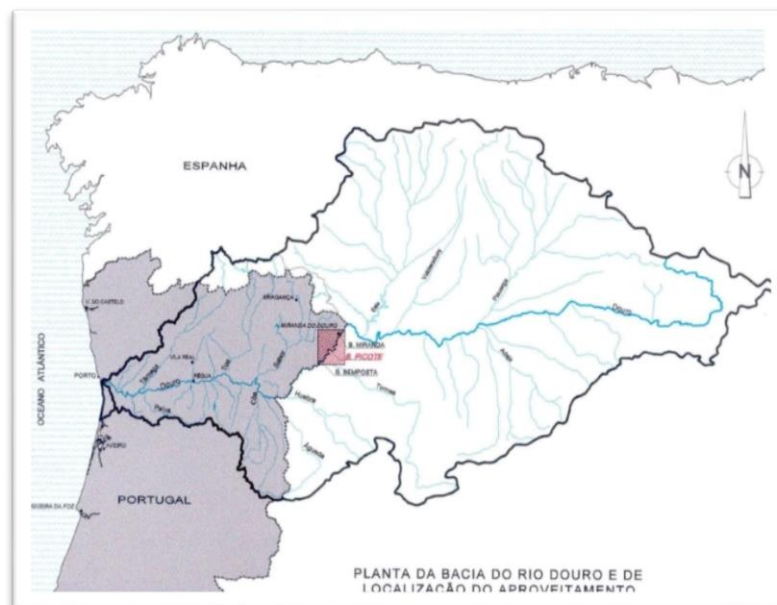


Figura 4 - Planta da bacia do Rio Douro e de localização do aproveitamento (EDP,2013)

A albufeira da barragem de Alqueva é a maior portuguesa e da Europa Ocidental, situada no rio Guadiana, no Alentejo interior, perto da aldeia que lhe deu o nome. A criação desta barragem permitiu a criação do maior reservatório artificial de água da Europa. Sendo atribuído pela celebração do convénio luso-espanhol, este aproveitamento começou a ser projetado em 1994 e foi concluído em 2002

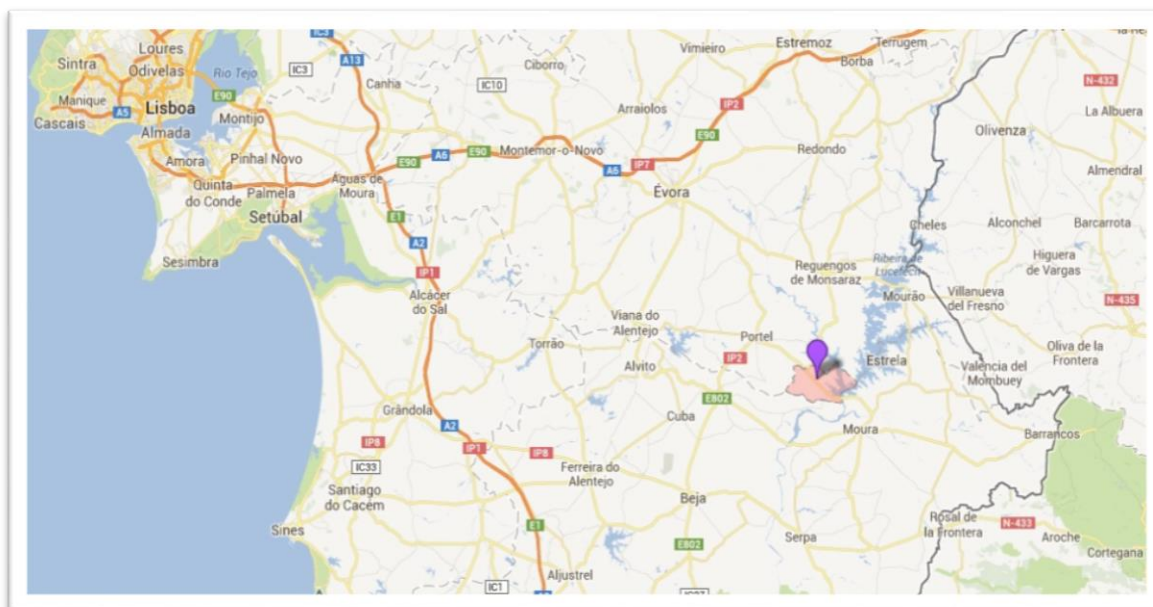


Figura 5 – Localização da Barragem de Alqueva, Freguesia de Alqueva (a roxo) e albufeira da Barragem.

### 3.2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO APROVEITAMENTO DA BEMPOSTA

O escalão de Bemposta foi batizado pela sua localização, sendo-lhe dado o nome da freguesia onde foi construído fazendo parte do concelho de Mogadouro, distrito de Bragança. O troço do Douro Internacional onde foi construída a Barragem de Bemposta (do tipo arco de gravidade), Figura 6, é muito estreito, o que leva a uma albufeira com uma capacidade útil limitada de 21,0 hectómetros cúbicos e com uma capacidade de regularização reduzida. Este escalão localiza-se numa região planáltica, conhecida como Planalto Mirandês, no qual o rio Douro escavou o seu leito. Neste troço, o vale é assimétrico, sendo a margem direita mais-do que a margem esquerda, e o rio Douro tem uma direção próxima de NE-SW.

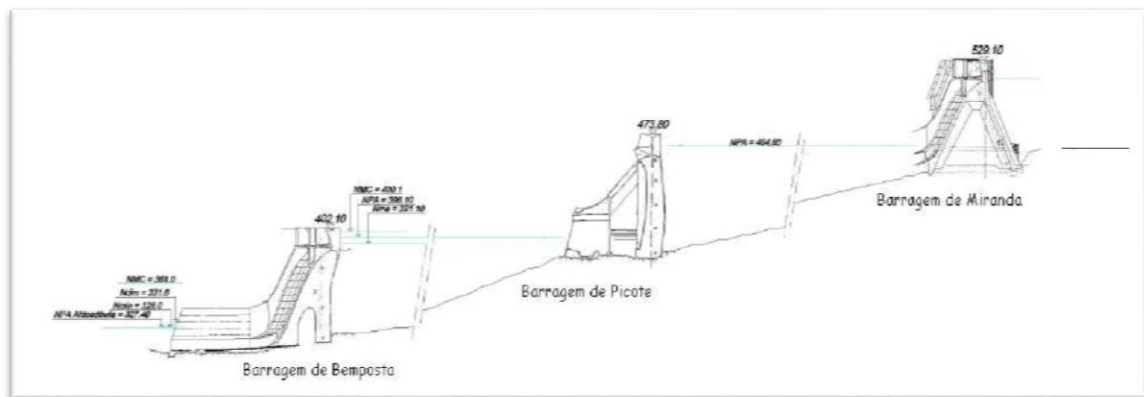


Figura 6 - Perfil esquemático da cascata do aproveitamento Douro Internacional (Volume I,EDP, 2007)

A construção do reforço de potência teve início em fevereiro de 2008 e a sua entrada em serviço teve lugar em novembro de 2011 com um investimento global de 140 milhões de Euros. Este reforço consistiu na construção de um novo circuito hidráulico subterrâneo, em túnel, e uma nova central em poço afastada cerca de 230 m da central existente.

O circuito hidráulico é constituído por uma tomada de água localizada na margem direita, a cerca de 120 m do encontro da barragem, equipada com grades e comportas de segurança, por um túnel em carga revestido a betão armado, com cerca de 410 m de comprimento e 10,5 m de diâmetro, sendo os 45 m finais revestidos com blindagem de aço. A jusante da central, o circuito hidráulico prossegue através de um curto túnel com cerca de 55 m de extensão, revestido a betão, sendo a ligação ao rio feita através de um bocal de restituição.

A nova central está inserida num poço escavado no maciço rochoso com 19 m de diâmetro e 80 m de altura total. Encontra-se implantada numa plataforma que é utilizada como átrio de descarga e montagem dos equipamentos e onde se situa o edifício exterior de apoio. Na parte inferior do poço está instalado o novo grupo gerador composto por um alternador com a potência de 212 MVA diretamente acionado por uma turbina do tipo Francis, de eixo vertical e com distribuidor regulável, de 191 MW sob a queda de 68,1 m, que proporcionará um acréscimo de energia de cerca de 134 GWh/ano médio.

Para a execução das obras subterrâneas foi necessário executar um túnel auxiliar de ataque com cerca de 250 m de extensão, com origem num túnel já existente.

Registou-se uma permanência média diária no local das obras de cerca de 320 trabalhadores de 54 empresas, envolvidos diretamente na execução dos trabalhos, sendo o pico máximo de trabalhadores de 381, (EDP, 2013).

Em suma, das obras de construção civil do reforço de potência de Picote, destacam-se os seguintes elementos:

- Uma central em poço;
- 500 m de circuito hidráulico;
- 250 m de túneis de acesso;
- 400 000 m<sup>3</sup> de escavação;
- 80 000 m<sup>3</sup> de betão.



Figura 7 - Barragem de Bemposta

[http://cnpqb.inag.pt/gr\\_barragens/gbportugal/Bemposta.htm](http://cnpqb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal/Bemposta.htm)

### 3.2.2. CARATERÍSTICAS GERAIS DO APROVEITAMENTO DO PICOTE

O escalão de Picote está localizado entre os escalões de Miranda e Bemposta próximo da freguesia de Picote, situada em Miranda do Douro, distrito de Bragança. Seguindo o exemplo de Bemposta, este aproveitamento também foi criado num troço do rio onde o vale é muito estreito tornando a capacidade útil da albufeira diminuta. As margens do vale são caracterizadas por serem muito abruptas, aproximadamente verticais. Escavadas pelo rio ao longo de uma falha de direção **NW-SE**, esta enorme erosão foi facilitada pelo diaclasamento e fenómenos de erosão meteórica.

A construção do reforço de potência de Picote teve uma duração de 5 anos, com início em março de 2007 e entrada em serviço em outubro de 2011.

Tendo um investimento global de 157 milhões de Euros, aproveitando a barragem de Picote existente, cuja central entrou em serviço em 1958, o projeto do reforço de potência consistiu na construção de um novo circuito hidráulico subterrâneo, em túnel, e uma nova central instalada numa caverna de grandes dimensões, situada a uma profundidade de cerca de 150 metros.

O circuito hidráulico do reforço de potência inicia-se por uma tomada de água a cerca de 120 metros do encontro direito da barragem, sendo esta do tipo abóboda com 100 metros de altura, equipada com grades e comportas de segurança, a que se segue um túnel de carga revestido a betão com cerca de 300 metros de comprimento e 11 metros de diâmetro, sendo os 45 metros finais revestidos com blindagem de aço. Após a central, o circuito hidráulico prossegue através de um curto túnel com uma extensão de

cerca de 150 metros, de secção variável revestida a betão, que termina num bocal implantado a cerca de 120 metros a jusante da barragem.

A execução deste circuito hidráulico exigiu a construção de ensecadeiras provisórias, destacando-se pelas suas grandes dimensões a da tomada de água, que foi realizada através de uma barragem de betão em abóbada, com cerca de 35 metros de altura. O acesso à nova central implicou a construção de um túnel com 625 metros de extensão, acedido através de estradas e túneis preexistentes.

A nova central está equipada com um único grupo gerador, dotado com uma turbina do tipo Francis com capacidade de turbinamento para 400 m<sup>3</sup>/s e com uma potência de 246 MW, que em ano médio acrescentará 239 GWh à energia anteriormente produzida em Picote.

Em termos das principais quantidades de trabalho de construção civil destacam-se 1.800 metros de túneis, 280.000 metros cúbicos de escavação e 80.000 metros cúbicos de betão.

A permanência média diária no local das obras foi de cerca de 300 trabalhadores de 58 empresas, envolvidos diretamente na execução dos trabalhos. O pico atingiu 353 trabalhadores.

Resumindo, os principais dados da obra de construção do reforço de potência de Picote são, (EDP, 2013):

- Uma central em caverna;
- 500 m de circuito hidráulico;
- 1300 m de túneis de acesso;
- 280 000 m<sup>3</sup> de escavação;
- 80 000 m<sup>3</sup> de betão.



Figura 8 - Barragem de Picote

<http://www.frauga.pt/?pID=1>

### 3.2.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO APROVEITAMENTO DE ALQUEVA

A barragem de Alqueva, do tipo abóbada de dupla curvatura, situada no rio Guadiana, a jusante da confluência do rio Degebe e a montante da confluência do rio Ardila, no Alentejo interior, perto da aldeia de Alqueva, começou a sua operação comercial em 2004 e permitiu a criação do maior reservatório artificial de água da Europa. Possuindo uma altura de 96 metros acima da fundação e um comprimento de coroamento de 458 m<sup>2</sup>, a sua capacidade instalada de produção começou por ser de 240 MW (Infopédia, 2013).

O aproveitamento hidroelétrico incluiu inicialmente uma central equipada com 2 grupos reversíveis, com a potência máxima no eixo da turbina de 120 MW por grupo.

Posteriormente em 2008, foi iniciada a construção duma nova central para o reforço de potência do aproveitamento, designada por Alqueva II. Equipada com 2 grupos reversíveis muito idênticos aos de Alqueva I, a nova central foi construída a céu aberto, imediatamente a jusante do encontro direito da barragem, aproveitando uma plataforma aí existente.

O objetivo do reforço consiste assim na duplicação da potência instalada reversível, por forma a tirar maior partido das condições resultantes da conjugação da grande albufeira de Alqueva e do contraembalse de Pedrógão com capacidade para permitir ciclos semanais de turbinamento e bombagem.

A nova central está equipada com dois grupos geradores, dotados de turbinas do tipo Francis com capacidade de turbinamento para 200 m<sup>3</sup>/s e com uma potência de 129,6 MW.

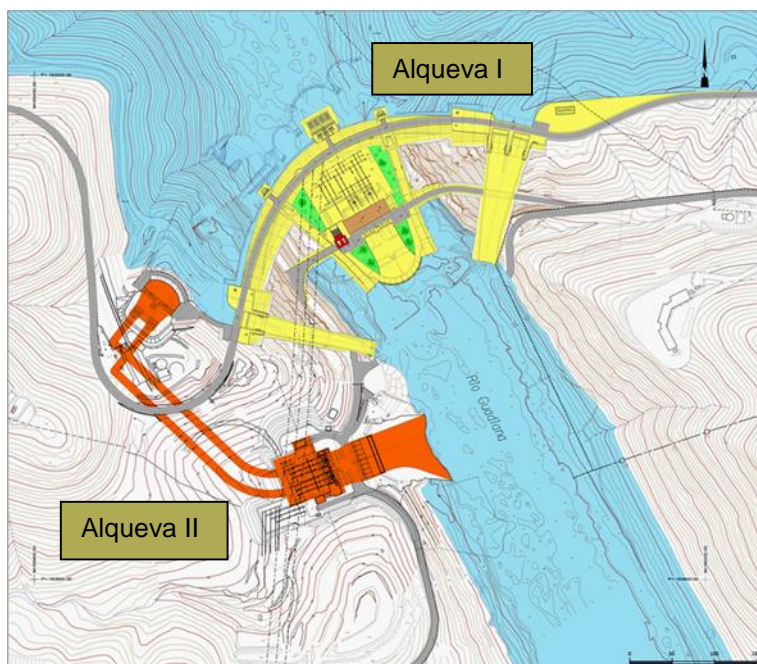


Figura 9 – Alqueva I e Alqueva II

Cada um dos dois túneis tem um diâmetro de 8,5 m e um comprimento de 360/387 m. Para um acesso às zonas mais baixas dos túneis foi feita uma galeria de acesso de cerca de 140 m. A central tem 39,70 x 79,10 m em planta.

Em Dezembro de 2012, Alqueva II começou a sua produção rondando os 381 GWh.

### **3.3. DADOS PROVENIENTES DAS OBRAS**

Para a elaboração deste trabalho, foram fornecidas as fichas de medição dos índices RMR e Q, elaboradas durante as escavações para a construção dos três aproveitamentos hidroelétricos aqui apresentados. O GSI não foi utilizado pelas empresas envolvidas na empreitada geral de construção, forçando a sua exclusão do estudo deste trabalho.

As fichas fornecidas contêm as medições do índice RMR e Q e são compostas pela descrição dos parâmetros dos índices em causa, pesos e valores atribuídos e o valor final do índice, sendo que no geral foram efetuadas mais de 1500 medições idênticas às das Figuras 10 e 11.



**REFORÇO DE POTÊNCIA DE PICOTE**  
**CENTRAL II (rebaixo entre a cota 392,60 e 386,20)**

Classificação de Barton entre o Pk: 0+015 e o pk 0+000 (Hasteal Jusante)

RQD		PRESEÇA DE ÁGUA ( Jw )	
A Muito pobre	0 a 25 %	Nota: ( ) Caso o valor de RQD seja inferior a 10, adoptar o valor 10	
B Pobre	25 a 50 %		
C Razoável	50 a 75 %		
D Bom	75 a 90 %		
E Excelente	90 a 100 %		
VALOR ADOPTADO		75	

NÚMERO DE FAMILIAS DE DIACLASES (Jn)		PRESEÇA DE ÁGUA ( Jw )	
A Maciço (s/ diaclases)	0,5 a 1	A Seco ou caudal < 5/min. localizado	1 <1
B Uma família	2	B Caudal médio ou pressão ocasional	0,66 1-2,5
C Uma família e aleatórias	3	C Caudal elevado ou pressão elevada	0,5 2,5-10
D Duas famílias	4	D Idem com lavagem do preenchimento das diaclases	0,33 2,5-10
E Duas famílias e aleatórias	6	E Caudal excepcionalmente elevado ou aparecimento de água c/ pressão após rebentamento e diminuindo	0,2 a 0,1 >10
F Três famílias	9	F Idem sem diminuição de caudal	0,1 a 0,55 >10
G Três famílias e aleatórias	12		
H Quatro ou mais famílias, muito fracturado	15	Nota: Caso se faça a drenagem do maciço, aumentar o valor de Jw	
J Rocha esmagada, solo	20	VALOR ADOPTADO	1

RUGOSIDADE ( Jr )		PARAMETRO SRF	
a. Paredes em contacto	Jr	a. Zonas de falhas interceptam a escavação podendo originar sobreescavações	
b. Paredes mantem contacto após 10cm movimento		A Ocorrência de muitas zonas contendo argila ou rocha desagregada (qualquer profundidade)	10
A Diaclases descontínuas	4	B Ocorrência de poucas zonas idênticas a A (prof. escavação < 50m)	5
B Rugosas ou irregulares, onduladas	3	C Idem c/ profundidade de escavação > 50m	2,5
C Lisas, onduladas	2	D Muitas zonas de falha(s/ argila), rocha decomposta (qualquer prof.)	7,5
D "Slickensided", onduladas	1,5	E Poucas zonas de falha(s/ argila), profundidade de escavação < 50m	5
E Rugosas ou irregulares, planas	1,5	F Idem c/ profundidade de escavação > 50m	2,5
F Lisas, planas	1	G Rocha intensamente fragmentada (escavação a qualquer profundidade)	5
G "Slickensided", planas	0,5		
c. Sem contacto de rocha após movimento		b. Rocha dura, problemas de tensões virgens	
H Preenchimento argiloso e abertas sem contacto entre paredes	1	H Tensões baixas ou escav. próximo da superfície	se/s1 >200 >13 2,5
J Preenchimento arenoso e abertas sem contacto entre paredes	1	J Tensões médias	200 a 10 13 a 0,66 1
VALOR ADOPTADO	1,5	K Tensões elevadas	10 a 50 0,66 a 0,33 0,5 a 2
		L Possível ocorrência de explosões ligeiras de rocha	5 a 2,5 0,33 a 0,16 5 a 10
		M Possível ocorrência de explosões violentas de rocha	<2,5 <0,16 10 a 20
		c. Rocha expansiva ou comportamento plástico devido a tensões elevadas	
		N Tensão de expansibilidade média	5 a 10
		O Tensão de expansibilidade elevada	10 a 20
		d. Rocha expansiva, dependendo da presença de água	
		P Tensão de expansibilidade média	5 a 10
		R Tensão de expansibilidade elevada	10 a 15
		VALOR ADOPTADO	2

ESTADO DE ALTERAÇÃO DAS FRACTURAS ( Ja )		CALCULO DE Q	
a. Paredes em contacto	Ja F	Q = ( RQD / Jn ) x ( Jr / Ja ) x ( Jw / SRF )	
A Duro, impermeável, tipo fião de quartzo	0,75	RQD = 6,25	Jr = 0,38
B Paredes sãs	1 (25-35)	Jn =	Jw = 0,50
C Paredes ligeiramente alteradas. Preenchimento tipo areia ou rocha sem argila	2 (25-30)	Ja =	SRF =
D Preenchimento silteoso ou areno-argiloso	3 (20-25)		
E Preenchimento de argila mole, talco, gesso grafito ou argila pouco expansiva	4 (8-16)		
b. Paredes mantem contacto após 10cm movimento			
F Preenchimento com areia e fragmentos de rocha sem argila	4 (25-30)		
G Preenchimento com argila rija sobreconsolidada, continua, abertura < 5mm	6 (16-24)		
H Idem pouco ou medianamente sobreconsolidada	8 (12-16)		
J Preenchimento com argila expansiva, continua, abertura < 5mm (valor adoptado depende da % argila ou da presença de água)	8 a 12 (6-12)		
c. Sem contacto de rocha após movimento			
K,L Preenchimento por rocha desintegrada ou esmagada	6 a 8		
M Preenchimento idêntico as zonas G, H e J	8 a 12 (6-24)		
N Preenchimento c/silte ou areia argilosa	5		
O,P Preenchimento espesso de argila	10 a 13 (6-24)		
R Preenchimento espesso de argila idêntico as zonas G, H e J	6 a 24		
VALOR ADOPTADO	4		

Q	1,17
---	------

Data: 25 / 06 / 2009 Efectuado por: \_\_\_\_\_  
Validado por: \_\_\_\_\_ (Fiscalização)

Figura 10 - Exemplo de uma ficha de medição do índice Q (Picote)



**REFORÇO DE POTÊNCIA DE PICOTE  
CENTRAL II (rebaixo entre a cota 392,6 e 386,2)**

Classificação de Bieniawski do Pk: 0+030 ao 0+015 (Hasteal Jusante)

Point Load Mpa	Res. Comp. Uniaxial Mpa	
>10	>250	15
4 - 10	100 - 250	12
2 - 4	50 - 100	7
1 - 2	25 - 50	4
< 2 *	5 - 25	2
< 2 *	1 - 5	1
< 2 *	< 1	0
		<b>6</b>

RQD %	
90 - 100	20
75 - 90	17
50 - 75	13
25 - 50	8
< 25	3
<b>18</b>	

Características das descontinuidades (ver nota abaixo)	
Paredes Rugosas, descontinuas, fechadas, paredes sem alteração	30
Paredes ligeiramente rugosas, abertura < 1 mm, paredes ligeir. alteradas	25
Paredes ligeiramente rugosas, abertura < 1 mm, paredes muito alteradas	20
Contínuas; Paredes lisas ou preenchimento argiloso < 5 mm ou abertura 1 - 5 mm	10
Contínuas; Preenchimento argiloso > 5 mm ou abertura > 5 mm	0
<b>16</b>	

Espaçamento descontinuidades	
> 2 m	20
0.6 - 2 m	15
200 - 600 mm	10
60 - 200 mm	8
< 60 mm	5
<b>10</b>	

Orientação descontinuidades	
Muito Favorável	0
Favorável	-2
Razoável	-5
Desfavorável	-10
Muito desfavorável	-12
<b>-2</b>	

ÁGUA SUBTERRÂNEA		
Fluxo/10 m túnel	Quociente=Pressão hidráulica fracturas/ Tensão principal	Condições Gerais
Nulo	0	Seco
< 10 l/min	0.0 - 0.1	Húmido
10 - 25 l/min	0.1 - 0.2	Saturado
25 - 125 l/min	0.2 - 0.5	Gotejante
> 125 l/min	> 0.5	Escorrência
		<b>15</b>

<b>RMR Básico</b>
<b>63</b>

<b>ZONAMENTO</b>
<b>SECÇÃO TIPO B</b>

Direcção Perpendicular ao eixo do Túnel				Direc. Paralela ao eixo		Inclinação 0° - 20°
A favor da Escavação		Contra a Escavação		45°-90°	20°-45°	
45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	Muito Desfavorável	Razoável	Razoável
Muito Favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável			

Nota: Para a situação presente foi combinado com a fiscalização a apresentação do RMR Básico.

Nota: Guia para a classificação das características das descontinuidades

Comprimento da descontinuidade	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20m
	6	4	2	1	0
Separação (abertura)	fechada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5mm
	6	5	4	1	0
Rugosidade	muito rugosa	rugosa	ligeira/ rugosa	lisa	espelhada
	6	5	3	1	0
Enchimento	nenhum	< 5mm, duro	> 5mm, duro	< 5mm, mole	> 5mm, mole
	6	4	2	2	0
Alteração	não alterada	ligeira	moderada	muito alterada	decomposta
	6	5	3	1	0

Qualidade do maciço rochoso

SOMA DOS PESOS	CLASSE Nº	DESCRIÇÃO
100 - 81	I	Muito Bom
80 - 61	II	Bom
60 - 41	III	Razoável
40 - 21	IV	Mau
<20	V	Muito Mau

Data: 24 / 06 / 2009

Efectuado por: \_\_\_\_\_

validado por: \_\_\_\_\_ (Fiscalização)

MOD\_CEGE\_001.2

Figura 11 - Exemplo de uma ficha de medição do índice RMR (Picote)



# 4

## CORRELAÇÃO DOS ÍNDICES RMR E Q

### 4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é introduzido o estudo de uma correlação entre o índice RMR e Q e tudo o que ele envolve. São referenciadas propostas de correlações entre os índices RMR e Q já existentes, estudados vários tipos de correlação estatísticas, é realizado um estudo estatístico nas três obras e por último é abordada a correlação proposta pelo autor.

### 4.2. PROPOSTAS EXISTENTES

Percorrendo as várias décadas que sucederam à criação do índice de classificação RMR (Bieniawski, 1973) e o índice Q (Barton N. *et al.*, 1970) foram propostas diversas correlações empíricas entre estes dois índices. As mais usuais são, (Castro-Fresno *et al.*, 2012):

- Bieniawski. (Bieniawski, 1984)

$$RMR = 9 * LnQ + 44 \quad (14)$$

- Rutledge e Preston. (Rutledge e Preston, 1978)

$$RMR = 5.9 * LnQ + 43 \quad (15)$$

- Moreno. (Moreno Tallon, 1980)

$$RMR = 5.4 * LnQ + 55.2 \quad (16)$$

- Cameron-Clarke e Budavari (Cameron-Clarke e Budavari, 1981)

$$RMR = 5 * LnQ + 60.8 \quad (17)$$

- Abad J. (Abad *et al.*, 1987)

$$RMR = 10.5 * LnQ + 41.8 \quad (18)$$

Logo à partida é possível referir quais as semelhanças que estas correlações incorporam. Todas estas expressões são o reflexo de que todos os autores estão em consenso quanto ao facto da correlação ideal, entre os índices RMR e Q, ser uma função logarítmica de primeiro grau. A Figura 12 representa graficamente todas as expressões.

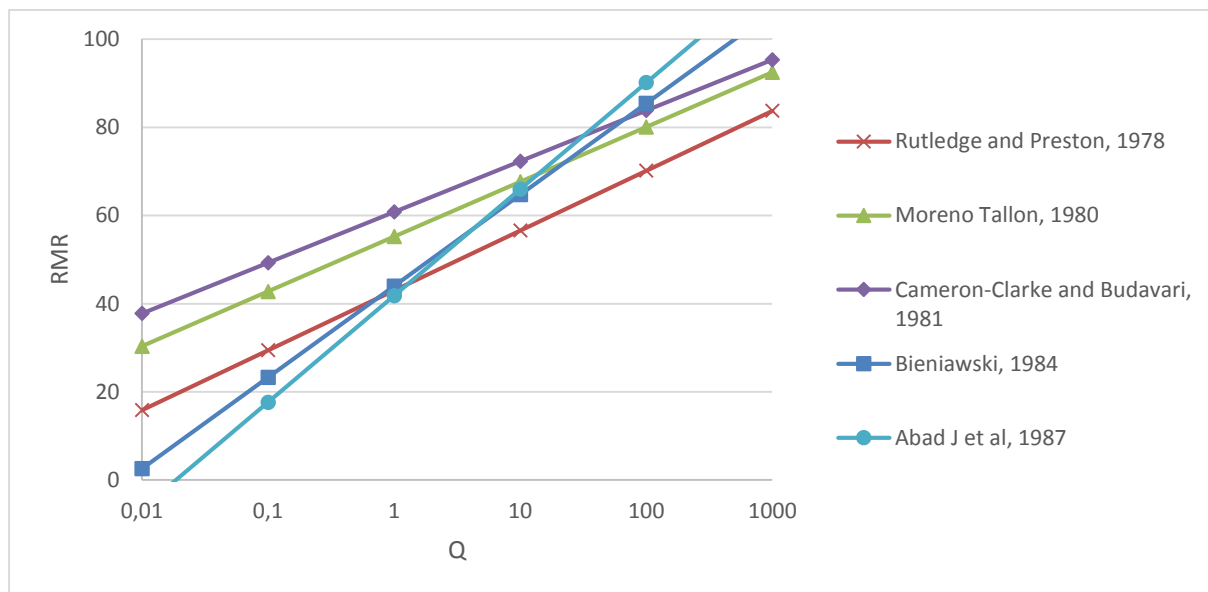


Figura 12 - Correlações já existentes entre o índice RMR e Q

Na Figura 12, é de notar uma grande aproximação entre todos as soluções dos vários autores no que toca aos valores mais centrais do RMR e do Q. O mesmo já não se verifica em relação aos valores mais extremos, levando a uma variação cada vez maior das variáveis e conseqüente fraca correlação entre os índices em estudo.

Sendo as zonas mais extremas da figura as mais ambíguas e não trazendo consenso por parte dos autores das correlações apresentadas, estas merecem mais atenção e estudo. Todas as diferentes formulações foram obtidas da análise de dados provenientes de vários tipos de obras com condições específicas, estando assim dependentes dos dados que lhes deram forma. Isto é, se a mesma identidade que criou uma correlação numa determinada obra criasse outra correlação, mas agora noutra obra completamente distanciada da primeira, obteria uma relação diferente mas não fugindo muito do intervalo da Figura 12. Entenda-se por “intervalo” toda a zona compreendida pelas correlações mais extremas, em que o limite superior é composto pela correlação de Cameron-Clarke e Budavari. (Cameron-Clarke e Budavari, 1981) junto com a de Abad *et al.* (Abad *et al.*, 1987) e o limite inferior composto pela correlação de Abad *et al.* junto com a do Rutledge e Preston (Rutledge e Preston, 1978).

#### 4.3. BREVE REFERÊNCIA A CORRELAÇÕES ESTATÍSTICAS

Em estatística, dependência refere-se a uma qualquer relação entre duas variáveis aleatórias enquanto uma correlação refere-se a uma ampla classe de relações envolvendo uma dependência. Isto é, na teoria da probabilidade estatística uma relação entre duas variáveis que exiba dependência, pode ser definida como uma correlação, embora não implique causalidade na medida em que esta se concretize. Neste sentido, para a medição do grau de correlação, existem vários coeficientes, sendo utilizados de acordo com a natureza dos dados.

As correlações são muito úteis porque podem prever um acontecimento que pode ser explorado na prática. Um exemplo disso é a relação da produção de energia num aproveitamento hidroelétrico e o tempo. Obviamente nas épocas chuvosas haverá mais produção de eletricidade, enquanto nas épocas

mais secas esta será menor. Sendo as variáveis em estudo a energia produzida e a intensidade de precipitação, é possível estudar a relação entre elas e com base numa correlação prever a causa-efeito.

Existem vários coeficientes de correlação, frequentemente denotados por  $\rho$  ou  $r$ , para medir o grau de correlação. O mais comum é o coeficiente de Pearson que é sensível só a relações lineares entre duas variáveis, podendo existir ainda que uma seja uma função não linear da outra. Outros coeficientes de correlação têm sido desenvolvidos para serem mais robustos que a correlação de Pearson.

#### 4.3.1. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

O coeficiente de correlação de Pearson desenvolvido por Karl Pearson, é a medida de dependência mais usada entre duas variáveis. Este coeficiente é obtido dividindo a covariância de duas variáveis pelo produto dos seus desvios padrão.

O coeficiente de correlação  $r_{x,y}$ , entre duas variáveis aleatórias X e Y com valores esperáveis  $\mu_x$  e  $\mu_y$  e desvio padrão  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  é definida como (Wikipédia, 2013a):

$$r_{x,y} = \text{corr}(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (19)$$

Onde  $E$  é o operador do valor esperado,  $\text{cov}$  significa covariância e  $\text{corr}$  significa coeficiente de correlação.

A correlação de Pearson só é definida se os desvios padrão,  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$ , forem finitos e diferentes de zero.

O coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 a +1 sendo +1, o resultado perfeito de uma correlação positiva crescente e -1 o resultado de uma correlação perfeita negativa decrescente. Todos os valores compreendidos entre -1 e +1 indicam o grau de dependência entre as duas variáveis. Quanto mais perto o coeficiente estiver de -1 ou +1, mais forte será a correlação entre as variáveis. Se as variáveis forem independentes, o coeficiente de correlação de Pearson é 0.

Quando temos uma série de n medições das variáveis X e Y descritas como  $x_i$  e  $y_i$ , onde  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , então o coeficiente de correlação de Pearson para amostras, Expressão 19, pode ser usado para estimar o comportamento da população de dados (Wikipédia, 2013a).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (20)$$

Onde  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  são as médias de X e Y e  $s_x$  e  $s_y$  os respectivos desvios padrão.

Valores de r maiores que 0,70, para mais ou para menos, conforme este seja positivo ou negativo, indicam uma forte correlação. Valores compreendidos entre 0,30 e 0,70, positivos ou negativos, indicam uma correlação moderada e valores entre 0 e 0,30 uma fraca correlação.

#### 4.3.2. COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO

O coeficiente de determinação, denominado de  $R^2$ , é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado em relação aos valores observados. O  $R^2$  pode variar entre 0 e 1, indicando, em percentagem o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o  $R^2$ , mais o modelo se ajusta a amostra. Por exemplo, se o  $R^2$  de um modelo é 0,777, isto significa de 77,7% da variável dependente consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo.

O *software Microsoft Office Excel* esta provido de uma ferramenta gráfica que nos permite criar uma linha de tendência em gráficos de dispersão, entre outros, podendo também exibir os valores de  $R^2$ . Este valor de  $R^2$  será igual ao quadrado do coeficiente de Pearson quando a relação for linear, mas será diferente quando a relação for de grau superior. A explicação desta variabilidade reside no facto do coeficiente de determinação se adaptar de acordo com a escala e grau de correlação

#### 4.3.3. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN.

O coeficiente de correlação de Spearman, também conhecido por correlação de rankings, proposto por Charles Spearman, frequentemente representado por  $\rho$ , é uma medida não paramétrica de dependência entre duas variáveis. Ao contrário do coeficiente de correlação de Pearson, este não requer a suposição que a relação entre as variáveis é linear.

O coeficiente de correlação de Spearman avalia quão boa pode ser a relação entre duas variáveis, podendo ser descrito usando uma função monótona. Caso existam valores repetidos, estamos perante uma correlação de Spearman perfeita de +1 ou -1 em que cada variável é uma função monótona perfeita da outra.

O coeficiente de Spearman é dado por, (Wikipédia, 2013b):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{(n^3 - n)} \quad (21)$$

Onde,  $d_i$  é a diferença entre cada posto de valor correspondentes de  $x$  e  $y$  e  $n$  o número dos pares de valores.

O coeficiente de correlação de Spearman é menos sensível do que o de Pearson a valores muito distantes do esperado. Como se pode observar na Figura 13, uma correlação de Spearman igual a 1 ocorre quando duas variáveis são monotonamente relacionáveis, mesmo que a sua relação seja não linear. Já a correlação de Pearson, por não se tratar de uma relação linear, não é perfeita.

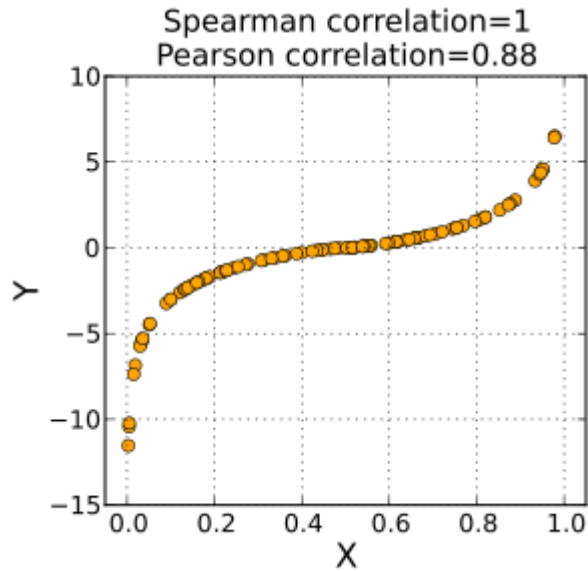


Figura 13 - Correlação de Spearman vs Pearson, Exemplo 1, (Wikipédia, 2013b)

Quando os valores são completamente aleatórios, não transmitindo nenhuma relação aparente, Figura 14, os coeficientes de correlação de Spearman e de Pearson são idênticos.

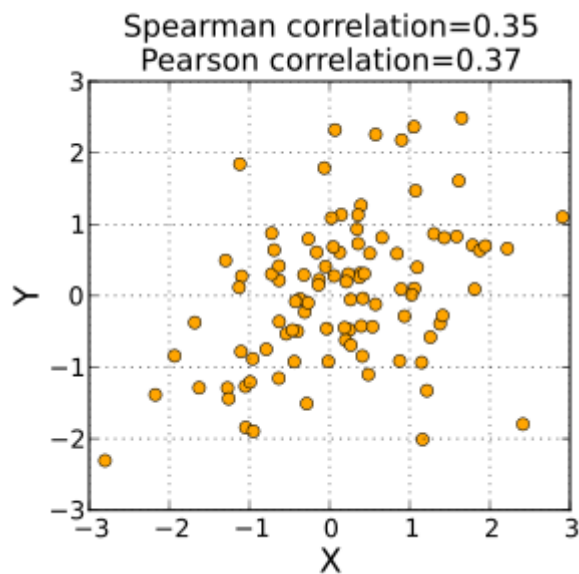


Figura 14 - Correlação de Spearman vs Pearson, Exemplo 2, (Wikipédia, 2013b)

Quando existem valores mais afastados, dando a aparência de duas amostras diferentes, Figura 15, a correlação de Spearman é menos sensível que a de Pearson.

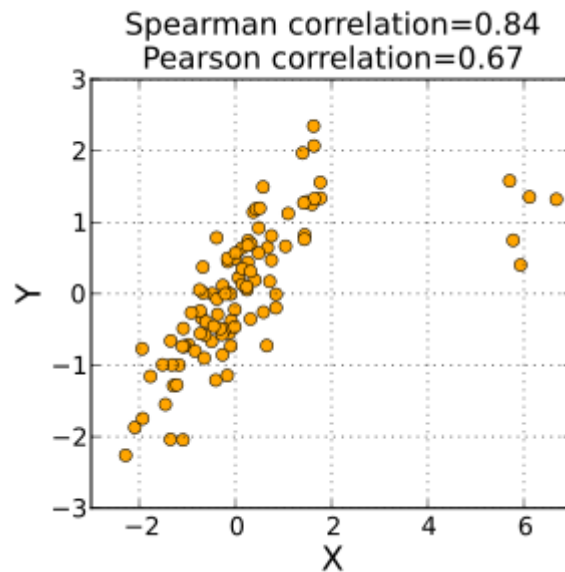


Figura 15 - Correlação de Spearman vs Pearson, Exemplo 3, (Wikipédia, 2013b)

#### 4.4. CORRELACIONANDO OS DADOS

Algumas considerações devem ser tecidas e esclarecidas antes de criar uma correlação. Uma correlação entre dois parâmetros, neste caso o índice RMR e o índice Q, pode usar diferentes tipos de expressões matemáticas para dar corpo à mesma. Nas correlações anteriormente apresentadas os autores optaram por usar a lei logarítmica, Expressão 22, pelo que é importante saber o motivo desta escolha.

$$RMR = a * \ln(Q) + b \quad (22)$$

Onde,  $a$  e  $b$  são dois parâmetros.

Não obstante, uma correlação não se rege unicamente pela lei logarítmica, existindo também a lei potencial, linear, exponencial e polinomial, Expressão 23, 24, 25 e 26, (Castro-Fresno, D., *et al.*, 2012).

$$RMR = a * Q^b \quad (23)$$

$$RMR = a * Q + b \quad (24)$$

$$RMR = a * e^{b*Q} \quad (25)$$

$$RMR = a * Q^4 + b * Q^3 + c * Q^2 + d * Q + e \quad (26)$$

A escolha de uma correlação logarítmica não vem ao acaso. Para melhor percepção desta escolha, é necessária uma análise das figuras seguintes.

Utilizando dados provenientes de três grandes obras hidráulicas nacionais, apresentadas no capítulo anterior, foram obtidas as seguintes correlações entre os índices RMR e Q.

Começando pela correlação logarítmica, o resultado obtido foi o expresso na Figura 16.

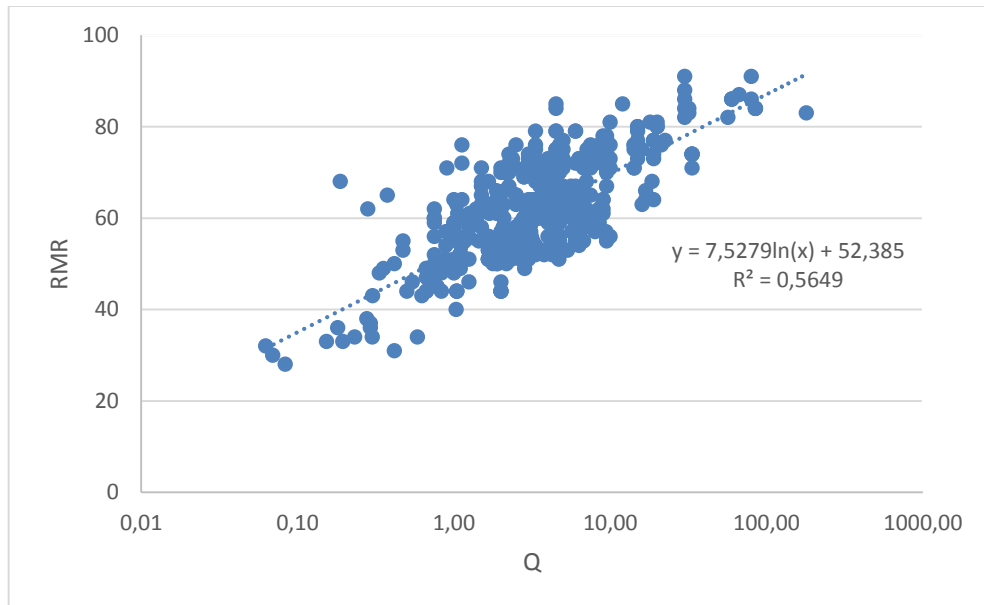


Figura 16 - Correlação Logarítmica

Este é o tipo de correlação frequentemente utilizado no estudo destes índices. De facto, devido às propriedades do índice Q, que pode ter variações muito baixas, na escala das centésimas, mas também variações muito altas, na escala das centenas, a utilização de uma escala logarítmica revela-se uma mais-valia já que a mancha das amostras fica com uma tendência linear. Utilizando uma aproximação logarítmica numa escala logarítmica o resultado é o que seria obtido com a representação de uma aproximação linear numa escala linear, isto é uma reta que segue a tendência da dispersão, encontrando boas correlações e tornando a análise de resultados muito mais prática.

Partindo agora para a lei potencial, representada pela Expressão 23, sendo a mais usual, o resultado obtido foi o representado na Figura 17.

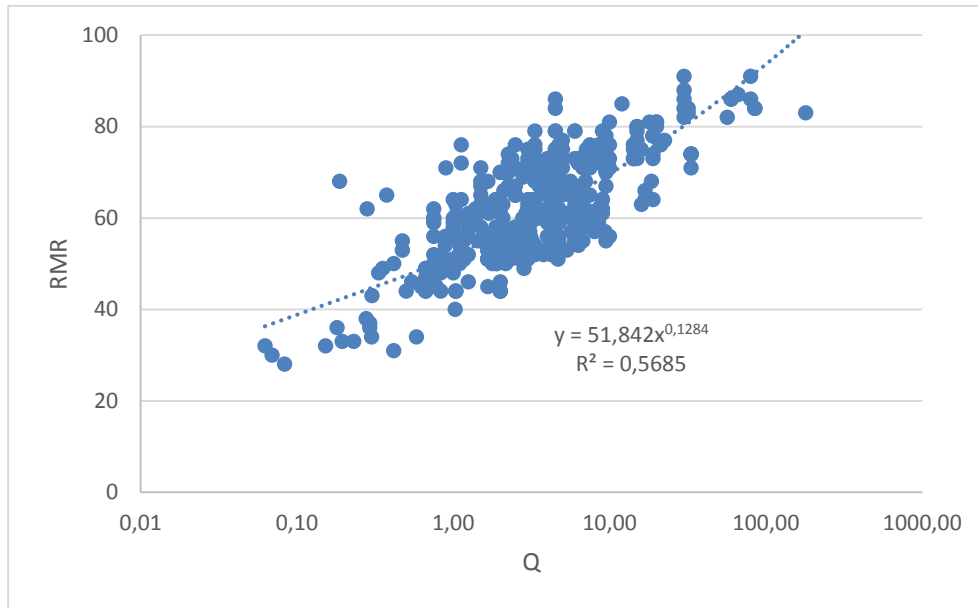


Figura 17 - Correlação potencial

Esta aproximação mostra um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) muito próximo da aproximação logarítmica, sendo até superior em algumas milésimas. Contudo, esta pode não ser a melhor representação já que a maior parte dos valores observados do índice Q são menores que 10. Isto é, sendo o intervalo de valores possível [0,01;1000], valores mais altos do índice Q mesmo estando em minoria, têm grande influência no resultado final devido à concavidade da aproximação. Esta é possivelmente a possível razão para que este tipo de aproximação não seja utilizada pela comunidade. Não obstante, esta relação poderia ser perfeitamente usada em túneis onde não se verificarem valores do índice Q superiores a 2 já que a partir deste, os valores tendem a diminuir a sua dispersão.

Por sua vez, a Figura 18, representa uma correlação linear.

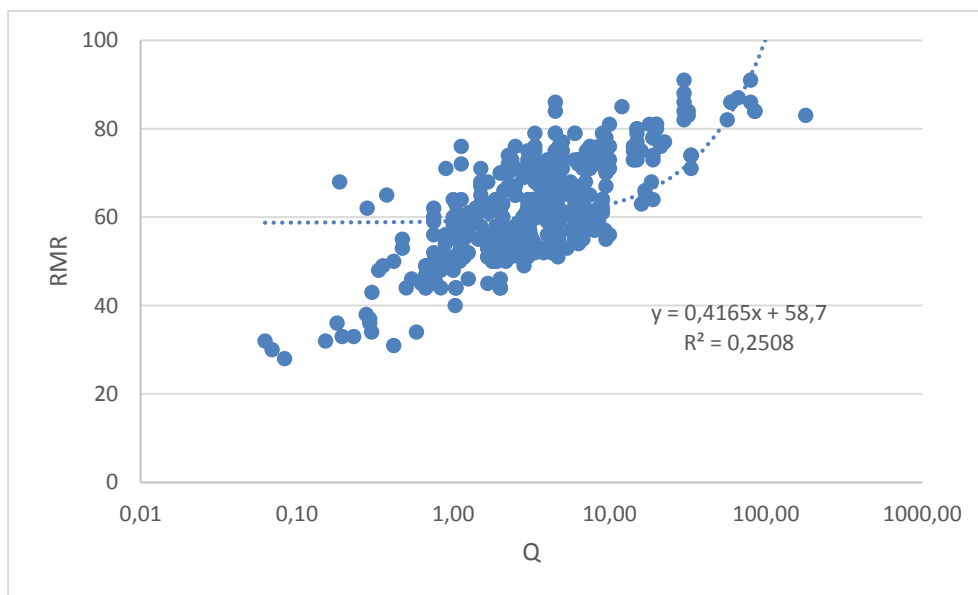


Figura 18 - Correlação linear

Esta aproximação apresenta um nível de correlação fraco, não sendo por isso muito eficaz neste caso. Uma simples observação do gráfico mostra que um grande nível de incerteza está presente.

Como a dispersão de resultados se concentra em valores do índice Q inferiores a 10, estes praticamente não contribuem nada para a correlação, isto é, a linha de tendência acompanha sempre os valores mais afastados ignorando a evolução dos dados que se concentram mais juntos, criando uma reta que abranja todos os pontos. Contudo, este tipo de aproximação poderá ser uma mais-valia em valores elevados do índice Q.

Continuando com o estudo das possíveis correlações, representa-se, na Figura 19, a correlação exponencial.

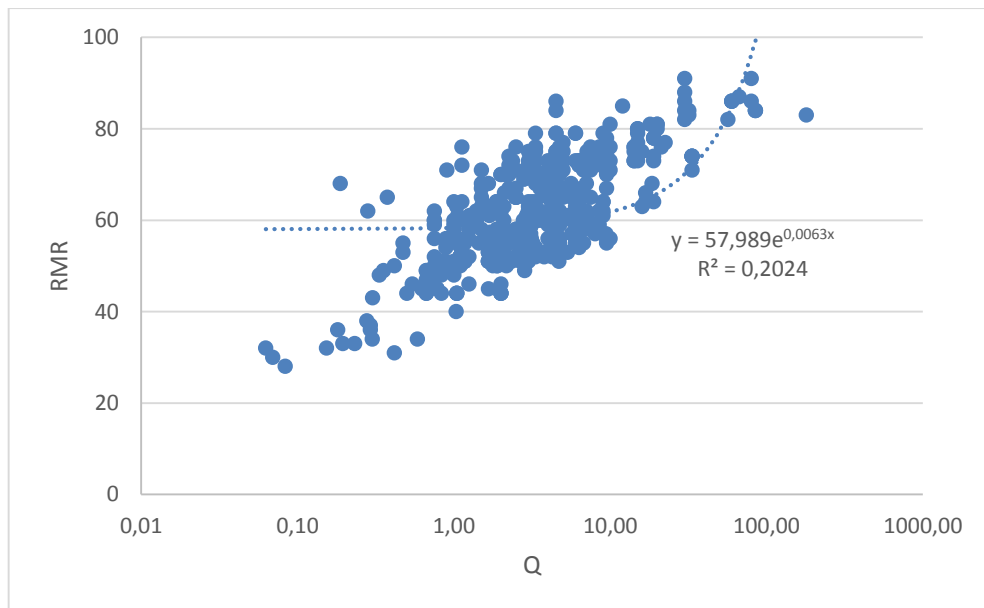


Figura 19 - Correlação exponencial

Semelhante à aproximação linear, a correlação exponencial parece favorecer os valores mais elevados dos índices em estudo devido à sua forma côncava. Contudo, o valor do coeficiente de correlação continua a ser fraco. Assim, a mesma conclusão se retira desta aproximação, sendo os valores mais superiores os mais favorecidos.

Por último representa-se nas Figuras 20 e 21 o resultado da correlação polinomial de grau 3 e 4 correspondentemente.

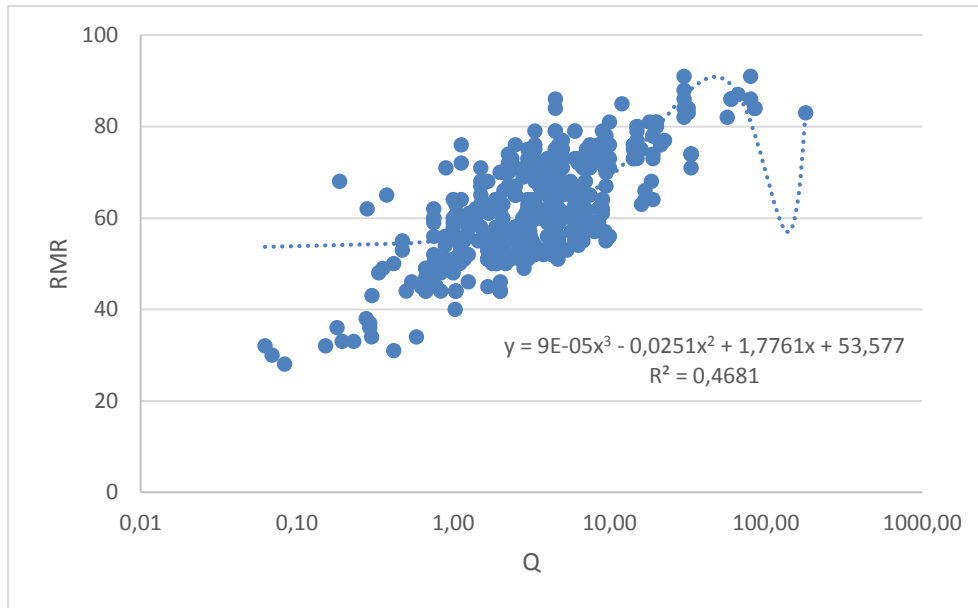


Figura 20 - Correlação polinomial grau 3

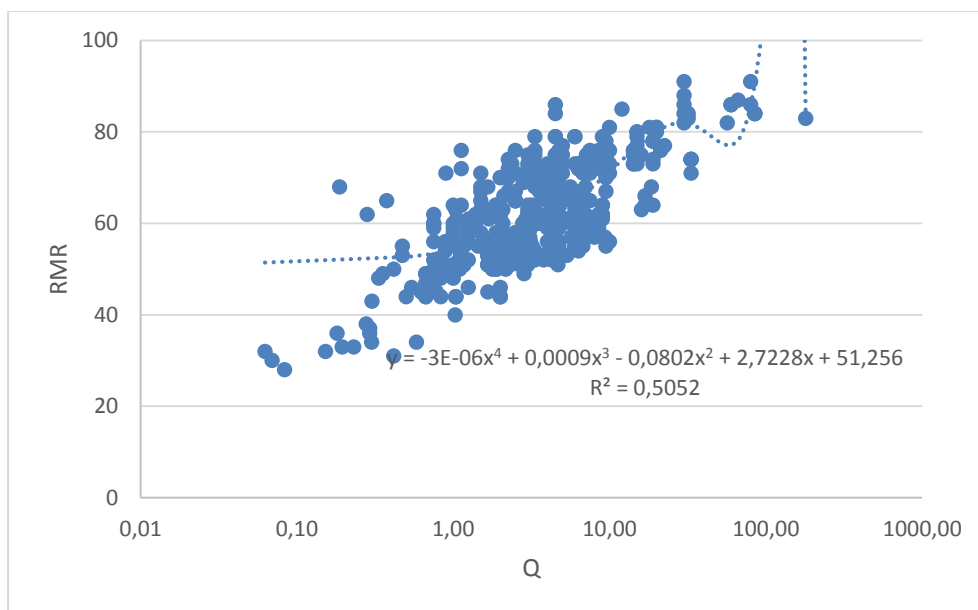


Figura 21 - Correlação polinomial de grau 4

Observando estas figuras, é visível que o coeficiente de correlação melhora significativamente com o uso desta aproximação, evoluindo positivamente com o aumento do grau do polinómio envolvido.

Apesar de ser uma melhoria fisicamente verificada em termos de coeficiente de correlação, uma correlação polinomial num estudo como este é muito falaciosa. De facto, bastam alguns pontos um pouco desviados para obter uma expressão completamente diferente.

Numa expressão em que para o mesmo valor do índice Q, correspondam 2 ou mais valores do índice RMR, esta não é seguramente viável. Outra desvantagem que ela apresenta é a complexidade envolvida no cálculo da expressão.

Tabela 19 - Resultados das tipologias de correlações

Tipologia de Correlação	$R^2$
Logarítmica	0.5649
Potencial	0.5685
Linear	0.2508
Exponencial	0.2024
Polinomial (grau 3)	0.4681
Polinomial (grau 4)	0.5052

A Tabela 19 resume os resultados dos valores de  $R^2$  encontrados para cada tipo de correlação, evidenciando a supremacia da aproximação Potencial logo precedida da aproximação Logarítmica. Como já foi referido anteriormente, considerando os inconvenientes da aproximação Potencial, esta será descartada dando o seu lugar à Logarítmica.

Todo o estudo foi elaborado com base no coeficiente de determinação. Esta escolha deve-se à facilidade de tratamento dos dados no *software Microsoft Office Excel* que fornece rapidamente uma linha de tendências, com a sua respetiva equação, e o grau de dependência das séries de valores. Como a função logarítmica é de grau superior à linear, função usada pelo coeficiente de Pearson, este foi descartado, sendo todo este trabalho elaborado com base no  $R^2$ .

#### 4.5. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Numa primeira fase foram recolhidas as medições do índice RMR e Q provenientes de três grandes obras hidráulicas nacionais – Barragem da Bemposta, Picote e Alqueva. Estas medições, incorporadas em fichas como as das Figuras 10 e 11, foram transcritas para uma folha de cálculo automático, onde foi possível organizar os dados e obter uma correlação entre estes dois índices, semelhante às correlações obtidas pelos autores referidos no ponto 4.2.

Analisando novamente a Figura 12, é possível delimitar um intervalo de valores com base em todas as correlações para posterior comparação de resultados. A Figura 22, expressa essa mesma perspetiva.

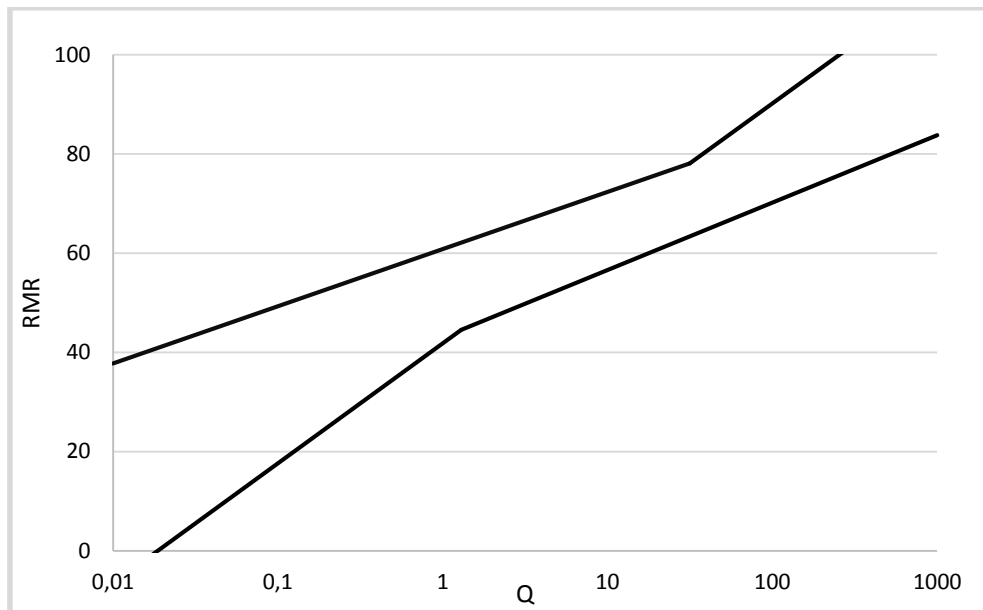


Figura 22 – Limites das correlações propostas entre 1978 e 1987 dos índices RMR e Q

A zona de intervalo, compreendida entre as duas linhas a preto, corresponde à delimitação superior e inferior das correlações existentes.

#### 4.5.1. RESULTADOS DA CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE RMR E Q

Numa primeira abordagem, fez-se um levantamento de todos os dados recolhidos dos 3 locais distintos para um melhor juízo das possibilidades em causa. A Figura 23 procura mostrar a abrangência dos mesmos.

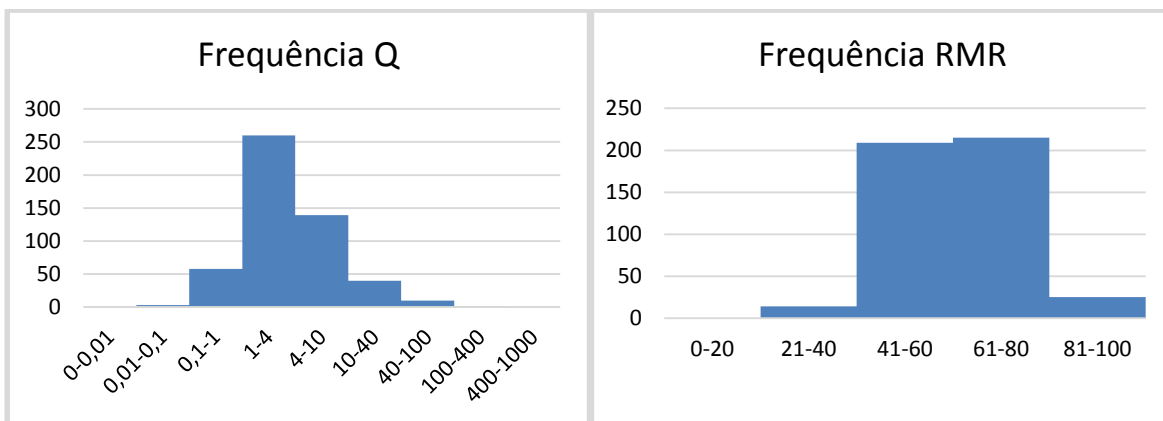


Figura 23 - Frequências Q e RMR

Analisando os histogramas da Figura 23, verifica-se que os dados recolhidos são medianamente dispersos. Os valores do índice Q concentram-se, na sua maior parte, entre os valor 1 e 10, carecendo de valores extremos, isto é, de valores que sugerem maciços ou muito maus, ou muito bons. Por sua vez o histograma do índice RMR é abundante em valores entre 40 e 80 e já apresenta alguns resultados

de maciços de ótima qualidade. Contudo, continua a carecer de valores mais baixo, característicos de maciços de fraca qualidade.

Com estes dados foi possível obter uma correlação entre estes dois índices, obtendo assim a Figura 24.

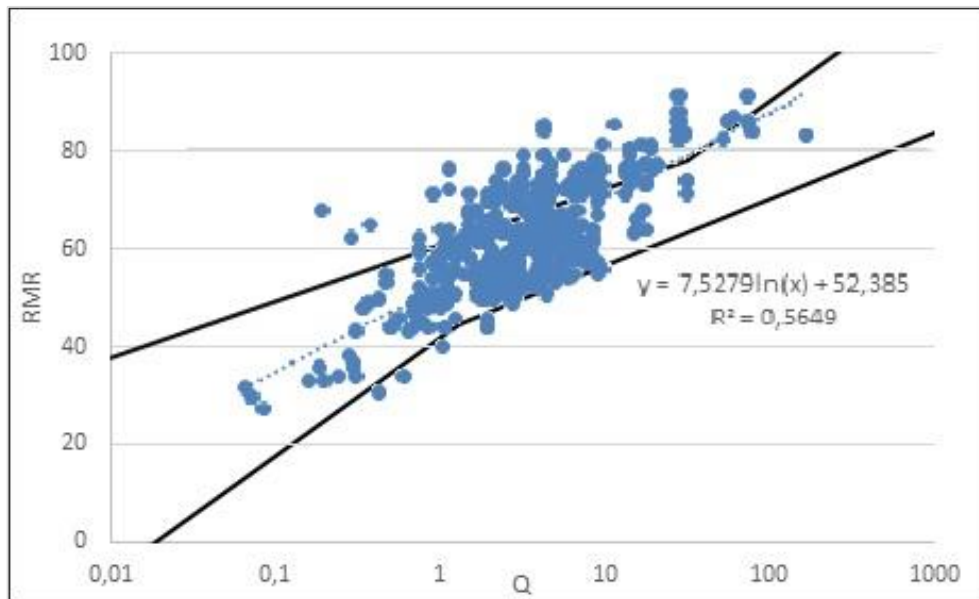


Figura 24 - Correlação obtida entre os índices RMR e Q com os dados provenientes das três obras em estudo.

A dispersão de resultados obtidos levanta um sério espírito crítico relativamente ao carácter correlativo entre estes dois índices. Em primeiro lugar é óbvio que se pode afirmar que uma correlação positiva existe, embora a correlação encontrada não seja muito forte. Depois, se estes dois índices usufruem de alguns parâmetros iguais, não é ordinário existir uma dispersão de resultados com a dimensão do que se verifica em alguns pontos da Figura 24. A título de exemplo está o valor 0,19 do índice Q, onde o valor de RMR correspondente tem mais de 30 valores possíveis, variando desde 30 a 65, aproximadamente.

A título comparativo, representando a equação obtida na Figura 16 obtemos o que está exposto na Figura 25.

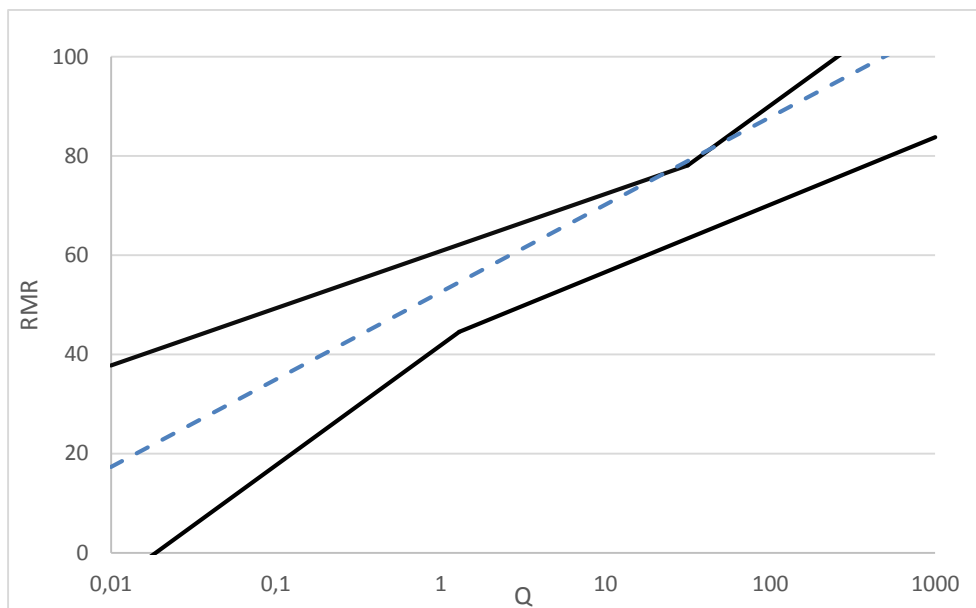


Figura 25 - Comparação das correlações existentes com a encontrada

A correlação encontrada não se desvia muito das já existentes, estando praticamente inserida no limite previamente definido.

#### 4.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como é evidente, tendo o índice RMR e Q um carácter um pouco subjetivo, podendo sofrer um pequeno desvio dependendo de quem realize a medição, é importante ter em mente que uma correlação englobando 3 obras distintas pode ser influenciada pela especificidade de cada uma das obras. Assim, é importante analisar os dados de todas elas em particular.

##### 4.6.1. APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE BEMPOSTA

Alguns problemas surgiram quando da reunião dos dados provenientes desta obra. Infelizmente, estes não foram suficientes e significativamente abrangentes para uma possível correlação eficaz, sendo recolhidos apenas 112 pares de dados. De facto, analisando a Figura 26, só resultados medianos do índice Q e RMR são encontrados, o que leva a uma descrição do maciço como sendo um maciço de média qualidade.

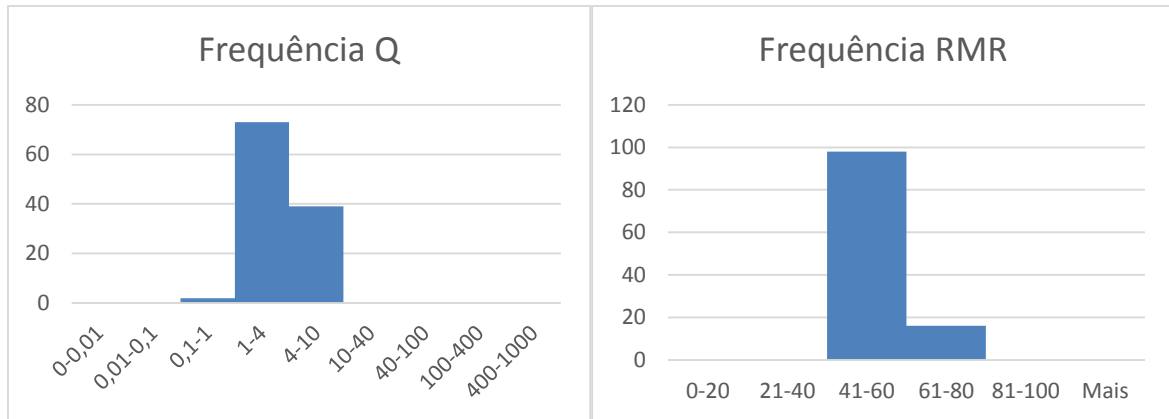


Figura 26 - Frequência do índice Q e RMR, Bemposta

Correlacionando os dois índices obtém-se a correlação presente na Figura 27.

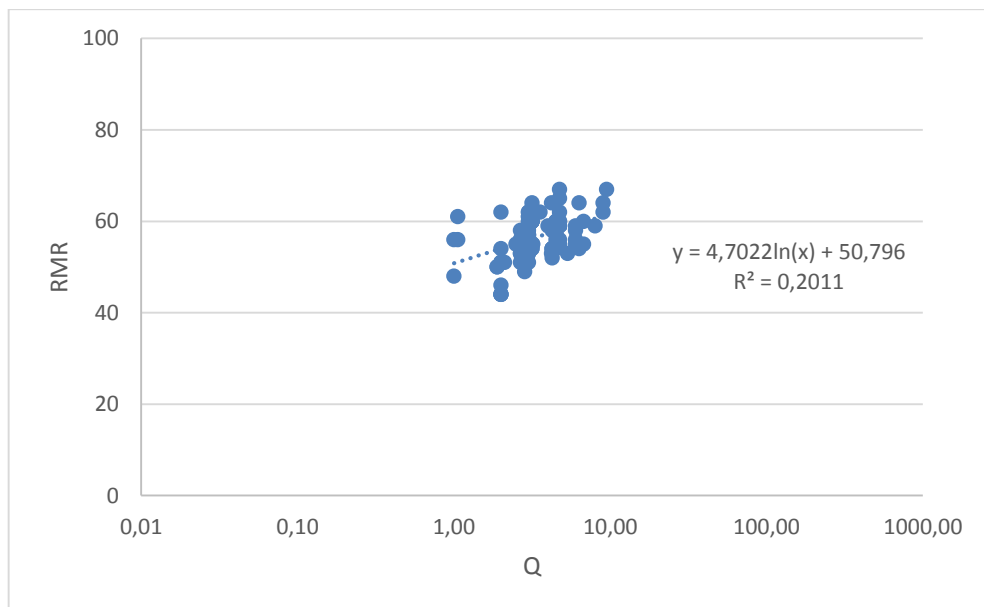


Figura 27 - Correlação entre os índices RMR e Q, Bemposta

Obviamente, dada a escassez de dados e intervalo reduzido do mesmo não é possível obter uma correlação viável, sendo que o resultado do índice de correlação corrobora isso mesmo.

#### 4.6.2. APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE PICOTE

Agrupando os resultados recolhidos desta obra, no total de 243 pares de dados, verifica-se que a dispersão de resultados obtida é visivelmente maior que a anterior, querendo isto dizer que vários tipos de maciços foram atravessados no decorrer da obra. Observando a Figura 28 podemos observar valores que abrangem quase todos os intervalos possíveis dos histogramas. É de notar que estes histogramas são semelhantes, indicando, logo à partida, uma possível boa correlação.

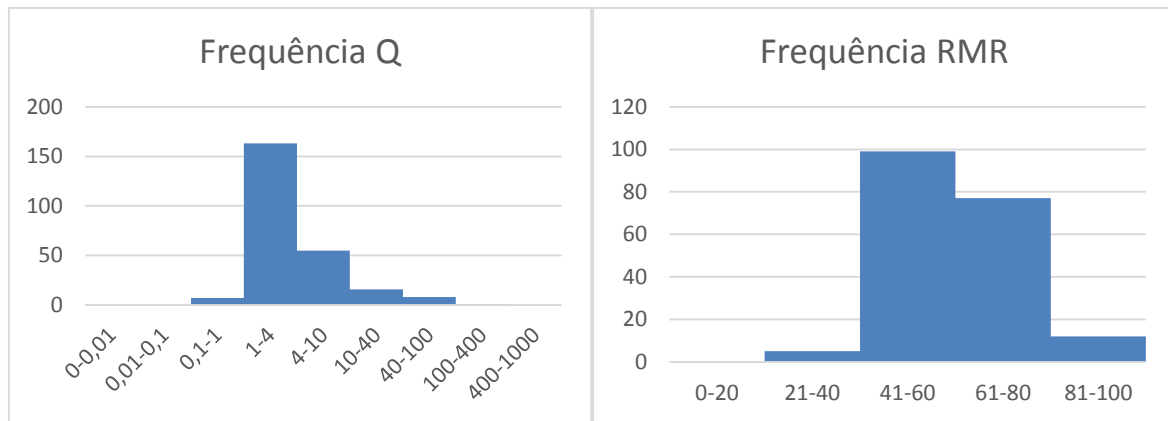


Figura 28 - Frequência do índice Q e RMR, Picote

Procedendo agora á representação da correlação é de notar a boa linearidade dos resultados. A Figura 29 mostra a correlação obtida.

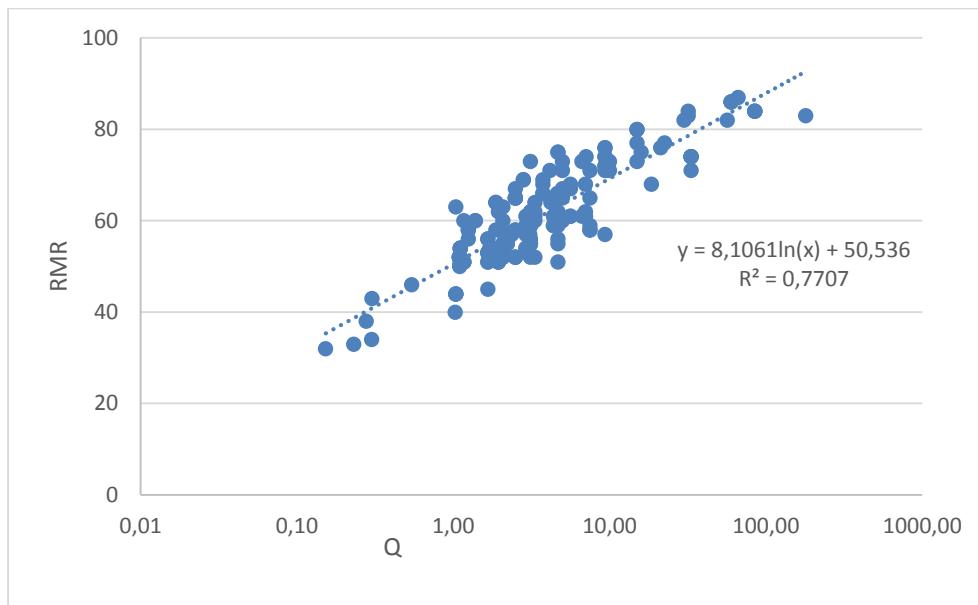


Figura 29 - Correlação entre os índices RMR e Q, Picote

Não é por acaso que esta é a melhor correlação encontrada. Já através da análise da Figura 28 se previa este resultado. Além de uma boa abrangência de intervalos do índice Q e RMR, o que pressupõe que esta obra atravessou vários tipos de qualidade de maciços, o número de registos de um determinado intervalo do índice Q acompanha o número de registos de um intervalo do índice RMR. A título de exemplo, sete valores foram encontrados no intervalo de ]0,1;1[ no índice Q acompanhando os 5 valores encontrados no intervalo de [21;40] do índice RMR correspondendo a um maciço muito fraco. O mesmo se verifica para os intervalos de ]1;4[ do índice Q e de [41;60] do índice RMR onde se verificaram a maior parte das medições correspondendo a um maciço razoável.

#### 4.6.3. APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE ALQUEVA

Os resultados encontrados nesta obra foram igualmente abrangentes, agrupando 241 pares de dados, dando origem aos histogramas presentes na Figura 30.

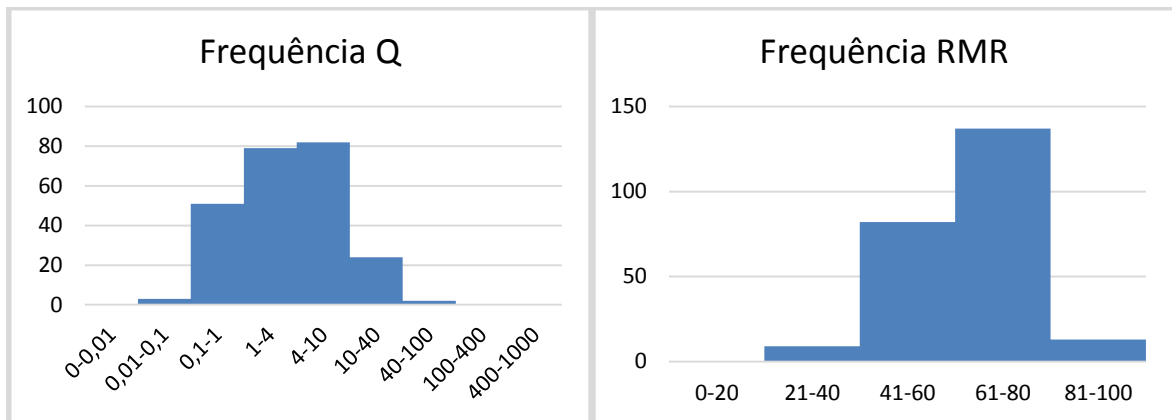


Figura 30 - Frequência do índice Q e RMR, Alqueva

Correlacionando os dados obtém-se a Figura 31.

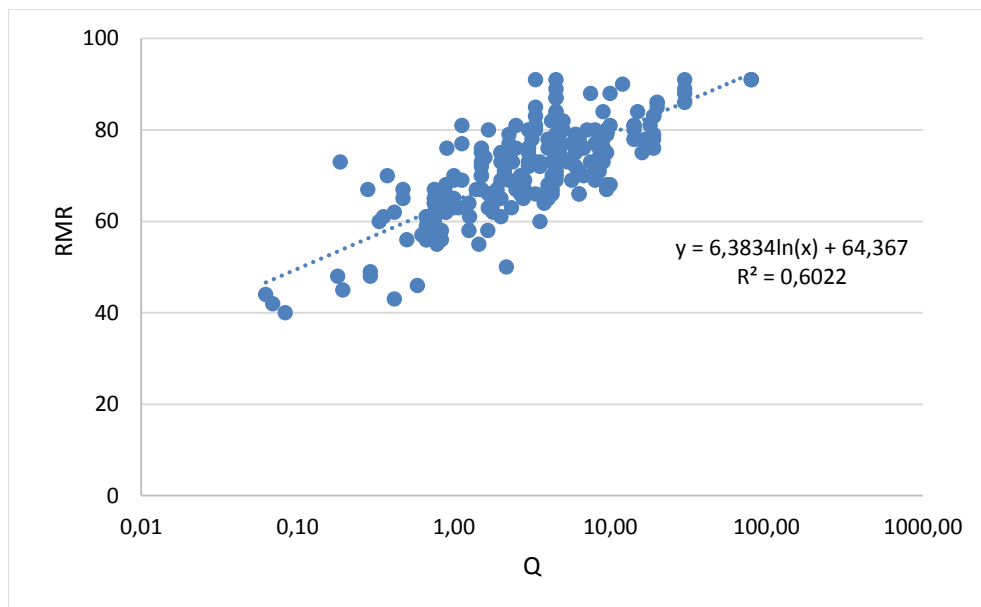


Figura 31 - Correlação entre os índices RMR e Q, Alqueva

Como se pode observar na Figura 31, uma ótima mancha de resultados está representada dando origem a uma boa correlação.

#### 4.6.4. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Depois do tratamento de dados é importante obter uma visão geral. Sobrepondo os dados, é possível obter uma perspectiva mais abrangente.

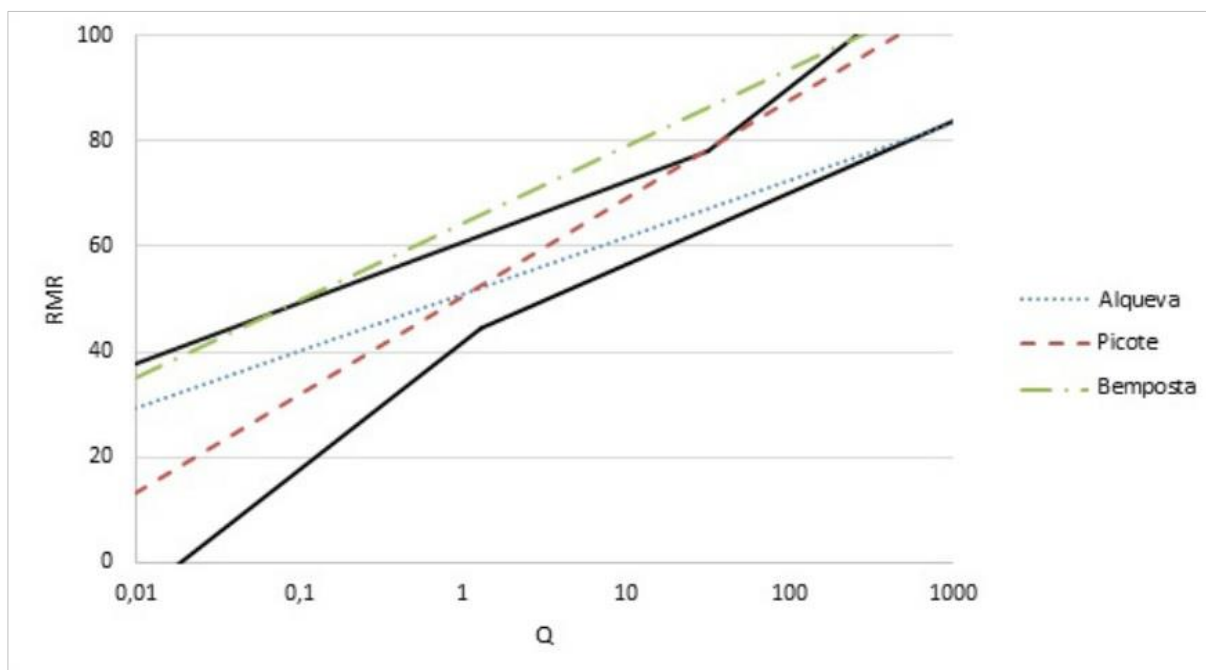


Figura 32 - Resultados das correlações das várias obras

Começando pelos elementos de Bemposta, pelo facto de esta cair quase completamente fora do intervalo previamente definido como sendo o aceitável para uma possível correlação, não é digna de muita confiança. De facto, a quantidade de dados recolhidos bem como a abrangência dos mesmos, foi insuficiente para uma correlação apropriada.

No que respeita à correlação criada a partir dos dados provenientes de Picote, esta mostra-se perfeitamente enquadrada no limite previamente criado. Caso igualmente semelhante, é a correlação de Alqueva onde o intervalo é igualmente respeitado.

Assim, pressupondo que os dados provenientes de Bemposta têm um peso negativo, destabilizando a correlação pretendida, é apresentada a Figura 33 onde estes dados foram excluídos, construindo uma correlação a partir dos dados recolhidos em Picote e Alqueva.

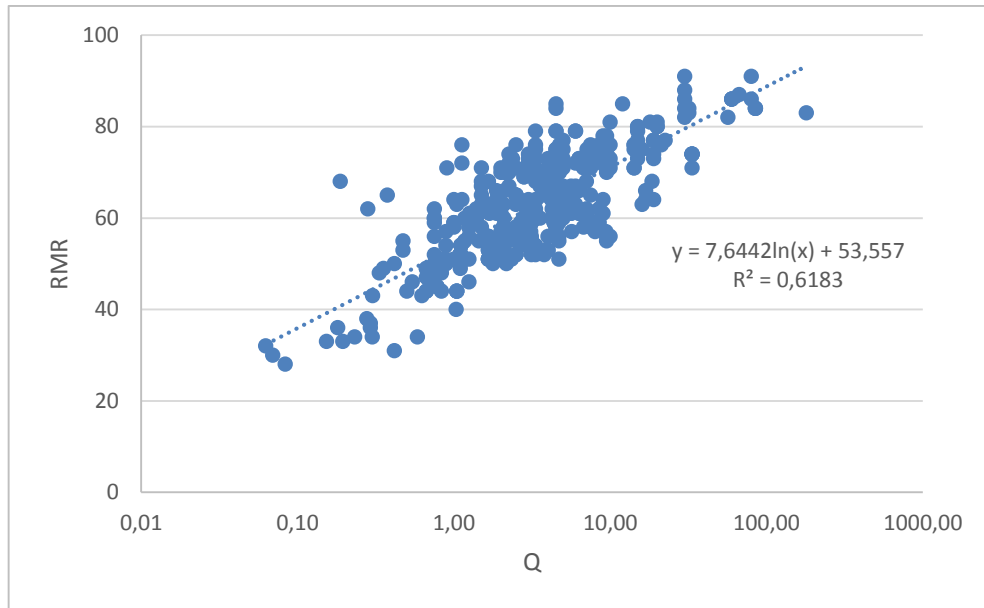


Figura 33 - Correlação entre o índice RMR e Q, Picote e Alqueva

A correlação obtida melhorou significativamente, passando de um  $R^2$  de 0,5649 para 0,6183. Note-se que apesar de o coeficiente de correlação melhorar não quer dizer que a nova correlação é mais correta. De facto, esta nova correlação foi introduzida a título comparativo já que os dados provenientes de Bemposta se mostraram insuficientes para uma correlação que abrange todos os tipos de maciços. Isto é, focando-se em intervalos de valores dos índices Q e RMR reduzidos é natural que destabilizem uma correlação que envolve intervalos de valores mais abrangentes como os provenientes de Picote e Alqueva.



# 5

## TRATAMENTO DE DADOS – O ESTUDO DE UMA CORRELAÇÃO

### 5.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como finalidade estudar a correlação dos índices RMR e Q. São analisados os parâmetros presentes nos índices e a sua dependência com os seus semelhantes, isto é, parâmetros presentes no índice RMR que sejam os mesmos no índice Q. Todos os seguintes estudos são feitos com recurso à correlação linear por se tratar de escalas finitas e números inteiros na sua maioria.

### 5.2. ASPETOS CORRELATIVOS DO ÍNDICE RMR E Q

Para melhor percepção do que está envolvido numa correlação destes dois índices é importante perceber o que eles têm ou não em comum. São dois índices que pretendem classificar maciços rochosos para dimensionamento de tipos de suporte, mas que apresentam algumas diferenças intrínsecas. Estas resumem-se ao processo de cálculo dos índices, obtenção do tipo de suporte, entre outras que se apresentam a seguir (Palmström, A., 2009):

As diferenças relevantes quanto ao processo de cálculo do índice são:

- O índice RMR usa uma adição de pesos;
- O índice Q resulta do produto de três frações.

Quanto à obtenção do tipo de suporte, este também é pré-dimensionado de maneiras distintas:

- No índice RMR o tipo de suporte é obtido através de uma tabela (para túneis de 10 m de arco podendo ser usado também para outros diâmetros);
- No índice Q o tipo de suporte é obtido por um gráfico onde quer o valor de Q quer as dimensões do túnel são usadas.

O índice Q não aplica as propriedades do maciço como um parâmetro de entrada diretamente, distribuindo esta propriedade por vários outros parâmetros. Posteriormente, em 2002 o parâmetro  $Q_c$  foi introduzido por (Barton, 2002) encontrando assim uma maneira de introdução direta da resistência à compressão do maciço. Apesar das suas vantagens, este parâmetro não tem vindo a ser muito usado no dimensionamento de suportes.

Também no índice RMR existe uma propriedade distinta onde tensões acima de 25 MPa podem ser incluídas descartando os problemas de tensões em túneis como explosões de rocha ou diminuição da abertura do túnel por *squeezing*.

### 5.3. A CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE ENTRADA DO ÍNDICE RMR E Q

O processo de obtenção dos índices RMR e Q não são de todo dissemelhantes, pelo que estão em jogo vários parâmetros em comum. A Tabela 20 procura mostrar essas semelhanças intrínsecas, (Palmström, A., 2009).

Tabela 20 - Parâmetros de entrada usados no índice RMR e Q

Parâmetros de Entrada		Unidade	Simbologia usada em:	
Parâmetro	Classificação		RMR	Q
Rocha	Resistência à compressão uniaxial	MPa	A1	
Grau de Fraturação das Descontinuidades	RQD ( <i>Rock Quality Designation</i> )	%	A2	RQD
	Espaçamento das Descontinuidades	<i>m</i>	A3	
Padrão das Descontinuidades	Número das famílias de descontinuidades	Rácio		J <sub>n</sub>
	Orientação das Famílias de descontinuidades	Rácio	B	
Características das Descontinuidades	Rugosidade	Rácio	A4c	J <sub>r</sub>
	Alteração	Rácio	A4e	J <sub>a</sub>
	Comprimento	Rácio	A4a	
	Enchimento	Rácio	A4d	J <sub>a</sub>
	Abertura	Rácio	A4b	
Água Subterrânea	Afluência ou Pressão da água	Rácio	A5	J <sub>w</sub>
Tensões no Maciço	Nível de Tensões	Rácio		SRF
Zonas Fracas	Tipo de Zona fraca	Rácio		

Como se pode observar, algumas características são usadas quer no índice RMR quer no índice Q dando corpo a parâmetros, que apesar de terem designações diferentes, procuram quantificar a mesma qualidade. É o caso do RQD, da Rugosidade, da Alteração das Descontinuidades, do Enchimento e da Água Subterrânea. Este facto deve sofrer especial atenção e é estudado a seguir.

#### 5.3.1. A CORRELAÇÃO DO RQD

O RQD (*Rock Quality Designation*) está presente nos dois índices de uma maneira completamente semelhante apesar de receber designações diferentes. A única diferença é que como o índice RMR é uma adição de pesos, então os valores percentuais obtidos pelas sondagens sofrem uma adaptação para uma escala de 5 a 20.

A Tabela 21 mostra como foi feita a estimativa do parâmetro A2 do índice RMR a partir do valor de RQD.

Tabela 21 – Obtenção do parâmetro A2 pelo RQD

RQD	100-90%	90-75%	75-50%	50-25%	25-0%
A2	20	17	13	8	5

Apesar de parecer muito simplificado, este método pode não ser muito preciso pois vários valores de A2 podem ser considerados para o mesmo intervalo do RQD, isto é, se o valor de RQD obtido for de 95% o correspondente valor de A2 pode variar de 20 a 17. Considerando agora um valor de RQD de 90% valores inferiores a 17 já são aceitáveis apesar de não parecer muito correto. Esta interseção de limites conduz a uma subjetividade de valores de A2 que pode ser prejudicial no resultado final.

Facto corroborativo é evidenciado na Figura 34.

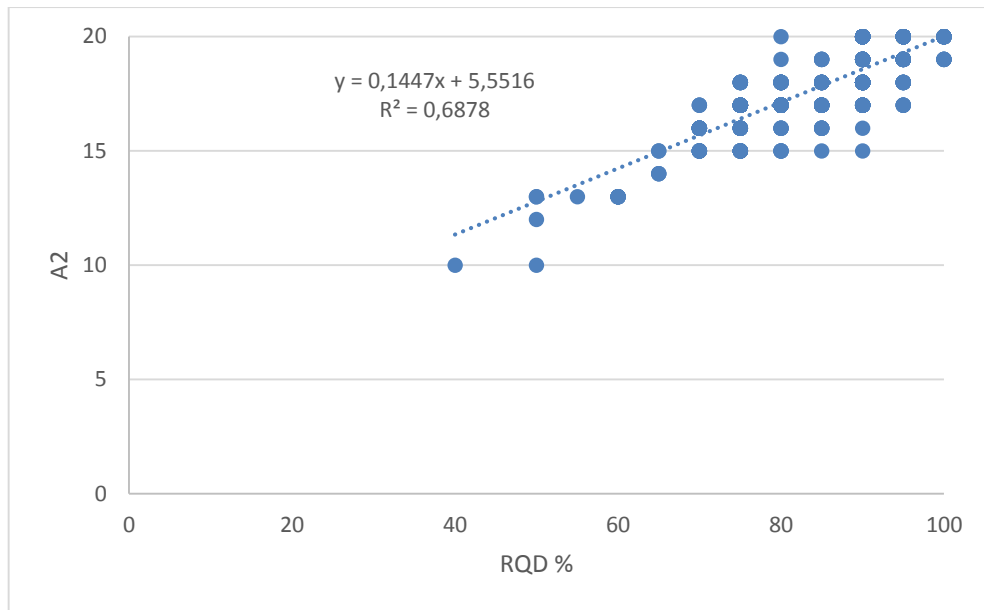


Figura 34 - Correlação entre os parâmetros RQD e A2

A Figura 34 apresenta uma análise correlativa entre o parâmetro RQD do índice Q e do parâmetro A2 do índice RMR dos dados recolhidos das três obras. Esta análise mostra, à partida, uma boa correlação entre estes dois parâmetros evidenciando um  $R^2$  de 0.69, mas aprofundando a análise é de notar alguns pontos que de alguma forma se destacam pela negatividade. Completando o raciocínio do parágrafo anterior, focando a atenção no valor de  $RQD = 80\%$  pode-se observar um leque de resultados do parâmetro A2 que abrange valores de 15 a 20. Voltando à Tabela 21 sabe-se que um  $RQD = 80\%$  nunca deveria corresponder a valores de A2 superiores a 17.

Este e outros lapsos são dignos de especial atenção, levando a um tratamento de dados mais cuidado corrigindo estas medições. Assim, o primeiro passo é corrigir todas estas descoincidências.

Assim, criando uma nova relação, que em tudo semelhante se traduz na alteração de pequenos detalhes é sugerida a Tabela 22. A única alteração efetuada foi alterar o limite dos intervalos para que, a título de exemplo, o valor de RQD de 90% possa só corresponder a valores superiores a 17.

Tabela 22 - Nova relação entre os parâmetros relativos ao RQD entre os índices RQD e Q

Rock Quality Designation (RQD)	Grau das Descontinuidades	
	RMR A2	Q RQD
Muito Bom	20 - 17	100 - 90
Bom	16 - 13	89 - 75
Aceitável	12 - 8	74 - 50
Fraco	7 - 5	49 - 25
Muito Fraco	0 - 4	<25

Com esta nova alteração, e corrigindo os dados obtém-se a Figura 35.

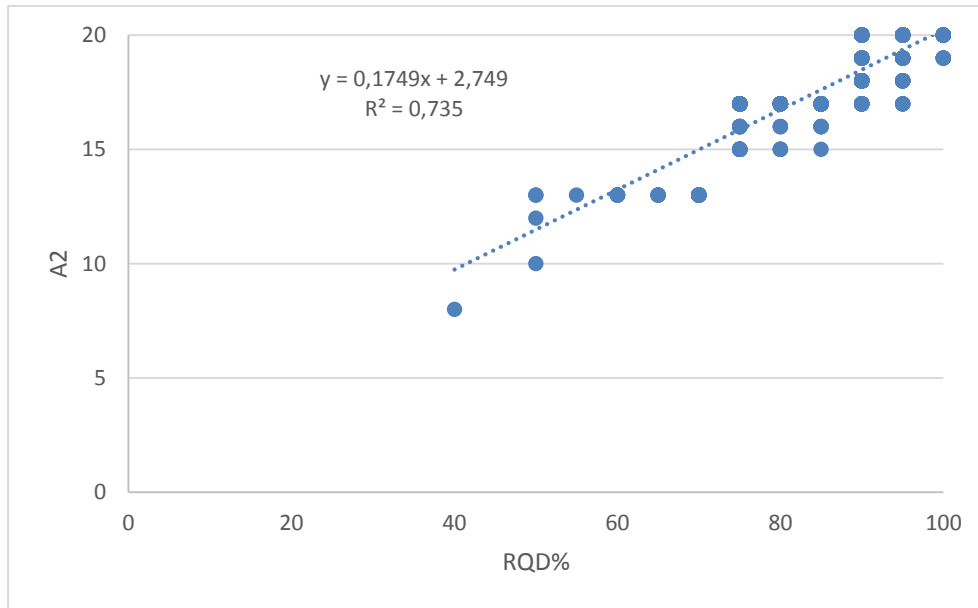


Figura 35 - Correlação entre RQD e A2 corrigida

Como seria de esperar, aplicando as novas alterações, uma melhoria da correlação é verificada passando o valor de  $R^2$  a cerca de 0.74.

### 5.3.2. A CORRELAÇÃO DA RUGOSIDADE

A rugosidade é sem dúvida um fator determinativo das características das discontinuidades e está presente nas duas classificações em estudo. Nas Tabelas 23 e 24 são lembrados os métodos de classificação deste parâmetro nos dois índices de classificação em estudo.

Tabela 23 - Parâmetro relativo à Rugosidade (A4c) do índice RMR

Rugosidade	Muito rugoso	Rugoso	Ligeiramente rugoso	Quase liso	Liso
Peso	6	5	3	1	0

Tabela 24 - Parâmetro relativo à Rugosidade e respetivos pesos no índice Q

Descrição		J <sub>r</sub>	Notas
a) Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			1. As descrições das alíneas a) e b) referem-se a escalas de amostragem de pequena e média dimensão.  2. Adicionar 1,0 se o espaçamento médio da família de descontinuidades mais relevante for maior que 3 m.  3. J <sub>r</sub> igual a 0,5 pode ser usado para descontinuidades polidas e planas contendo lineações, se essas lineações estiverem orientadas na direção de menor resistência.
b) Contacto entre as paredes de rocha antes de 10 cm de escorregamento			
A	Juntas descontínuas	4	
B	Descontinuidades rugosas, irregulares, onduladas	3	
C	Descontinuidades suaves e onduladas	2	
D	Descontinuidades polidas e onduladas	1,5	
E	Descontinuidades rugosas ou irregulares, planas	1,5	
F	Descontinuidades lisas, planas	1,0	
G	Descontinuidades polidas, planas	0,5	
c) Não há contacto entre as paredes de rocha no escorregamento			
H	Zona contendo minerais argilosos e suficientemente espessa de modo a impedir o contacto entre as paredes	1,0	
I	Zonas esmagadas contendo areias de modo a impedir o contacto entre as paredes	1,0	

Seguindo a filosofia do ponto anterior analisa-se primeiro uma correlação destes dois parâmetros avaliando a sua relação pela Figura 36.

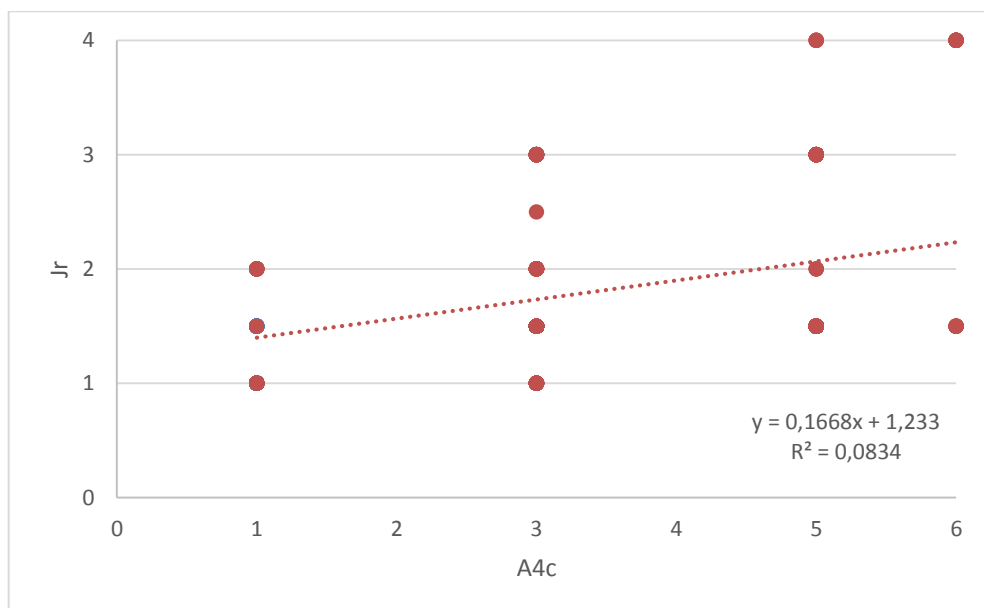


Figura 36 - Correlação entre os parâmetros J<sub>r</sub> e A4c

Logo à partida é notável uma enorme variação de resultados conduzindo a uma correlação pobre ou fraca. A maior variação verificada, ocorre para o valor de A4c de 5 e de 6, onde um leque de 2,5 pontos do J<sub>r</sub> é facilmente visível. De facto, a conexão destes dois parâmetros revela-se algo difícil já que o contraste no detalhe dos dois parâmetros é elevado, isto é, enquanto o índice RMR utiliza apenas

5 descrições para atribuir um peso à rugosidade, o índice Q atribui uma classificação muito mais detalhada.

É então proposta uma nova relação destes parâmetros, descrita na Tabela 25.

Tabela 25 - Nova relação entre os parâmetros relativos à Rugosidade entre os índices RMR e Q

Características das Descontinuidades		
Rugosidade	RMR	Q
	A4c	Jr
a) Contacto entre as paredes da descontinuidade		
b) Contacto entre as paredes da descontinuidade com deslocamento relativo <10 cm		
Muito Rugoso / Descontinuidades descontínuas	6	4
Rugoso ou Irregular	5	3
Levemente Rugoso	3	1,5
Liso	1	1,5
Polido	1	1
Polidas, Planas	0	0,5
c) Falta de contacto entre as paredes da descontinuidade, após deslocamento relativo		
Zona com areia, cascalho ou material fragmentado, suficientemente espessa para impedir o contacto entre as paredes das descontinuidades	1	1
Zona com areia, cascalho ou material fragmentado, suficientemente espessa para impedir o contacto entre as paredes das descontinuidades	1	1

O número de descrição para cada tipo de caracter rugoso foi alterado para um consenso que favorecesse as duas partes. A tipologia expressiva do índice Q é mantida, por ser a mais completa, todos os pesos iniciais são mantidos e relacionados e as descrições para cada peso são alteradas de modo a uniformizar os dois casos.

Alterando agora os dados conforme a nova tabela de relações exposta o resultado é o apresentado na Figura 37.

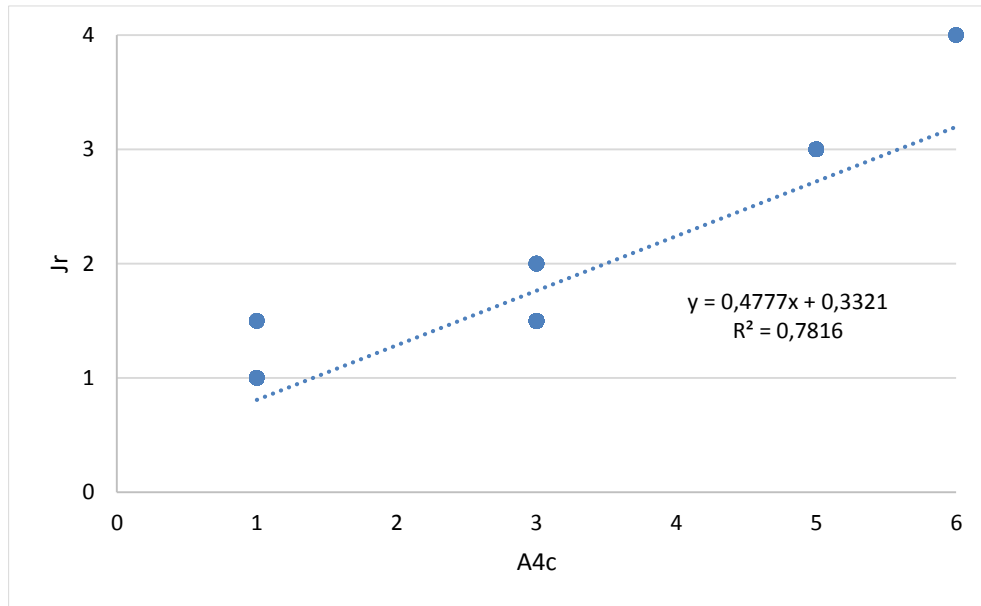


Figura 37 - Correlação entre os parâmetros Jr e A4c corrigida

Esta alteração leva a uma convergência de resultados enorme. Ao associar um valor de A4c a um correspondente de Jr, a variância diminui significativamente fortalecendo a correlação imperativamente.

É importante ter em mente que as alterações efetuadas aos dados das três obras podem não corresponder à realidade do que se verificaria em campo. De facto, no que toca ao índice Q mantém-se a regra de adicionar um valor para casos em que o espaçamento médio da família de descontinuidades mais relevante for maior que 3 m, mas não sendo possível identificar esses casos a não ser em obra, e não estando o autor deste trabalho presente na prospeção geológica, torna-se impossível fazer essa correção levando a que o valor mais alto de Jr seja 4 e não 5, eventualmente.

### 5.3.3. A CORRELAÇÃO DO GRAU DE ALTERAÇÃO E ENCHIMENTO

Estas duas características apesar de serem discriminados no índice RMR são classificados no mesmo parâmetro no índice Q. Este facto leva a uma mais difícil unificação para uma nova metodologia de classificação. Nas Tabelas 25 e 26 são lembrados os processos de classificação dos parâmetros A4d e A4e do índice RMR e do parâmetro J<sub>a</sub> do índice Q.

Tabela 26 - Parâmetro relativo ao Enchimento (A4d) e Grau de Alteração (A4e) do índice RMR

Enchimento	Nenhum	Duro com espessura <5 mm	Duro com espessura >5 mm	Mole com espessura <5 mm	Mole com espessura >5 mm
Peso	6	4	2	2	0
Grau de Alteração	Não alteradas	Ligeiramente alteradas	Moderadamente alteradas	Muito alteradas	Em decomposição
Peso	6	5	3	1	0

Tabela 27 - Parâmetro relativo ao Grau de Alteração das descontinuidades (Ja) do índice Q

Descrição		J <sub>a</sub>	φ (°)
a) Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			
A	Paredes duras, compactas, preenchimentos impermeáveis	0,75	---
B	Paredes não alteradas, somente com leve descoloração	1,0	25 – 35
C	Paredes ligeiramente alteradas, com partículas arenosas e rochas desintegradas não brandas	2,0	25 – 30
D	Paredes com partículas siltosas ou areno-argilosas	3,0	20 – 25
E	Paredes com partículas de materiais moles ou de baixo ângulo de atrito, tais como caulinite, mica, gesso, talco, clorite, grafite, outras, e pequenas quantidades de argilas expansivas	4,0	8 – 16
b) Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades antes de 10 cm de escorregamento			
F	Paredes com partículas de areia e rocha desintegradas	4,0	25 – 30
G	Descontinuidades com preenchimento argiloso sobreconsolidado (contínuo, mas com espessura <5 mm)	6,0	16 – 24
H	Descontinuidades com preenchimento argiloso subconsolidado (contínuo, mas com espessura <5 mm)	8,0	12 – 16
I	Descontinuidades com enchimento argiloso expansivo, como por exemplo montmorilonite; o valor de J <sub>a</sub> depende da percentagem de partículas de argila expansiva e do acesso da água	8 – 12	6 – 12
c) Não há contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			
J	Zonas ou bandas com rochas desintegradas ou esmagadas com argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	6,8 ou 8 – 12	6 - 24
K	Zonas ou bandas siltosas ou areno-argilosas, com pequena fração de argila	5,0	---
L	Zonas contínuas de argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	10, 13, 13 – 20	6 - 24

Contrariamente ao que foi feito nos pontos anteriores, não será estudada a dependência destes dois parâmetros com os dados recolhidos. Realizar uma correlação envolvia fazer uma separação do parâmetro J<sub>a</sub> nas duas características presentes no índice RMR, Enchimento (A4d) e Grau de Alteração (A4e), o que se torna impossível, já que só a informação relativa ao peso do parâmetro J<sub>a</sub> está disponível. A título de exemplo, um valor de J<sub>a</sub> de 4, não é possível saber se este corresponde a uma descontinuidade com contacto entre as paredes, ou com preenchimento, já que este valor está presente nas duas.

Primariamente, optou-se por conjugar a parte que descrevia as paredes em contacto do parâmetro J<sub>a</sub> com o Grau de Alteração do parâmetro A4e. Seguidamente, analisando o parâmetro que caracteriza o enchimento (A4d), no índice RMR, nota-se dois grandes grupos, o de preenchimento superior a 5 mm e de preenchimento inferior a 5 mm. Uma distinção semelhante acontece no parâmetro J<sub>a</sub>, em que o contacto, ou não, entre as paredes de rocha das descontinuidades antes de 10 cm de escorregamento é relevante. Assim optou-se por combinar estas descrições com os respetivos pesos. Esta relação está resumida na Tabela 28.

Tabela 28 - Nova relação entre os parâmetros relativos ao Grau de Alteração e ao Preenchimento das descontinuidades entres os índices RMR e Q

Características das Descontinuidades				
Grau de Alteração	RMR		Q	
	A4e		Ja	
Paredes duras ou sãs	6		0,75	
Paredes sem alteração	6		1	
Paredes ligeiramente alteradas	5		2	
Paredes alteradas	3		4	
Paredes com camadas de materiais friccionais	1		3	
Paredes com camadas de materiais coesivos	0		4	
Juntas com preenchimento	A4d		Ja	
	e <5 mm	e >5 mm	Contacto entre as paredes *	Sem contacto entre as paredes **
Materiais friccionais	5	2	4	8
Materiais coesivos duros	4	2	6	5 - 10
Materiais coesivos moles	2	0	8	12
Argilas expansivas	0	0	8 - 12	13 - 20

Nota: e - espessura do preenchimento das descontinuidades

\*, Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades antes de 10 cm de escorregamento

\*\*, Sem contacto entre as paredes das descontinuidades depois de 10 cm de escorregamento

#### 5.3.4. A CORRELAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A água subterrânea pode revelar-se num grande obstáculo à resistência do maciço. A presença de água nas descontinuidades pode degradar estas, levando a um risco maior de rotura e conseqüentemente a uma menor qualidade do maciço rochoso. Sendo um fator instabilizador, quanto maior a afluência de água maior pode ser a pressão que estará a ser exercida nas superfícies das descontinuidades.

Para quantificar esta característica os índices RMR e Q dedicam um parâmetro exclusivo cada um. Estes parâmetros, (A5) no caso do RMR e (J<sub>w</sub>) no caso do Q, são muito semelhantes e quase igualmente descritos nos dois índices, entrando ambos com a pressão e o caudal. As Tabela 29 e 30 relembram o método de classificação destes parâmetros.

Tabela 29 - Parâmetro relativo à Presença de Água (A5) do índice RMR

Presença de água	Caudal por 10 m de comprimento do túnel	Nenhum	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min
	Relação pressão da água vs. tensão principal máxima	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5
	Condições gerais	Completamente seco	Água intersticial	Húmido	Escorrimentos	Entrada de Água
	Pesos	15	10	7	4	0

Tabela 30 - Parâmetro relativo à Presença de Água ( $J_w$ ) do índice Q

	Descrição	$J_w$	Pressão da água (MPa)	Notas
A	Escavações secas ou caudal afluído pequeno, <5 l/min localmente	1,0	<0,1	Os fatores nos casos C e F são estimados para condições naturais; o parâmetro $J_w$ deverá ser aumentado caso sejam efetuadas drenagens  Os problemas especiais relacionados com a formação de gelo não são considerados
B	Caudal médio ou pressão que ocasionalmente arraste o preenchimento das discontinuidades	0,66	0,1 – 0,25	
C	Caudal ou pressão elevada em rochas competentes sem preenchimento	0,5	0,25 – 1	
D	Caudal ou pressão elevada, com considerável arrastamento do preenchimento das discontinuidades	0,3	0,25 – 1	
E	Caudal excepcionalmente elevado ou pressão explosiva, decaindo com o tempo	0,2 – 0,1	> 1	
F	Caudal excepcionalmente elevado ou pressão contínua, sem decaimento	0,1 – 0,05	> 1	

Relacionando estes dados, é possível estudar a sua dependência criando a Figura 38. É interessante que só dois valores do parâmetro  $J_w$  foram utilizados o que quer dizer que as escavações foram realizadas em terrenos secos, com água sem pressão ou com caudal médio a fluir pelas discontinuidades. Em contrapartida analisando o parâmetro A5 nota-se o uso de 6 pesos diferentes para descrever as mesmas situações.

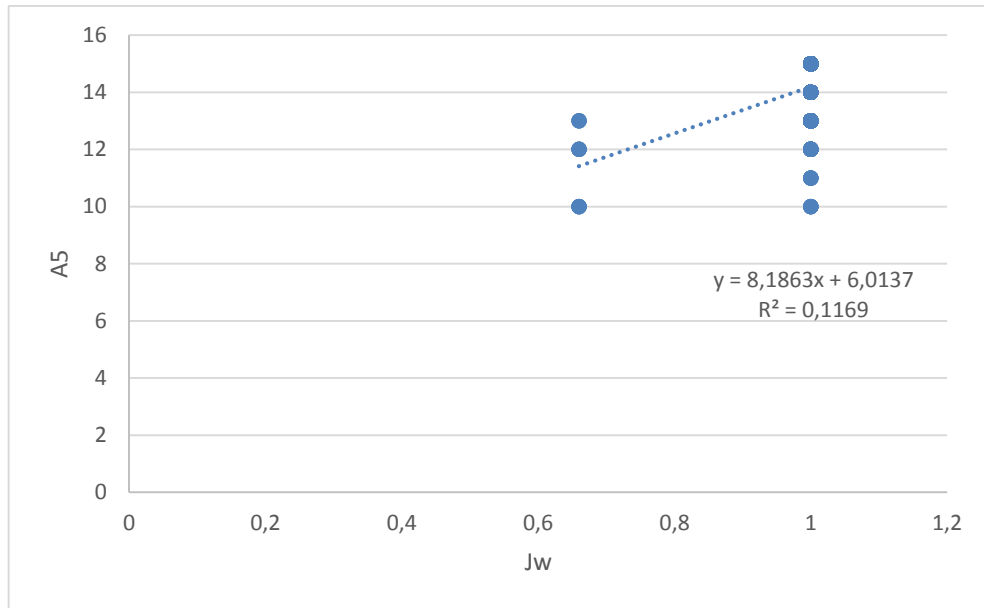


Figura 38 - Correlação entre os parâmetros Jw e A5

Para evitar este desequilíbrio é importante balançar mais as decisões em obra. De facto, dizer que para um valor de Jw de 0,66, correspondente a um caudal médio, um valor de A5 de 10, correspondente a presença de água intersticial, é aceitável. Em contrapartida, já não é lógico dizer que para o mesmo valor de Jw um valor de A5 de 13, valor já próximo de uma presença de água nula, seja correto. Para contrariar esta tendência é proposta a Tabela 31.

Tabela 31 - Nova relação entre os parâmetros relativos à Água Subterrânea nos índices RMR e Q

Água Subterrânea				
Presença de Água			RMR	Q
			A5	Jw
Seco ou Estanque	q = 0	p <sub>w</sub> < 1	15	1
Húmido ou com pequenos escoamentos	q < 10	p <sub>w</sub> = 1-2,5	10	0,66
Pequena Afluência	q = 10 - 25	p <sub>w</sub> = 2,5 - 10	7	0,5
Lavagem dos preenchimentos	q = 25 - 125		4	0,3
Afluência de água decaindo com o tempo	q > 125	p <sub>w</sub> > 10	0	0,15
Grande afluência de água			0	0,08

Nota: q = caudal em l/min; p<sub>w</sub> = Pressão da água em kg/cm<sup>2</sup>

Agrupando o caudal e a pressão da água torna-se fácil agrupar estes dois parâmetros mantendo os pesos originais e uniformizando a descrição. Relativamente às classificações em que os pesos atribuídos são menores, mais propriamente as duas últimas, exclui-se o intervalo do parâmetro Jw passando a ser substituído pela média do intervalo, diminuindo a subjetividade.

Corrigindo os dados com base na nova relação dos parâmetros obtém-se a Figura 39.

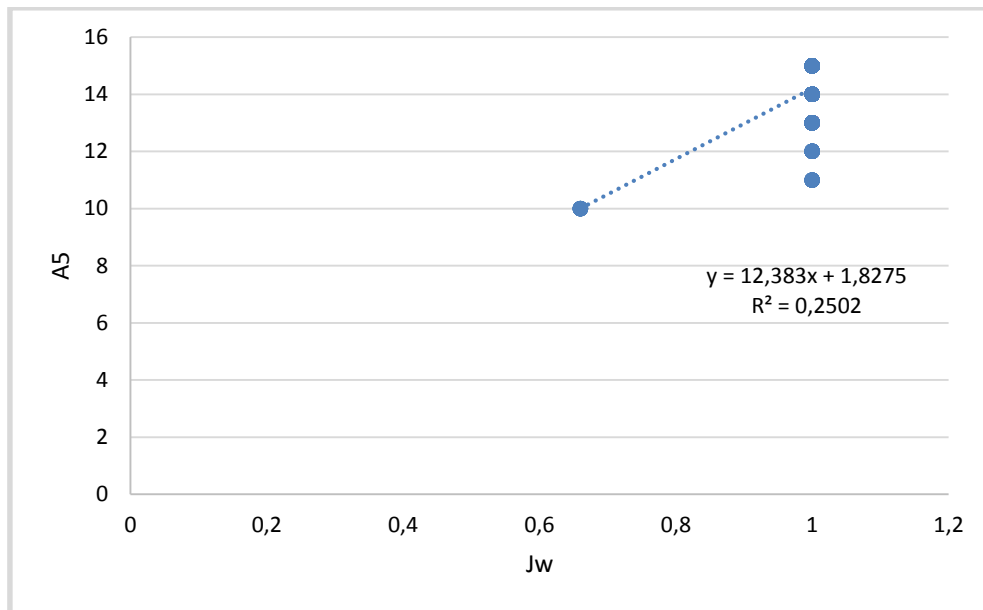


Figura 39 - Correlação entre os parâmetros Jw e A5 corrigida

Apesar de fortalecer a correlação, ainda é mantida uma grande variância para o parâmetro A5 quando relacionado com o valor de 1 do parâmetro  $J_w$ . Neste caso como estão envolvidos dados da escavação de três túneis e por sua vez uma grande quantidade de geólogos envolvidos nas medições, é aceitável ter esta variância já que nenhum valor está a infringir a descrição, mas em casos em que só uma obra esteja envolvida é importante que os geólogos ou qualquer técnico envolvido nas medições, tente manter um padrão comparativo para diminuir a subjetividade.

#### 5.4. NOVA CORRELAÇÃO COM A CORREÇÃO DOS DADOS

Depois de ser proposta uma relação de parâmetros alternativa, os parâmetros do índice RMR foram alterados com base nos parâmetros do índice Q. Foram alterados os parâmetros relativos ao RQD (A2), à Rugosidade (A4c) e à Água Subterrânea. Como já foi referido no ponto 4.3.3. não sendo possível corrigir os parâmetros relativos à Alteração e Preenchimento das descontinuidades, estes parâmetros mantiveram o seu valor original não sendo alterados.

A Figura 40 mostra o resultado da nova correlação. Em comparação com a correlação anterior, Figura 24, esta correlação evidencia-se um pouco mais forte.

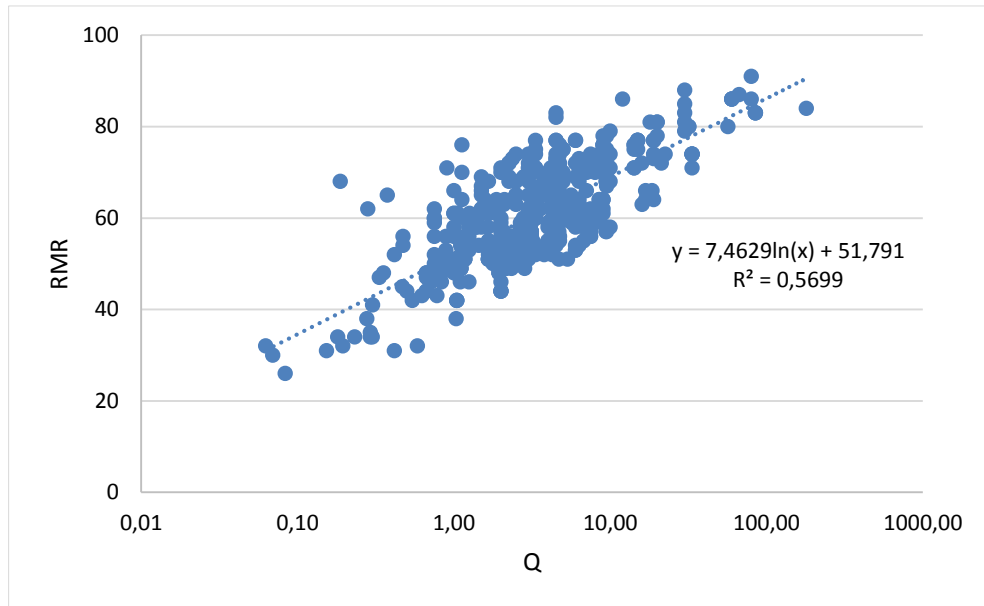


Figura 40 - Correlação entre o índice RMR e Q com os dados corrigidos

Eliminando os dados provenientes de Bemposta, dados que se revelaram desestabilizadores, obtemos uma nova correlação, Figura 41, que também melhora relativamente á correlação encontrada na Figura 33.

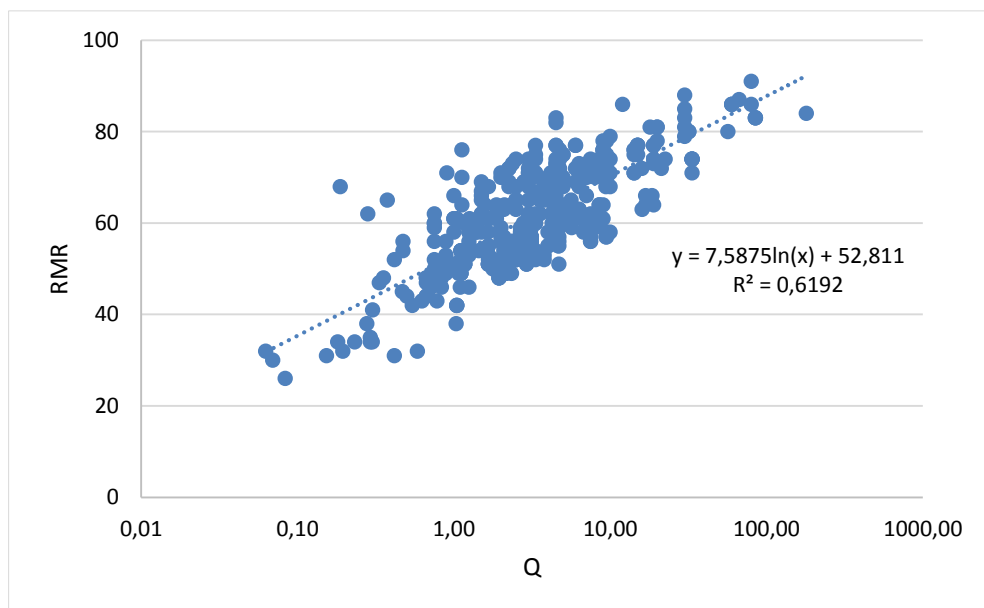


Figura 41 - Correlação corrigida sem a Bemposta

Esta correlação, como já foi dito, apesar de melhorar o coeficiente de correlação não significa que seja uma correlação mais correta do que a que inclui os dados de Bemposta. No entanto, como o intervalo de dados dos índices RMR e Q provenientes de Bemposta é reduzido relativamente ao intervalo máximo que pode existir, intervalo esse que engloba todos os valores de RMR e Q, estes dados foram retirados para não desestabilizarem os das outras obras na obtenção de uma correlação abrangente.

## 5.5. CORRELAÇÕES DE INTERVALOS

Outro aspecto que pode ter interesse quando se associam dois parâmetros de classificação de maciços rochosos é a separação em classes. Isto é, se a escavação estiver a ser realizada num maciço de boa qualidade, a título de exemplo, a utilização de uma correlação que envolva valores de maciços de fraca qualidade irá influenciar o resultado final.

Justifica-se então incluir o estudo de correlações a utilizar em maciços de diferentes categorias. Seguindo a filosofia de todo este trabalho a variável independente será o índice Q e a dependente o índice RMR já que a divisão em classes partirá do índice Q.

Assim dividindo o índice Q em três classes onde,

- O intervalo de  $[0,01;1]$  corresponde a maciços de fraca qualidade;
- O intervalo de  $]1;30]$  corresponde a maciços de média/boa qualidade;
- O intervalo de  $]30;1000]$  corresponde a maciços de excelente qualidade.

Os gráficos de dispersão não deveriam conter valores muito distanciados dos correspondentes valores do índice RMR divididos nas mesmas classes.

Os correspondentes valores de RMR divididos em três classes devem ser:

- O intervalo de  $[0;40]$  corresponde a maciços de fraca qualidade;
- O intervalo de  $]40;80]$  corresponde a maciços de média/boa qualidade;
- O intervalo de  $]80;100]$  corresponde a maciços de excelente qualidade.

Este estudo é feito utilizando os dados dos três aproveitamentos corrigidos no ponto anterior.

### 5.5.1. MACIÇOS DE FRACA QUALIDADE

Separando os dados dos três aproveitamentos que tenham valores do índice Q inferior a 1 e os seus correspondentes do índice RMR, é possível criar um gráfico de dispersão relativo a maciços de fraca qualidade como o da Figura 42.

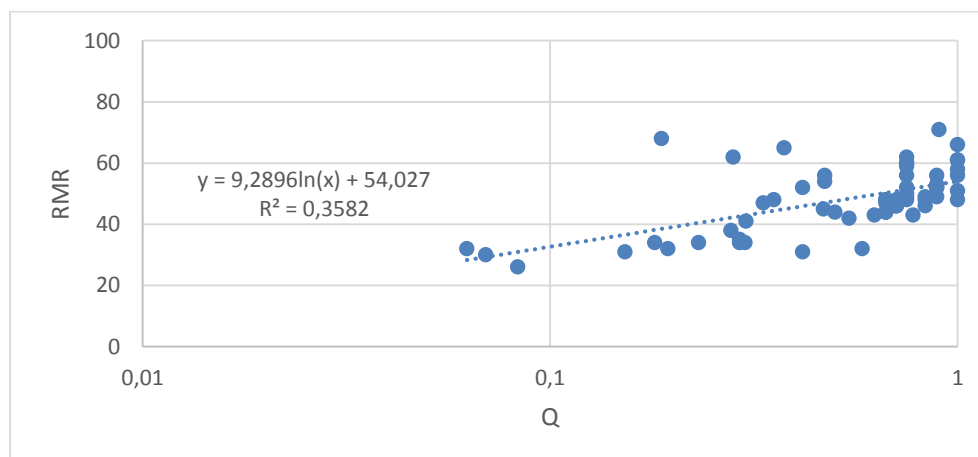


Figura 42 - Correlação em maciços de fraca qualidade

Os valores correspondentes do índice RMR são de certa forma algo mais distanciados do que era de esperar. Para o intervalo de valores do índice Q de 0,01 a 1 esperavam-se valores não muito distantes,

do índice RMR, do intervalo de 0 a 40. O que realmente se verificou foram alguns valores de RMR a atingir a linha dos 70.

De entre 62 pares de valores, 49 ultrapassam a meta do valor 40 no índice RMR. Isto quer dizer que 79% dos valores estão aquém do ideal. Sendo os maciços fracos, uma matéria complicada que leva a grande controvérsia, evidenciada pela grande abrangência das correlações, propostas ao longo dos anos, na zona relativa aos maciços fracos da Figura 22 este resultado acompanha o mesmo raciocínio. De facto esta zona é a que mais variação exhibe nas correlações existentes, levando a uma maior variabilidade de resultados.

Correlacionando os dados é logo notado um coeficiente de determinação baixo não só devido á dispersão mas também devido ao facto da escala ser reduzida, aumentando assim a sensibilidade da correlação.

#### 5.5.2. MACIÇOS DE MÉDIA A BOA QUALIDADE

Neste caso, foram aproveitados os valores do índice Q entre 1 e 30 e correspondentes valores de RMR procurando caracterizar os maciços rochosos de média a boa qualidade. O resultado está expresso na Figura 43.

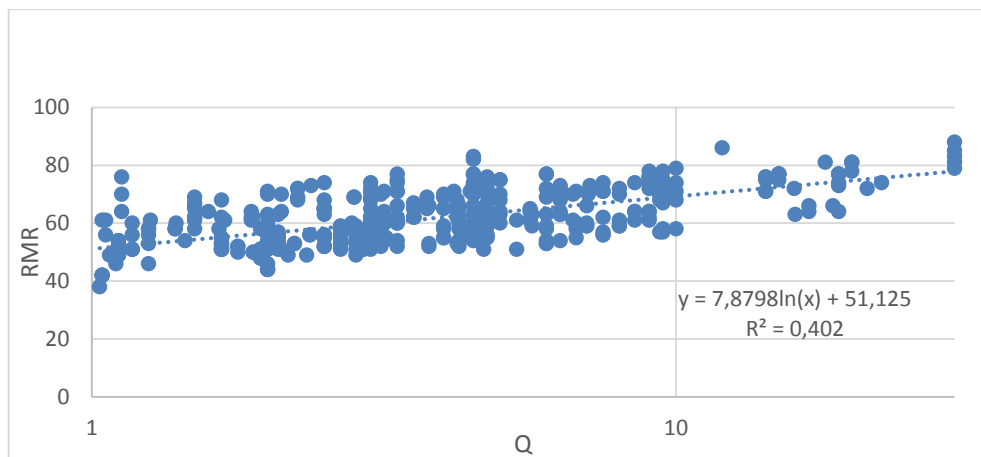


Figura 43 - Correlação em maciços de média a boa qualidade

Atendendo á dispersão da Figura 43 facilmente se comprova que os limites de RMR previamente definidos são respeitados. Isto é, para todos os valores do índice Q compreendidos entre 1 e 30 correspondem valores do índice RMR entre 40 e 80. Mais concretamente, em 470 pares de resultados, apenas 11 estão fora do intervalo correspondendo a 2,3% de resultados indesejados.

Relativamente ao coeficiente de correlação obtido, 0,402, era de esperar uma melhoria em relação ao determinado no ponto 5.4 pois descartando os valores extremos correspondentes aos maciços de fraca e muito boa qualidade, a correlação poderia tornar-se mais robusta. Tal não acontece porque removendo os valores extremos, a escala diminui para um intervalo de valores mais pequeno. Isto é, numa escala logarítmica, compreendida entre 0,01 e 1000 onde existem variações na ordem das centésimas e na ordem das centenas acaba por haver uma compensação pois tanto pode existir variações na ordem das centésimas como na ordem das centenas. Diminuindo a escala para um intervalo de 1 a 30 as variações na ordem das centésimas continuam a existir mas, em contrapartida as variações na ordem das centenas passam a variações na ordem das décimas. Assim sendo, havendo

uma supremacia de variações centesimais, existe um desequilíbrio que se traduz numa maior sensibilidade da correlação, diminuído a mesma.

A expressão proveniente da correlação não deixa de ser uma ótima aproximação sendo aconselhada pelo autor o seu uso em maciços de qualidades equivalentes.

### 5.5.3. MACIÇOS DE EXCELENTE QUALIDADE

Separando agora os valores do índice Q superiores a 30 e seus correspondentes do índice RMR é obtida a correlação representada na Figura 44 relativa a maciços de excelente qualidade.

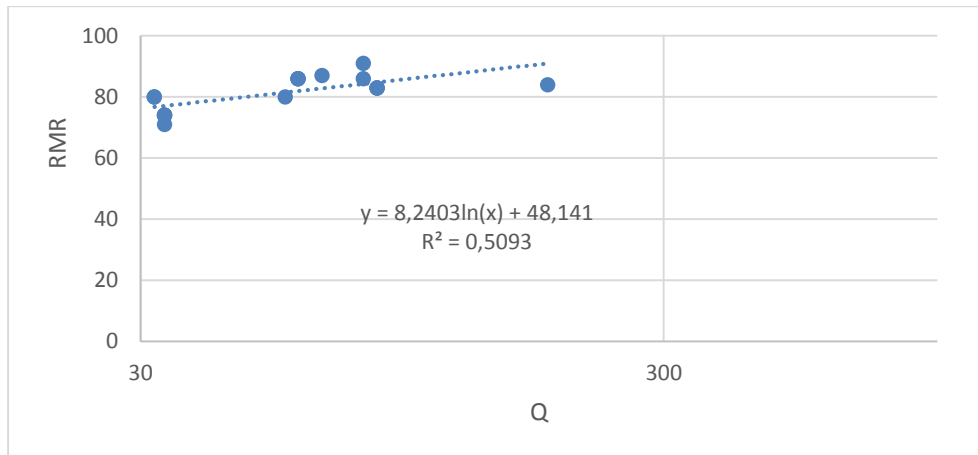


Figura 44 - Correlação em maciços de excelente qualidade

É fácil perceber que maciços de excelente qualidade foram pouco atravessados pelos túneis escavados nos aproveitamentos hidroelétricos estudados. Apenas 18 pares de valores do índice Q remetem para maciços de qualidade extrema onde 5 valores de RMR saem fora do intervalo correspondente correspondendo a cerca de 28% de resultados indesejados.

Devido aos poucos valores encontrados neste intervalo não é possível tirar conclusões fidedignas. O coeficiente de correlação é o melhor das três classes de classificações estudadas neste ponto muito devido ao facto de na escala já existirem variações na ordem das centenas.

### 5.5.4. ALGUMAS OBSERVAÇÕES

Na Figura 45 estão representadas as três expressões encontradas para as classes de maciços, sobrepostas com o intervalo de correlações existentes.

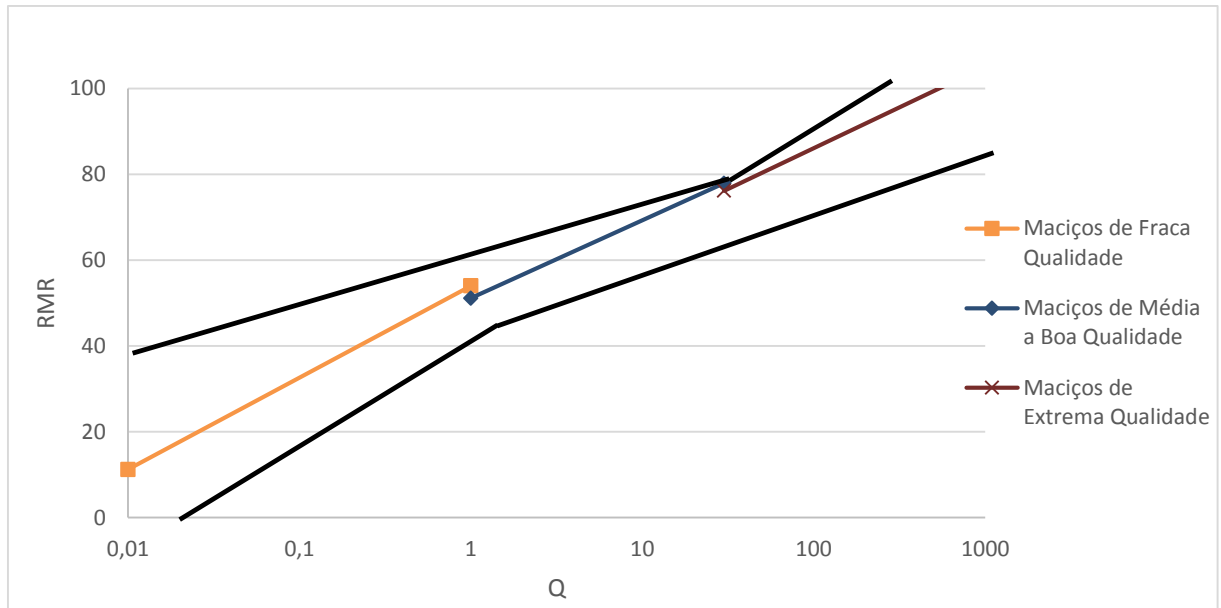


Figura 45 - Correlações das três classes de classificação estudadas

Todas as correlações encontradas encontram-se dentro da zona definida como aceitável sendo por isso todas elas válidas. É de notar que elas quase formam uma linha intermediária entre o limite superior e o inferior corroborando o facto de estas serem boas correlações.



# 6

## CRIAÇÃO DE UMA FOLHA DE CÁLCULO AUTOMÁTICA

### 6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O risco de erro e perda de informação é uma realidade em obras de grande dimensão e que requerem medições sistemáticas com grande periodicidade. As intervenções na frente de obra não podem parar, tendo por vezes de serem realizadas 24h sobre 24h pelo que uma equipa de técnicos tem de estar envolvida para cumprir os horários requeridos. Nos dados provenientes dos três aproveitamentos hidroelétricos, o autor detetou alguns erros de cálculo, principalmente nas características das descontinuidades do índice RMR, onde a os valores assinalados nas fichas não correspondiam ao valor final do parâmetro respetivo. Em 607 valores de RMR, cerca de 28 valores não correspondiam ao devido, sendo o erro associado de 3%.

Em estimativas de índices como o RMR, Q e GSI a subjetividade dos técnicos em causa está muito presente podendo ser um fator com um peso negativo no dimensionamento final. Não basta ser fiel aos seus critérios, mas também, as análises têm de respeitar os critérios utilizados pelo técnico anterior para ter um resultado final robusto.

A ideia de uma ferramenta que possa reduzir este erro gere-se pela sua simplicidade. Assim, o autor optou por utilizar o *software Microsoft Excel*, que está disponível na maior parte das plataformas informáticas, para concretizar esta ferramenta que tem o objetivo de ser utilizada na frente de obra num simples PC ou tablet.

### 6.2. OBJETIVO

No processo de obtenção do tipo de suporte num túnel, como já foi referido, os índices mais utilizados para a caracterização do maciço rochoso são o índice Q, o RMR e mais recentemente o GSI.

A ideia de uma ferramenta que automatize o processo de recolha desta informação na frente de escavação deve ser desenvolvida em cada empresa com base nas características dos seus utilizadores para facilitar a utilização. Neste capítulo o autor desenvolve o seu próprio método de recolha de informação aliando-se à correlação dos parâmetros dos índices Q e RMR desenvolvida no capítulo anterior para obter um resultado mais robusto.

É importante ter em conta 5 aspetos, que o autor acha relevantes, devendo ser incorporados na ferramenta, tendo esta como principais características:

- Rápida utilização e intuitiva;
- Diminuição do erro humano;
- Diminuição da subjetividade na medição dos índices;
- Base de dados bem organizada;
- Obtenção de várias análises importantes.

A filosofia adotada desde o início deste trabalho requer a medição do índice  $Q$  *a priori*, sendo depois sugeridos valores para o índice RMR diminuindo a discrepância dos resultados e portanto, aumentando a correlação entre eles.

Assim, a ferramenta criada toma como ponto de partida o índice  $Q$ , devido ao facto do parâmetro RQD ser obtido maioritariamente com base em sondagens, e sugere alguns valores para o preenchimento do índice RMR. De seguida, o preenchimento do GSI é requerido e é sugerido um tipo de suporte para o troço do túnel analisado. Em desenvolvimentos futuros outra abordagem pode ser tomada podendo o utilizador optar por qual índice começar ou quais preencher.



Figura 46 - Diagrama de funcionamento da ferramenta desenvolvida

### 6.3. DESIGN

O *software Microsoft Office Excel*, programa escrito e produzido pela *Microsoft* é um programa de cálculo automático com uma interface gráfica intuitiva e com grandes ferramentas de cálculo e construção de gráficos. Aliado à linguagem de programação *Visual Basic* é uma ferramenta que permite infinitas possibilidades de criação de programas de cálculo automático bem como quase qualquer tipo de *software*. Sendo relativamente fácil obter um produto final que satisfaça as necessidades do programador, o autor escolheu este *software* para desenvolver a sua ferramenta.

Para o utilizador de qualquer programa ou ferramenta informática se sentir confortável, é importante que este tenha uma interface gráfica apelativa e simples. Excesso de informação pode provocar um certo ruído que dificulte o manuseamento do programa. Em contrapartida, a carência da mesma pode dificultar a sua utilização.

Não devem existir muitos mais comandos do que aqueles que são necessários. Excesso de comandos além de baralhar o utilizador pode criar um conflito interno despertando erros indesejados. A rapidez de processamento de dados, também deve ser suficiente para não atrasar o utilizador.

Assim é de esperar que o programa respeite estas regras para a sua correta eficácia. Com base nestes pressupostos é proposta a interface representada na Figura 47. Este ambiente de trabalho contém um quadro onde é inserida a informação relativa ao objeto em estudo, neste caso, obra, túnel, descrição, observador, data e ponto de escavação (PK). Contém também quadros para preenchimento dos

parâmetros com toda a informação necessária. Os fundos, por uma questão meramente estética, são imagens captadas em túneis em construção.

Obra	----
Túnel	----
Descrição	quarta
Observador	manuel pereira
Data	13/06/2013
PK	200

## Classificação Barton - Índice Q

RQD	
A. Muito pobre	0 a 25 %
B. Pobre	25 a 50 %
C. Razoável	50 a 75 %
D. Bom	75 a 90 %
E. Excelente	90 a 100 %

Nota: (1) Caso o valor de RQD seja inferior a 10, adotar o valor 10.

**VALOR ADOPTADO: 80**

ESTADO DE ALTERAÇÃO DAS FRACTURAS (Ja)	
<b>a. Paredes em contacto</b>	
A. Duro, impermeável, tipo sílex de quartzo	0,75
B. Paredes sãs	1 (25-30)
C. Paredes ligeiramente alteradas. Preenchimento tipo areia ou rocha sem argila	2 (25-30)
D. Preenchimento silicoso ou arenoso-argiloso	3 (20-25)
E. Preenchimento de argila mole, talco, gesso, grafite ou argila pouco expansiva	4 (15-18)
<b>b. Paredes mantem contacto após 10cm movimento</b>	
F. Preenchimento com areia e fragmentos de rocha sem argila	4 (25-30)
G. Preenchimento com argila rija sobreconsolidada, contínua, abertura < 5mm	8 (15-24)
H. Idem pouco ou medianamente sobreconsolidada	8 (10-16)
J. Preenchimento com argila expansiva, contínua, abertura < 5mm (valor adoptado depende da % argila ou da presença de água)	8a12 (8-12)
<b>c. Sem contacto de rocha após movimento</b>	
K, L. Preenchimento por rocha desintegrada ou estragada	6a8
M. Preenchimento idêntico as zonas G, H e J	8a12 (8-24)
N. Preenchimento chiste ou arenoso argiloso	5
O, P. Preenchimento espesso de argila	16a13 (8-24)
R. Preenchimento espesso de argila idêntico as zonas G, H e J	6a24

**VALOR ADOPTADO: 0,75**

PARAMETRO SRF		
<b>a. Zonas de falhas interceptam a escavação podendo originar sobreescavações</b>		
A. Coerência de muitas zonas contendo argila ou rocha desagregada (qualquer profundidade)	10	
B. Coerência de poucas zonas idênticas a A (prof. escavação > 50m)	5	
C. Idem c/ profundidade de escavação > 50m	2,5	
D. Muitas zonas de falha(s) argila, rocha decomposta (qualquer prof.)	7,5	
E. Poucas zonas de falha(s) argila, profundidade de escavação < 50m	5	
F. Idem c/ profundidade de escavação > 50m	2,5	
G. Rocha intensamente fragmentada (escavação a qualquer profundidade)	5	
<b>b. Rocha dura, problemas de tensões próprias</b>		
H. Tensões baixas ou escav. próximo da superfície	se > 1 < 100 < 10 < 13	2,5
J. Tensões médias	100 a 1000	1
K. Tensões elevadas	> 1000	0,5 a 1
L. Possível ocorrência de explosões ligeiras de rocha	5a7,5	0,33a0,50
M. Possível ocorrência de explosões violentas de rocha	> 7,5	> 10
<b>c. Rocha expansiva ou comportamento plástico devido a tensões elevadas</b>		
N. Tensão de expansibilidade média		5 a 10
O. Tensão de expansibilidade elevada		10 a 20
<b>d. Rocha expansiva, dependendo da presença de água</b>		
P. Tensão de expansibilidade média		5 a 10
R. Tensão de expansibilidade elevada		10 a 15

**VALOR ADOPTADO: 8**

NÚMERO DE FAMILIAS DE DIACLASES (Jn)	
A. Maciço (s/ diaclases)	0,5 a 1
B. Uma família	2
C. Uma família e aleatórias	3
D. Duas famílias	4
E. Duas famílias e aleatórias	6
F. Três famílias	9
G. Três famílias e aleatórias	12
H. Quatro ou mais famílias, muito fracturado	15
J. Rocha estragada, solo	20

Nota: (1) Em cruzamento de fendas usar (3 x Jn). (2) Não embocadamentos usar (2 x Jn).

**VALOR ADOPTADO: 30**

RUGOSIDADE (Jr)	
<b>a. Paredes em contacto</b>	
<b>b. Paredes mantem contacto após 10cm movimento</b>	
A. Diaclases descontínuas	4
B. Rugosas ou irregulares, onduladas	3
C. Lisas, onduladas	2
D. "Slickensided", onduladas	1,5
E. Rugosas ou irregulares, planas	1,5
F. Lisas, planas	1
G. "Slickensided", planas	0,5
<b>c. Sem contacto de rocha após movimento</b>	
H. Preenchimento argiloso e abertas sem contacto entre paredes	1
J. Preenchimento arenoso e abertas sem contacto entre paredes	1

Nota: (1) Adicionar 1 se o equipamento for superior a 3 metros. (2) Se <math>Jr < 0,5</math> pode deve ser usado para "slickensided" plana com fricções orientadas favoravelmente.

**VALOR ADOPTADO: 5**

PRESEÇA DE ÁGUA (Jw)	
A. Seco ou caudal < 5l/m <sup>2</sup> , localizado	1
B. Caudal médio ou pressão ocasional	0,66
C. Caudal elevado ou pressão elevada	1-2,5
D. Idem com lavagem do preenchimento das diaclases	0,5
E. Caudal excepcionalmente elevado ou aparecimento de água c/ pressão após rebentamento e diminuição de água	0,2a0,1
F. Idem sem diminuição de caudal	0,1a0,05

Nota: Caso se faça a drenagem do maciço, aumentar o valor de Jw.

**VALOR ADOPTADO: 1**

### CALCULO DE Q

$Q = (RQD / J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)$

RQD = 8,00	Jr = 0,38	Jw = 0,50
Jn	Ja	SRF

2,222

**Continuar para RMR**

Figura 47 - Interface gráfica

Relativamente ao método de introdução de dados, sendo uma opção do autor que o teclado seja o menos possível utilizado, favorecendo o uso do rato, são usadas caixas de combinação e botões de opção como mostra a Figura 48 e 45 respetivamente.

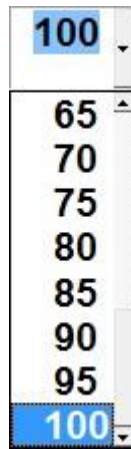


Figura 48 - Exemplo caixa de combinação

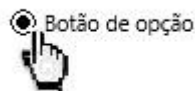


Figura 49 - Exemplo de botão de opção

## 6.4. MÉTODO DE INTRODUÇÃO DE DADOS

### 6.4.1. ÍNDICE Q

Sendo o índice Q o ponto de partida adotado para a caracterização do maciço rochoso, é aqui onde as informações relativas ao troço do túnel em questão são introduzidas. Nesta fase estão representados todos os quadros com as informações dos parâmetros do índice em questão, esperando serem preenchidos.

Todos os parâmetros, *RQD*, *Jr*, *Jn*, *Ja*, *Jw* e *SRF* têm uma caixa de combinação com todos os valores possíveis para caracterização. À medida que o utilizador preenche os parâmetros, é possível acompanhar no momento a evolução o índice na caixa que lhe está associada como mostra a Figura 50.

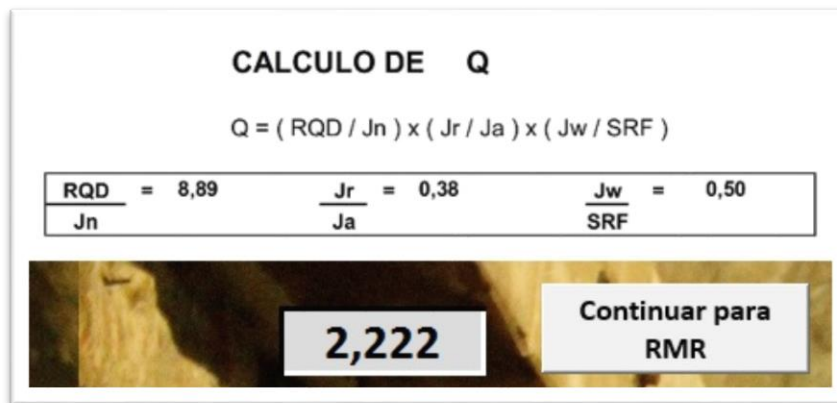


Figura 50 - Caixa de visualização do índice Q

Depois de todos os campos preenchidos o utilizador é convidado a carregar no botão “Continuar para RMR”. Todos os dados são enviados para uma base de dados onde são armazenados com todas as informações necessárias e uma nova interface é aberta, desta vez para o cálculo do índice RMR.

#### 6.4.2. ÍNDICE RMR

Depois de serem preenchidos os parâmetros relativos ao índice Q, quando o utilizador é encaminhado para a folha do índice RMR, é abordado por algumas diferenças relativas ao processo de preenchimento. A informação do troço em estudo é automaticamente importada para agilizar o processo, podendo mesmo assim sofrer alterações se o utilizador o desejar. Nos parâmetros diretamente correlacionados, estudados no Capítulo 5, são apresentadas sugestões baseadas no valor atribuído ao parâmetro correspondente no índice Q bem como a tabela de correlação proposta, como mostra a Figura 51.



Figura 51 - Exemplo de sugestão do valor de RQD

Para o preenchimento de todos os parâmetros, além de caixas de combinação, são também usados botões de opção que facilitam o preenchimento das características de descontinuidades. Como mostra a Figura 52, o utilizador só tem que selecionar o valor que acha mais adequado em cada característica de descontinuidades e automaticamente este aparece na caixa do lado direito. Nesta figura são atribuídos os pesos de 2, 4, 3, 4 e 5 ao “Comprimento de descontinuidades”, à “Separação”, à “Rugosidade”, ao “Enchimento” e à “Alteração” respetivamente.

Depois de todos os parâmetros estarem preenchidos, o utilizador é convidado a carregar no botão “Continuar para GSI”, a informação é enviada para a base de dados e uma nova folha é aberta, desta vez para o preenchimento do GSI.

**Nota: Guia para a classificação das características das descontinuidades**

Comprimento da descontinuidade	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20m
	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0
Separação (abertura)	fechada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5mm
	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0
Rugosidade	muito rugosa	rugosa	ligeira/ rugosa	lisa	espelhada
	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0
Enchimento	nenhum	< 5mm, duro	> 5mm, duro	< 5mm, mole	> 5mm, mole
	<input type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 0
Alteração	não alterada	ligeira	moderada	muito alterada	decomposta
	<input type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0

Qualidade do maciço rochoso

SOMA DOS PESOS	CLASSE Nº	DESCRIÇÃO
100 - 81	I	Muito Bom
80 - 51	II	Bom
50 - 41	III	Razoável
40 - 21	IV	Mau
<20	V	Muito Mau

Continuar para  
GSI

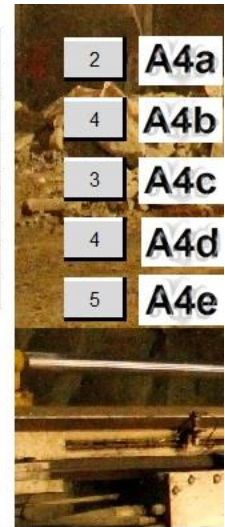


Figura 52 - Botões de opção presentes nas características das descontinuidades e botão “Continuar para GSI”

#### 6.4.3. GSI

A criação de um método de introdução deste parâmetro foi a que mais exigiu da imaginação do autor. De facto, retirar um valor de um ábaco sem eixos ortogonais e a sua representação no próprio ábaco torna-se um obstáculo.

A solução adotada passa pela utilização de duas “Scroll Bars” que permitem a movimentação de um ponto pelo ábaco assinalando o valor requerido. Esta marca pode ser aumentada ou diminuída conforme o utilizador o desejar através dos botões para esse fim, como mostra a Figura 53. Quando a marca abranger os valores do GSI que satisfaçam o utilizador, este pressiona o botão “OK!” e a informação é armazenada na base de dados. Automaticamente uma cópia da imagem é efetuada e enviada para outra folha com o destino de armazenar todas as fichas relativas ao GSI e a informação correspondente.

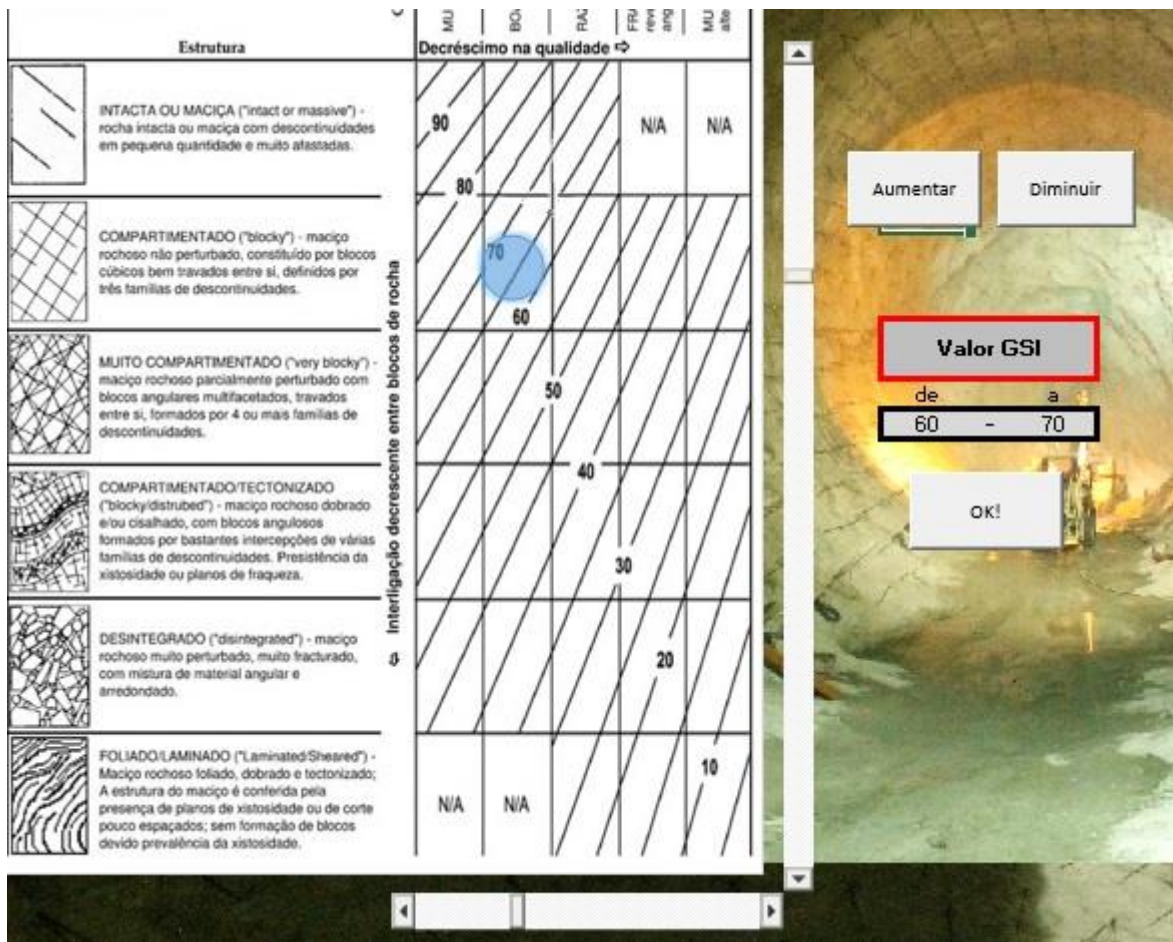


Figura 53 - Introdução do GSI

## 6.5. TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Depois da recolha de dados, estes são armazenados numa base de dados. Aqui podem ser consultados, exportados, sofrer qualquer modificação ou seres usados para qualquer fim que o utilizador deseje.

Com o decorrer deste trabalho, a ideia de que uma correlação entre o índice RMR e Q robusta significa a utilização de um tipo de suporte mais preciso e portanto mais fiável foi adicionado um botão que permite criar uma correlação entre os índices, Figura 54. Assim, esta informação é apresentada em gráfico, bem como histogramas para o utilizador perceber a abrangência dos resultados.

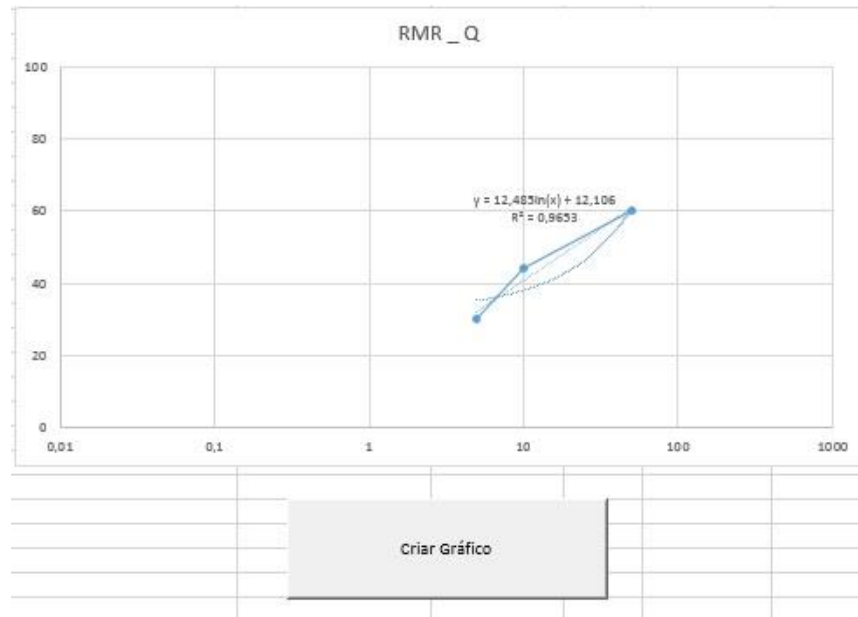


Figura 54 - Criação de gráfico de dispersão e coeficiente de determinação R<sup>2</sup>

Para uma análise mais atrativa visualmente o autor optou por criar uma escala de cores nas classificações do índice RMR e Q. Estas escalas são apresentadas na Figura 55.

Rock Classes - Q								
G	F	E	D	C	B	A		
Excepcionalmente Fraca	Extremamente Fraca	Muito Fraca	Fraca	Razoável	Boa	Muito Boa	Extremamente Boa	Excepcionalmente Boa
0,001 - 0,01	0,01 - 0,1	0,1 - 1	1,0 - 4	4,0 - 10	10,0 - 40,0	40,0 - 100	100 - 400	400 - 1000
Aplicar Formatação		Classe do Maciço - RMR					Remover Formatação	
		Muito Mau - V	Mau - IV	Razoável - III	Bom - II	Muito Bom - I		
		< 20	40 - 21	41 - 60	61 - 80	81 - 100		

Figura 55 - Escalas de cores para os índices RMR e Q

Ao ser atribuída uma cor às classificações da qualidade do maciço rochoso dadas a partir do resultado dos índices, quando os valores aparecem em lista, o utilizador tem uma maior facilidade em identificar possíveis erros. A título de exemplo, se aparecer um valor do índice Q a vermelho, querendo isto dizer que se trata de um maciço “Extremamente Fraco”, o resultado do índice RMR não deveria ser preenchido de outra cor que não seja vermelho ou amarelo, cores correspondentes a maciços “Muito Maus” a “Maus”. Caso este resultado evidenciasse uma cor azul o utilizador sabia logo á partida que um possível erro pudesse ter sido cometido.

Esta ferramenta permite ao utilizador, com um simples *click* no botão “Aplicar Formatação” formatar as várias medições da base de dados com a escala de cores apresentada. Um botão “Remover Formatação” foi também adicionado para facilitar ao utilizador a remoção da formatação quando não requerida.

Por último, também está presente um botão que permite a remoção de todos os dados da base de dados, a utilizar quando o projeto estiver concluído.

## **6.6. OUTPUT**

É usual nestes tipos de medições os dados serem apresentados em fichas como as apresentadas nas Figuras 10 e 11. Durante o processo de introdução de dados, além de estes serem encaminhados automaticamente para a base de dados, são também organizados em fichas, prontas para serem impressas quando o utilizador o desejar.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho incidiu sobre o estudo das correlações entre os principais índices de classificação geomecânica para o suporte de túneis. Os índices RMR, Q e GSI revelaram-se ao longo dos anos uma ferramenta indispensável para classificação dos maciços rochosos permitindo que a engenharia se atrevesse cada vez mais nestes meios tão hiperestáticos.

Permitindo ao autor aprofundar os seus conhecimentos sobre elementos de classificação de maciços rochosos, este trabalho procura também ser um manual à utilização dos mesmos. Analisando dados provenientes de três grandes aproveitamentos hidroelétricos nacionais, Bemposta, Picote e Alqueva, foi possível estudar os índices RMR e Q, as suas semelhanças e diferenças bem como foi possível ao autor propor uma correlação entre os índices. De facto, para melhor elaboração do projeto, atualmente, são usados mais que um método em simultâneo promovendo resultados mais corretos pelo que uma correlação entre índices classificativos, onde com apenas uma medição se pode obter mais que um índice, pode poupar muito tempo revelando-se uma mais-valia na elaboração do projeto.

Todas as semelhanças encontradas entre os índices RMR e Q levaram a que várias correlações fossem propostas, mas uma análise mais profunda revelou que algumas diferenças entre os parâmetros e a sua estrutura levassem a vários erros comuns. Assim, melhores correlações foram encontradas quando as combinações de parâmetros propostas nas Tabelas 22, 25, 28 e 31 foram utilizadas.

Com a deteção de vários erros humanos nas fichas de medição dos índices RMR e Q, foi possível propor um método que assegurasse uma diminuição do erro. A criação de um programa numa folha de cálculo automático aplicada a estes índices de classificação aliada às combinações de parâmetros propostos, pode revelar-se uma mais-valia na frente de escavação de obra.

Tendo este trabalho apenas abordado uma correlação entre os índices RMR e Q, sendo o objetivo inicial uma correlação que envolvesse os três principais índices de classificação de maciços rochosos, RMR, Q e GSI, por falta de dados do índice GSI não foi possível ao autor estudar este índice trabalhando numa correlação tripla. Quando a posse destes dados seja uma realidade o autor aconselha a que um estudo desse tipo seja elaborado, já que muitos parâmetros destes três índices são semelhantes.

Os desenvolvimentos futuros, porém não ficam por aqui. O programa criado pelo autor no *software Microsoft Office Excel*, se evoluir para aplicações do tipo *IOS* ou *Android*, melhorado mas mantendo a mesma filosofia irá ser sem dúvida uma ferramenta que se poderá evidenciar pela positiva no mercado. Imagine-se uma ferramenta que podendo ser utilizado num simples telemóvel que automaticamente enviasse as medições para uma base de dados onde a informação era

automaticamente tratada, onde correlações podiam ser feitas, dados estatísticos obtidos e toda esta informação pudesse ser disponibilizada para qualquer pessoa com acesso ao servidor. Ou seja, um técnico na frente de obra efetuava as medições utilizando a aplicação, estas estavam acessíveis automaticamente nos dispositivos móveis de toda a equipa de técnicos, onde comentários e alterações podiam ser feitas por qualquer um, diminuindo os erros e claro, agilizando o processo de dimensionamento de suporte.

## BIBLIOGRAFIA

- Abad J., Caleda B., Chacon E., Gutierrez V. and Hidalgo E. (1984). *Application of Geomechanical Classification to Predict the Convergence of Coal Mine Galleries and to Design their Support*, 5th Int. Congr. Rock Mech., Melbourne
- Barton N., Lien R. and Lunde J. (1974). *Engineering classification of rock masses for the design of rock support*. Rock Mechanics
- Bieniawski Z.T. (1973). *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*, Trans. S. African Inst. Civil Engrs
- Bieniawski Z. T. (1984). *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*, Balkema, Rotterdam
- Bieniawski Z.T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. John Wiley & Sons, New York.
- Bieniawski, Z.T. (1990) *Tunnel design by rock mass classifications*, DTIC Document
- Cameron-Clake I. S. and Budavari S. (1981). *Correlation of Rock Mass Classification Parameters Obtained from Borecore and in-Situ Observations*, Engng Geol
- Castro-Fresno, D., et al. (2012), *Correlation between Bieniawski's RMR and Barton's Q Index in Low-Quality Soils*. Revista de la Construcción
- Deere, D.U. (1967). *Geological considerations. Rock Mechanics in Engineering Practice*, Stagg & Zienkiewicz, London
- EDP, [http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros\\_produtores/empreendimento.php?item\\_id=85](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/empreendimento.php?item_id=85), 2013
- Grimstad, E., and N. Barton (1993). *Updating the Q-system for NMT*, Proc. int. symp. on sprayed concrete-modern use of wet mix sprayed concrete for underground support
- Hoek, Evert, Peter K. Kaiser, and William Frederick Bawden. (1995) *Support of underground excavations in hard rock*, Taylor & Francis
- Hoek, E. (2007) *Practical Rock Engineering*; Rocscience, Toronto
- Infopédia, [http://www.infopedia.pt/\\$barragem-do-alqueva;jsessionid=30Eb9N34I+v9mbizqh8sw,2013](http://www.infopedia.pt/$barragem-do-alqueva;jsessionid=30Eb9N34I+v9mbizqh8sw,2013)
- ISRM. (2007) *International Society of Rock Mechanics*
- Marinos, P., Vassilis Marinos, and Evert Hoek. (2007) *The Geological Strength Index (GSI): a characterization tool for assessing engineering properties for rock masses*, Proceedings International Workshop on Rock Mass Classification for Underground Mining, Mark, Pakalnis and Tuchman (editors), Information Circular
- Moreno Tallon E. (1980). *Aplicación de las Clasificaciones Geomecánicas a los Túneles de Pajares*, II Curso de de Sostenimientos Activos en Galerías y Túneles. Fundación Gomez-Parto, Madrid.
- Palmström A. (1982). *The volumetric joint count - a useful and simple measure of the degree of jointing*, IAEG, New Delhi
- Palmström, Arild. (2009). *Combining the RMR, Q, and RMi classification systems*, Tunnelling and Underground Space Technology

Rutledge J. C. and Preston R. L. (1978). *Experience with Engineering Classifications of Rock*, Proc. Int. Tunnelling Syrup., Tokyo

Terzaghi. (1946). *Rock Tunnelling with Steel Supports*, Commercial Shearing Co, Youngstown, Ohio

Wikipédia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Correlation>, 2013a

Wikipédia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Spearman%27s\\_rank\\_correlation\\_coefficient](https://en.wikipedia.org/wiki/Spearman%27s_rank_correlation_coefficient), 2013b

**A1**

**EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA  
FOLHA DE CÁLCULO**

**Iniciar:**

Nota: Este exemplo de aplicação pode ser acompanhado em vídeo no seguinte [link](http://prezi.com/smwwvr2oksh/present/?auth_key=ijy7e01&follow=sevdb_t07msl): [http://prezi.com/smwwvr2oksh/present/?auth\\_key=ijy7e01&follow=sevdb\\_t07msl](http://prezi.com/smwwvr2oksh/present/?auth_key=ijy7e01&follow=sevdb_t07msl)

Ao abrir a aplicação, irá ser exibida uma tela de *log in* onde o utilizador deve inserir as credenciais.



Como pré definição as credenciais são:

- Utilizador – “Samuel”
- Password – “feup”

Será então exibida a folha relativa ao preenchimento do índice Q.

### Classificação Barton - Índice Q

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Obra</td><td>...</td></tr> <tr><td>Título</td><td>...</td></tr> <tr><td>Descrição</td><td>...</td></tr> <tr><td>Operador</td><td>...</td></tr> <tr><td>Data</td><td>26/02/2019</td></tr> <tr><td>PK</td><td>288</td></tr> </table>	Obra	...	Título	...	Descrição	...	Operador	...	Data	26/02/2019	PK	288	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">RQD</th></tr> <tr><td>A</td><td>Muito pobre 0 a 25 %</td></tr> <tr><td>B</td><td>Pobre 25 a 50 %</td></tr> <tr><td>C</td><td>Razoável 50 a 75 %</td></tr> <tr><td>D</td><td>Bom 75 a 90 %</td></tr> <tr><td>E</td><td>Excelente 90 a 100 %</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">VALOR ADOPTADO: 100</td></tr> </table>	RQD		A	Muito pobre 0 a 25 %	B	Pobre 25 a 50 %	C	Razoável 50 a 75 %	D	Bom 75 a 90 %	E	Excelente 90 a 100 %	VALOR ADOPTADO: 100		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">ESTADO DE ALTERAÇÃO DAS FRACTURAS (Ja)</th></tr> <tr><td>a</td><td>Parades em contacto</td></tr> <tr><td>A</td><td>Duro, impermeável, tipo tã de quartzo</td></tr> <tr><td>B</td><td>Parades são</td></tr> <tr><td>C</td><td>Parades ligeiramente alteradas. Preenchimento tipo areia ou rocha sem argila</td></tr> <tr><td>D</td><td>Preenchimento viscoso ou arenoso-argiloso</td></tr> <tr><td>E</td><td>Preenchimento de argila mole, lãco gesso, grafite ou argila pouco expansiva</td></tr> <tr><td>b</td><td>Parades mantem contacto após 15cm movimento</td></tr> <tr><td>F</td><td>Preenchimento com areia e fragmentos de rocha sem argila</td></tr> <tr><td>G</td><td>Preenchimento com argila rija sobreconsolidada, contínua, abertura &lt; 5mm</td></tr> <tr><td>H</td><td>Idem pouco ou medianamente sobreconsolidada</td></tr> <tr><td>J</td><td>Preenchimento com argila expansiva, contínua, abertura=5mm (valor adoptado depende da % argila ou da presença de água)</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">VALOR ADOPTADO: 0.75</td></tr> </table>	ESTADO DE ALTERAÇÃO DAS FRACTURAS (Ja)		a	Parades em contacto	A	Duro, impermeável, tipo tã de quartzo	B	Parades são	C	Parades ligeiramente alteradas. Preenchimento tipo areia ou rocha sem argila	D	Preenchimento viscoso ou arenoso-argiloso	E	Preenchimento de argila mole, lãco gesso, grafite ou argila pouco expansiva	b	Parades mantem contacto após 15cm movimento	F	Preenchimento com areia e fragmentos de rocha sem argila	G	Preenchimento com argila rija sobreconsolidada, contínua, abertura < 5mm	H	Idem pouco ou medianamente sobreconsolidada	J	Preenchimento com argila expansiva, contínua, abertura=5mm (valor adoptado depende da % argila ou da presença de água)	VALOR ADOPTADO: 0.75																															
Obra	...																																																																																			
Título	...																																																																																			
Descrição	...																																																																																			
Operador	...																																																																																			
Data	26/02/2019																																																																																			
PK	288																																																																																			
RQD																																																																																				
A	Muito pobre 0 a 25 %																																																																																			
B	Pobre 25 a 50 %																																																																																			
C	Razoável 50 a 75 %																																																																																			
D	Bom 75 a 90 %																																																																																			
E	Excelente 90 a 100 %																																																																																			
VALOR ADOPTADO: 100																																																																																				
ESTADO DE ALTERAÇÃO DAS FRACTURAS (Ja)																																																																																				
a	Parades em contacto																																																																																			
A	Duro, impermeável, tipo tã de quartzo																																																																																			
B	Parades são																																																																																			
C	Parades ligeiramente alteradas. Preenchimento tipo areia ou rocha sem argila																																																																																			
D	Preenchimento viscoso ou arenoso-argiloso																																																																																			
E	Preenchimento de argila mole, lãco gesso, grafite ou argila pouco expansiva																																																																																			
b	Parades mantem contacto após 15cm movimento																																																																																			
F	Preenchimento com areia e fragmentos de rocha sem argila																																																																																			
G	Preenchimento com argila rija sobreconsolidada, contínua, abertura < 5mm																																																																																			
H	Idem pouco ou medianamente sobreconsolidada																																																																																			
J	Preenchimento com argila expansiva, contínua, abertura=5mm (valor adoptado depende da % argila ou da presença de água)																																																																																			
VALOR ADOPTADO: 0.75																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">NÚMERO DE FAMILIAS DE DIACLASES (Jn)</th></tr> <tr><td>A</td><td>Máximo (n° diaclasses) 0.5 a 1</td></tr> <tr><td>B</td><td>Uma família</td></tr> <tr><td>C</td><td>Uma família e aberturas</td></tr> <tr><td>D</td><td>Dois famílias</td></tr> <tr><td>E</td><td>Dois famílias e aberturas</td></tr> <tr><td>F</td><td>Três famílias</td></tr> <tr><td>G</td><td>Três famílias e aberturas</td></tr> <tr><td>H</td><td>Quatro ou mais famílias, muito fracturado</td></tr> <tr><td>J</td><td>Rocha esmagada, solo</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">VALOR ADOPTADO: 0.5</td></tr> </table>	NÚMERO DE FAMILIAS DE DIACLASES (Jn)		A	Máximo (n° diaclasses) 0.5 a 1	B	Uma família	C	Uma família e aberturas	D	Dois famílias	E	Dois famílias e aberturas	F	Três famílias	G	Três famílias e aberturas	H	Quatro ou mais famílias, muito fracturado	J	Rocha esmagada, solo	VALOR ADOPTADO: 0.5		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">PRESENÇA DE ÁGUA (Jw)</th></tr> <tr><td>A</td><td>Seco ou caudal&lt;5l/min, localizado</td></tr> <tr><td>B</td><td>Caudal médio ou pressão ocasional</td></tr> <tr><td>C</td><td>Caudal elevado ou pressão elevada em rocha dura sem diaclasses ou preenchimento</td></tr> <tr><td>D</td><td>Idem com lavagem do preenchimento das diaclasses</td></tr> <tr><td>E</td><td>Caudal excepcionalmente elevado ou aparecimento de água c/ pressão após rebentamento e drenado</td></tr> <tr><td>F</td><td>Idem sem drenagem de caudal</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">VALOR ADOPTADO: 0.5</td></tr> </table>	PRESENÇA DE ÁGUA (Jw)		A	Seco ou caudal<5l/min, localizado	B	Caudal médio ou pressão ocasional	C	Caudal elevado ou pressão elevada em rocha dura sem diaclasses ou preenchimento	D	Idem com lavagem do preenchimento das diaclasses	E	Caudal excepcionalmente elevado ou aparecimento de água c/ pressão após rebentamento e drenado	F	Idem sem drenagem de caudal	VALOR ADOPTADO: 0.5		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">PARAMETRO SRF</th></tr> <tr><td colspan="2">a. Zonas de falhas interceptadas e escavação podendo originar sobreexposições</td></tr> <tr><td>A</td><td>Coerência de muitas zonas comendo argila ou rocha desintegrada (qualquer profundidade)</td></tr> <tr><td>B</td><td>Coerência de poucas zonas idênticas a A (prof. escavação&gt;50m)</td></tr> <tr><td>C</td><td>Idem c/ profundidade de escavação &gt; 50m</td></tr> <tr><td>D</td><td>Muitas zonas de falhas argilas, rocha decomposta(qualquer prof.)</td></tr> <tr><td>E</td><td>Poucas zonas de falhas argilas (profundidade de escavação &lt; 50m)</td></tr> <tr><td>F</td><td>Idem c/ profundidade de escavação &gt; 50m</td></tr> <tr><td>G</td><td>Rocha intensamente fragmentada (escavação a qualquer profundidade)</td></tr> <tr><td colspan="2">b. Rocha dura, presença de tenazes virgens</td></tr> <tr><td>H</td><td>Tenazes baixas ou escav. próximo de superfície</td></tr> <tr><td>J</td><td>Tenazes médias</td></tr> <tr><td>K</td><td>Tenazes elevadas</td></tr> <tr><td>L</td><td>Presença coerência de explosões ígneas de rocha</td></tr> <tr><td>M</td><td>Presença coerência de explosões vívidas de rocha</td></tr> <tr><td colspan="2">c. Rocha expansiva ou comportamento plástico devido a tenazes elevadas</td></tr> <tr><td>n</td><td>Tenão de expansibilidade médio</td></tr> <tr><td>o</td><td>Tenão de expansibilidade elevada</td></tr> <tr><td colspan="2">d. Rocha expansiva, dependendo da presença de água</td></tr> <tr><td>p</td><td>Tenão de expansibilidade médio</td></tr> <tr><td>h</td><td>Tenão de expansibilidade elevada</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">VALOR ADOPTADO: 8</td></tr> </table>	PARAMETRO SRF		a. Zonas de falhas interceptadas e escavação podendo originar sobreexposições		A	Coerência de muitas zonas comendo argila ou rocha desintegrada (qualquer profundidade)	B	Coerência de poucas zonas idênticas a A (prof. escavação>50m)	C	Idem c/ profundidade de escavação > 50m	D	Muitas zonas de falhas argilas, rocha decomposta(qualquer prof.)	E	Poucas zonas de falhas argilas (profundidade de escavação < 50m)	F	Idem c/ profundidade de escavação > 50m	G	Rocha intensamente fragmentada (escavação a qualquer profundidade)	b. Rocha dura, presença de tenazes virgens		H	Tenazes baixas ou escav. próximo de superfície	J	Tenazes médias	K	Tenazes elevadas	L	Presença coerência de explosões ígneas de rocha	M	Presença coerência de explosões vívidas de rocha	c. Rocha expansiva ou comportamento plástico devido a tenazes elevadas		n	Tenão de expansibilidade médio	o	Tenão de expansibilidade elevada	d. Rocha expansiva, dependendo da presença de água		p	Tenão de expansibilidade médio	h	Tenão de expansibilidade elevada	VALOR ADOPTADO: 8	
NÚMERO DE FAMILIAS DE DIACLASES (Jn)																																																																																				
A	Máximo (n° diaclasses) 0.5 a 1																																																																																			
B	Uma família																																																																																			
C	Uma família e aberturas																																																																																			
D	Dois famílias																																																																																			
E	Dois famílias e aberturas																																																																																			
F	Três famílias																																																																																			
G	Três famílias e aberturas																																																																																			
H	Quatro ou mais famílias, muito fracturado																																																																																			
J	Rocha esmagada, solo																																																																																			
VALOR ADOPTADO: 0.5																																																																																				
PRESENÇA DE ÁGUA (Jw)																																																																																				
A	Seco ou caudal<5l/min, localizado																																																																																			
B	Caudal médio ou pressão ocasional																																																																																			
C	Caudal elevado ou pressão elevada em rocha dura sem diaclasses ou preenchimento																																																																																			
D	Idem com lavagem do preenchimento das diaclasses																																																																																			
E	Caudal excepcionalmente elevado ou aparecimento de água c/ pressão após rebentamento e drenado																																																																																			
F	Idem sem drenagem de caudal																																																																																			
VALOR ADOPTADO: 0.5																																																																																				
PARAMETRO SRF																																																																																				
a. Zonas de falhas interceptadas e escavação podendo originar sobreexposições																																																																																				
A	Coerência de muitas zonas comendo argila ou rocha desintegrada (qualquer profundidade)																																																																																			
B	Coerência de poucas zonas idênticas a A (prof. escavação>50m)																																																																																			
C	Idem c/ profundidade de escavação > 50m																																																																																			
D	Muitas zonas de falhas argilas, rocha decomposta(qualquer prof.)																																																																																			
E	Poucas zonas de falhas argilas (profundidade de escavação < 50m)																																																																																			
F	Idem c/ profundidade de escavação > 50m																																																																																			
G	Rocha intensamente fragmentada (escavação a qualquer profundidade)																																																																																			
b. Rocha dura, presença de tenazes virgens																																																																																				
H	Tenazes baixas ou escav. próximo de superfície																																																																																			
J	Tenazes médias																																																																																			
K	Tenazes elevadas																																																																																			
L	Presença coerência de explosões ígneas de rocha																																																																																			
M	Presença coerência de explosões vívidas de rocha																																																																																			
c. Rocha expansiva ou comportamento plástico devido a tenazes elevadas																																																																																				
n	Tenão de expansibilidade médio																																																																																			
o	Tenão de expansibilidade elevada																																																																																			
d. Rocha expansiva, dependendo da presença de água																																																																																				
p	Tenão de expansibilidade médio																																																																																			
h	Tenão de expansibilidade elevada																																																																																			
VALOR ADOPTADO: 8																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">RUGOSIDADE (Jr)</th></tr> <tr><td colspan="2">a. Parades em contacto</td></tr> <tr><td colspan="2">b. Parades mantem contacto após 15cm movimento</td></tr> <tr><td>A</td><td>Diaclasses descontínuas</td></tr> <tr><td>B</td><td>Rugositas ou irregulars, onduladas</td></tr> <tr><td>C</td><td>Lisas, onduladas</td></tr> <tr><td>D</td><td>"Slickensided", onduladas</td></tr> <tr><td>E</td><td>Rugositas ou irregulars, planas</td></tr> <tr><td>F</td><td>Lisas, planas</td></tr> <tr><td>G</td><td>"Slickensided", planas</td></tr> <tr><td colspan="2">c. Sem contacto de rocha após movimento</td></tr> <tr><td>H</td><td>Preenchimento argiloso e aberturas sem contacto entre paredes</td></tr> <tr><td>J</td><td>Preenchimento arenoso e aberturas sem contacto entre paredes</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">VALOR ADOPTADO: 4</td></tr> </table>	RUGOSIDADE (Jr)		a. Parades em contacto		b. Parades mantem contacto após 15cm movimento		A	Diaclasses descontínuas	B	Rugositas ou irregulars, onduladas	C	Lisas, onduladas	D	"Slickensided", onduladas	E	Rugositas ou irregulars, planas	F	Lisas, planas	G	"Slickensided", planas	c. Sem contacto de rocha após movimento		H	Preenchimento argiloso e aberturas sem contacto entre paredes	J	Preenchimento arenoso e aberturas sem contacto entre paredes	VALOR ADOPTADO: 4		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">CALCULO DE Q</th></tr> <tr><td colspan="2"><math>Q = (RQD / J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)</math></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">66,667</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: right;">Continuar para RMR</td></tr> </table>	CALCULO DE Q		$Q = (RQD / J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)$		66,667		Continuar para RMR																																																
RUGOSIDADE (Jr)																																																																																				
a. Parades em contacto																																																																																				
b. Parades mantem contacto após 15cm movimento																																																																																				
A	Diaclasses descontínuas																																																																																			
B	Rugositas ou irregulars, onduladas																																																																																			
C	Lisas, onduladas																																																																																			
D	"Slickensided", onduladas																																																																																			
E	Rugositas ou irregulars, planas																																																																																			
F	Lisas, planas																																																																																			
G	"Slickensided", planas																																																																																			
c. Sem contacto de rocha após movimento																																																																																				
H	Preenchimento argiloso e aberturas sem contacto entre paredes																																																																																			
J	Preenchimento arenoso e aberturas sem contacto entre paredes																																																																																			
VALOR ADOPTADO: 4																																																																																				
CALCULO DE Q																																																																																				
$Q = (RQD / J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)$																																																																																				
66,667																																																																																				
Continuar para RMR																																																																																				

### Preenchimento dos dados:

O primeiro passo, será preencher os campos relativos á descrição da obra.

<b>Obra</b>	<b>FEUP</b>
<b>Túnel</b>	<b>Central</b>
<b>Descrição</b>	<b>frente</b>
<b>Observador</b>	<b>Samuel Pereira</b>
<b>Data</b>	<b>26/06/2013</b>
<b>PK</b>	<b>0-3</b>

De seguida todos os quadros relativos aos parâmetros do índice Q devem ser preenchidos. Nas imagens seguintes esses quadros classificados com valores aleatórios só a título de exemplo.

RQD	
	<b>RQD</b>
A Muito pobre	<b>0 a 25 %</b>
B Pobre	<b>25 a 50 %</b>
C Razoável	<b>50 a 75 %</b>
D Bom	<b>75 a 90 %</b>
E Excelente	<b>90 a 100 %</b>

Nota : ( i ) Caso o valor de RQD seja inferior a 10, adoptar o valor 10

**VALOR ADOPTADO**

NÚMERO DE FAMÍLIAS DE DIACLASES (Jn)	
	<b>Jn</b>
A Maciço (s/ diaclases)	<b>0.5 a 1</b>
B Uma família	<b>2</b>
C Uma família e aleatórias	<b>3</b>
D Duas famílias	<b>4</b>
E Duas famílias e aleatórias	<b>6</b>
F Três famílias	<b>9</b>
G Três famílias e aleatórias	<b>12</b>
H Quatro ou mais famílias, muito fracturado	<b>15</b>
J Rocha esmagada, solo	<b>20</b>

Nota: ( i ) Em cruzamento de túneis usar ( 3 x Jn )

( ii ) Nos emboquilhamentos usar ( 2 x Jn )

**VALOR ADOPTADO**

<b>RUGOSIDADE ( Jr )</b>		
		<b>Jr</b>
<b>a. Paredes em contacto</b>		
<b>b. Paredes mantem contacto após 10cm movimento</b>		
A	Diaclases descontínuas	<b>4</b>
B	Rugosas ou irregulares, onduladas	<b>3</b>
C	Lisas, onduladas	<b>2</b>
D	"Slickensided", onduladas	<b>1,5</b>
E	Rugosas ou irregulares, planas	<b>1,5</b>
F	Lisas, planas	<b>1</b>
G	"Slickensided", planas	<b>0,5</b>
<b>c. Sem contacto de rocha após movimento</b>		
H	Preenchimento argiloso e abertas sem contacto entre paredes	<b>1</b>
J	Preenchimento arenoso e abertas sem contacto entre paredes	<b>1</b>
<b>VALOR ADOPTADO</b>		<b>1.5</b>

Ter atenção à  
Check Box da  
nota (i)

Nota : ( i )Adicionar 1 se o espacamento for superior a 3 metros

(ii) Jr=0.5 pode deve ser usado para "slickensided" plana com lineações orientadas favoravelmente

<b>ESTADO DE ALTERACAO DAS FRACTURAS ( Ja )</b>		
	<b>Ja</b>	<b>F</b>
<b>a. Paredes em contacto</b>		
A	Duro, impermeável, tipo filão de quartzo	<b>0,75</b>
B	Paredes sãs	<b>1</b> (25-35)
C	Paredes ligeiramente alteradas. Preenchimento tipo areia ou rocha sem argila	<b>2</b> (25-30)
D	Preenchimento siltoso ou areno-argiloso	<b>3</b> (20-25)
E	Preenchimento de argila mole, talco, gesso grafite ou argila pouco expansiva	<b>4</b> (8-16)
<b>b. Paredes mantem contacto após 10cm movimento</b>		
F	Preenchimento com areia e fragmentos de rocha sem argila	<b>4</b> (25-30)
G	Preenchimento com argila rija sobreconsolidada, contínua, abertura < 5mm	<b>6</b> (16-24)
H	Idem pouco ou medianamente sobreconsolidada	<b>8</b> (12-16)
J	Preenchimento com argila expansiva, contínua, abertura<5mm (valor adoptado depende da % argila ou da presença de água)	<b>8a12</b> (6-12)
<b>c. Sem contacto de rocha apos movimento</b>		
K,L	Preenchimento por rocha desintegrada ou esmagada	<b>6a8</b>
e M	Preenchimento idêntico as zonas G, H e J	<b>8a12</b> (6-24)
N	Preenchimento c/silte ou areia argilosa	<b>5</b>
O,P	Preenchimento espesso de argila	<b>10a13</b> (6-24)
e R	Preenchimento espesso de argila idêntico as zonas G, H e J	<b>6a24</b>
<b>VALOR ADOPTADO</b>		<b>1</b>

PRESENÇA DE ÁGUA ( Jw )		
	Jw	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )
A Seco ou caudal<5l/min. localizado	1	<1
B Caudal médio ou pressão ocasional	0,66	1-2.5
C Caudal elevado ou pressão elevada em rocha dura sem diaclases c/ preenchimento	0,5	2.5-10
D Idem com lavagem do preenchimento das diaclases	0,33	2.5-10
E Caudal excepcionalmente elevado ou aparecimento de água c/ pressão após rebentamento e diminuindo	0.2a0.1	>10
F Idem sem diminuição de caudal	0.1a0.55	>10

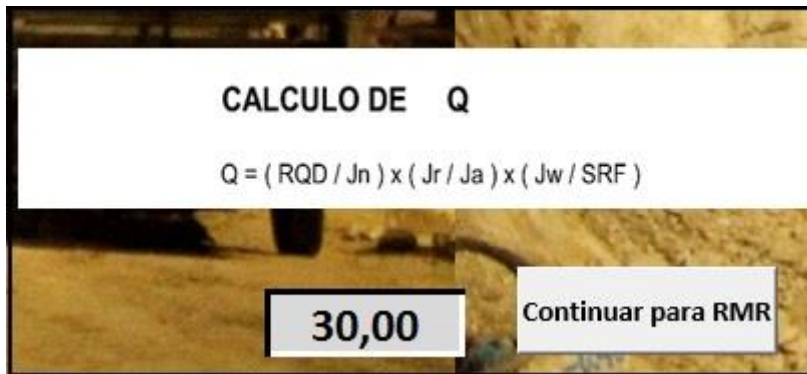
Nota: Caso se faça a drenagem do maciço, aumentar o valor de Jw

**VALOR ADOPTADO** 1

PARAMETRO SRF			
<b>a. Zonas de falhas interceptam a escavação podendo originar sobreescavações</b>			
A Ocorrência de muitas zonas contendo argila ou rocha desagregada (qualquer profundidade)			10
B Ocorrência de poucas zonas idênticas a A(prof. escavacao<50m)			5
C Idem c/ profundidade de escavação > 50m			2,5
D Muitas zonas de falha(s/ argila), rocha decomposta(qualquer prof.)			7,5
E Poucas zonas de falha(s/ argila),profundidade de escavação < 50m			5
F Idem c/ profundidade de escavação > 50m			2,5
G Rocha intensamente fragmentada (escavação a qualquer profundidade)			5
<b>b. Rocha dura, problemas de tensões virgens</b>			
	se/s1	st/s1	
H Tensões baixas ou escav. próximo da superfície	>200	>13	2,5
J Tensões médias	200 a 10	13a0.66	1
K Tensões elevadas	10a50	0.66a0.33	0,5 a 2
L Possível ocorrência de explosões ligeiras de rocha	5a2.5	0.33a0.16	5 a 10
M Possível ocorrência de explosões violentas de rocha	<2.5	<0.16	10 a 20
<b>c. Rocha expansiva ou comportamento plástico devido a tensões elevadas</b>			
N Tensão de expansibilidade media			5 a 10
O Tensão de expansibilidade elevada			10 a 20
<b>d. Rocha expansiva, dependendo da presença de água</b>			
P Tensão de expansibilidade média			5 a 10
R Tensão de expansibilidade elevada			10 a 15

**VALOR ADOPTADO** 2.5

O valor de Q é automaticamente calculado. De seguida o utilizador deverá carregar no botão “Continuar para RMR”.



Os valores serão enviados para uma base de dados e será aberta a folha relativa ao índice RMR.

**Obra FEUP**  
**Túnel Central**  
**Descrição frente**  
**Observador Samuel Pereira**  
**Data 26/06/2013**  
**PK 0-3**

**Classificação Bieniawsky - Índice RMR**

Dir. Perpendicular ao eixo do Túnel	Dir. Paralela ao eixo	Inclinação (°)
45° - 50°	30° - 40°	20° - 45°
Muito Favorável	Favorável	Razoável
Razoável	Defeituosa	Muito Defeituosa

**Nota: Guia para a classificação das características das descontinuidades**

Comprimento de descontinuidade	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Separação (abertura)	G 6	G 4	G 2	G 1	G 0
Rugosidade	G 6	G 5	G 4	G 3	G 2
Envolvimento	G 6	G 5	G 4	G 3	G 2
Alteração	G 6	G 5	G 4	G 3	G 2

**Qualidade do maciço rochoso**

SOMA DOS PONTOS	CLASSE IV	DESCRIÇÃO
50 - 75	I	Muito Bom
40 - 49	II	Bom
30 - 39	III	Razoável
20 - 29	IV	Mau
< 20	V	Muito Mau


**Continuar para GSI**

A informação relativa à descrição da obra é importada do índice Q.

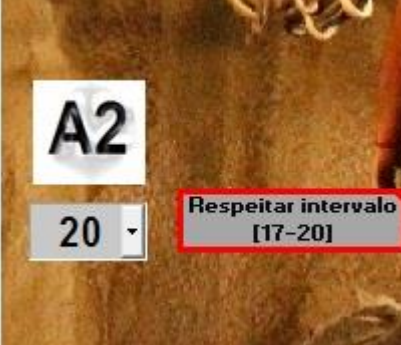
<b>Obra</b>	<b>FEUP</b>
<b>Túnel</b>	<b>Central</b>
<b>Descrição</b>	<b>frente</b>
<b>Observador</b>	<b>Samuel Pereira</b>
<b>Data</b>	<b>26/06/2013</b>
<b>PK</b>	<b>0-3</b>

Segue-se o preenchimento dos parâmetros relativos ao índice RMR. Os parâmetros A2, A4c, A4d, A4e e A5 irão exibir sugestões de valores com base nas decisões tomada no preenchimento dos parâmetros do índice Q.

Point Load MPa	Res. Comp. Uniaxial MPa	
>10	>250	15
4 - 10	100 - 250	12
2 - 4	50 - 100	7
1 - 2	25 - 50	4
< 2*	5 - 25	2
< 2*	1 - 5	1
< 2*	< 1	0



RQD %	
90 - 100	20
75 - 90	17
50 - 75	13
25 - 50	8
< 25	3



Espaçamento descontinuidades	
> 2 m	20
0.6 - 2 m	15
200 - 600 mm	10
60 - 200 mm	8
< 60 mm	5



Características das descontinuidades (ver nota abaixo)	
Paredes Rugosas, descontinuas, fechadas, paredes sem alteração	30
Paredes ligeiramente rugosas, abertura < 1 mm, paredes ligeir. alteradas	25
Paredes ligeiramente rugosas, abertura < 1 mm, paredes muito alteradas	20
Contínuas; Paredes lisas ou preenchimento argiloso < 5 mm ou abertura 1 - 5 mm	10
Contínuas; Preenchimento argiloso > 5 mm ou abertura > 5 mm	0



Direcção Perpendicular ao eixo do Túnel				Direc. Paralela ao eixo		Inclinação 0° - 20°
A favor da Escavação		Contra a Escavação		45°-90°	20°-45°	
45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°			
Muito Favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito Desfavorável	Razoável	Razoável

Nota: Guia para a classificação das características das descontinuidades

Comprimento da descontinuidade	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20m
	6	4	2	1	0
Separação (abertura)	fechada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5mm
	6	5	4	1	0
Rugosidade	muito rugosa	rugosa	ligeira/ rugosa	lisa	espelhada
	6	5	3	1	0
Enchimento	nenhum	< 5mm, duro	> 5mm, duro	< 5mm, mole	> 5mm, mole
	6	4	2	2	0
Alteração	não alterada	ligeira	moderada	muito alterada	decomposta
	6	5	3	1	0

Qualidade do maciço rochoso

SOMA DOS PESOS	CLASSE Nº	DESCRIÇÃO
100 - 81	I	Muito Bom
80 - 51	II	Bom
50 - 41	III	Razoável
40 - 21	IV	Mau
<20	V	Muito Mau

Continuar para GSI



ÁGUA SUBTERRÂNEA		
Fluxo/10 m túnel	Quociente=Pressão hidráulica fracturas/ Tensão principal	Condições Gerais
Nulo	0	Seco
< 10 l/min	0.0 - 0.1	Húmido
10 - 25 l/min	0.1 - 0.2	Saturado
25 - 125 l/min	0.2 - 0.5	Gotejante
> 125 l/min	> 0.5	Escorrência



Orientação descontinuidades	
Muito Favorável	0
Favorável	-2
Razoável	-5
Desfavorável	-10
Muito desfavorável	-12



O valor do índice RMR é exibido e o utilizador deverá carregar no botão “Continuar para GSI”.



Os valores são importados para a base de dados e a folha relativa ao índice GSI é aberta.

## Classificação GSI

**GSI - Geological Strength Index**  
Índice Geológico de Resistência - maciços deslocados

A partir da litologia, da estrutura do maciço, e das características das superfícies das suas descontinuidades, estimar o valor médio do GSI. Não ser demasiado preciso (é mais realista referir um intervalo de GSI= 33-37, que afirmar GSI=35).

É de referir que a tabela não tem validade para roturas determinadas pela estrutura do maciço. Quando ocorram descontinuidades desfavoráveis orientadas, determinar o comportamento da escavação.

No caso de descontinuidades com preenchimento que se possa deteriorar com a presença de humidade, resultando na diminuição da resistência ao corte, sugerir-se o uso de valores mais à direita. A ação da pressão da água é analisada em função das tensões efectivas.

**Condições das superfícies das descontinuidades**

MUITO BOAS - Muito rugosas, maltratadas

BOAS - Rugosas, pouco alteradas, vestígios de oxidação

RAZÓAVEIS - Lisas, moderadamente alteradas e abradidas

FRACAS - "Slickensides", superfícies muito alteradas com revestimento compacto ou com preenchimentos de material angular

MUITO FRACAS - "Slickensides", superfícies muito alteradas com revestimento ou preenchimento argiloso mole

Estrutura	Decréscimo na qualidade ⇄
<p>em pequena quantidade e muito anisotrópicas.</p>	80
<p>COMPARTIMENTADO ("blocky") - maciço rochoso não perturbado, constituído por blocos cúbicos bem travados entre si, definidos por três famílias de descontinuidades.</p>	70
<p>MUITO COMPARTIMENTADO ("Very blocky") - maciço rochoso parcialmente perturbado com blocos angulares multifacetados, travados entre si, formados por 4 ou mais famílias de descontinuidades.</p>	60
<p>COMPARTIMENTADO/TECTONIZADO ("blocky/distrubed") - maciço rochoso dobrado e/ou cisalhado, com blocos angulares formados por bastantes intercepções de várias famílias de descontinuidades. Presença da xistossidade ou planos de fraqueza.</p>	50
<p>DESINTEGRADO ("disintegrated") - maciço rochoso muito perturbado, muito fraturado, com mistura de material angular e arredondado.</p>	40
<p>FOLIADO/LAMINADO ("Laminated/Sheared") - Maciço rochoso foliado, dobrado e tectonizado. A estrutura do maciço é controlada pela presença de planos de xistossidade ou de corte pouco espaçados; sem formação de blocos devido prevalência da xistossidade.</p>	30
	20
	10
	N/A

Valor GSI

de a

60 - 70

OK!

Jogando com as *Scroll Bars* é possível movimentar a mancha pelo ábaco do GSI. É possível aumentar ou diminuir a abrangência do resultado com os botões respetivos. Neste caso foi marcado um valor de GSI entre 60 a 70. Carregando no botão "OK!" os valores são importados para a base de dados e o ábaco enviado para uma folha destinada ao armazenamento das fichas relativas ao GSI.

A folha do índice Q é novamente aberta permitindo ao utilizador repetir todo o processo, mas agora numa fase posterior de escavação.

**Base de dados:**

Depois de todos os dados preenchidos, a base de dados deve aparecer tal como a apresentada em baixo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	
1	Barton - Q															Bieniawsky - RMR										GSI						
2	Obra	Túnel	Descrição	Observador	Data	PK	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	A1	A2	A3	A4a	A4b	A4c	A4d	A4e	B	A4	A5	RMR Basico	RMR	de	a				
3																																
4	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	26/06/2013	0-3	100	2	1,5	1	1	2,5	30	7	20	20	2	5	3	4	6	0	20	15	82	82	60	70				
5	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	27/06/2013	3-6	95	8	1,5	2	1	2,5	3,5625	7	20	15	1	4	1	6	5	-12	17	15	74	62	50	60				
6	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	28/06/2013	6-9	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	7	20	13	1	4	1	6	5	-12	17	14	71	59	66	76				
7	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	29/06/2013	9-12	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	7	20	13	1	4	1	6	5	-12	17	14	71	59	89	95				
8	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	30/06/2013	12-15	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	72	60	80	95				
9	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	01/07/2013	15-18	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	72	60	60	55				
10	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	02/07/2013	18-21	90	4	1,5	2	1	2,5	6,75	12	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	72	60	71	80				
11	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	03/07/2013	21-24	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	7	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	13	66	54	45	55				
12	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	04/07/2013	24-27	90	4	1,5	2	1	2,5	6,75	7	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	67	55	10	30				
13	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	05/07/2013	27-30	85	6	1,5	2	1	2,5	4,25	7	18	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	66	54	90	95				
14	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	06/07/2013	30-33	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	72	60	62	70				
15	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	07/07/2013	33-36	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	4	5	-12	15	14	70	58	63	70				
16	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	08/07/2013	39-42	90	6	1,5	3	1	2,5	3	12	19	9	1	4	1	2	5	-12	13	14	67	55	65	70				
17	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	09/07/2013	42-51	90	4	1,5	3	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	2	5	-12	13	14	68	56	70	80				
18	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	10/07/2013	51-54	85	6	1,5	3	1	2,5	2,8333	12	17	9	1	1	1	2	5	-12	10	13	61	49	80	85				
19	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	11/07/2013	54-57	85	6	1	3	1	2,5	1,8889	12	17	9	1	4	1	2	3	-12	11	13	62	50	85	95				
20	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	12/07/2013	57-60	85	6	1	3	1	2,5	1,8889	12	17	9	1	4	1	2	3	-12	11	13	62	50	89	95				
21	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	13/07/2013	60-63	90	6	1	3	1	2,5	2	7	18	10	1	1	1	2	3	-12	8	13	56	44	50	60				
22	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	14/07/2013	63-66	90	6	1	3	1	2,5	2	7	18	10	1	1	1	2	3	-12	8	13	56	44	60	70				
23	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	15/07/2013	66-69	90	6	1	3	1	2,5	2	7	18	10	1	1	1	2	3	-12	8	13	56	44	40	50				
24	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	16/07/2013	69-72	90	6	1	3	1	2,5	2	7	18	10	1	1	1	2	3	-10	8	13	56	46	78	80				
25	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	17/07/2013	72-75	95	6	1	3	1	2,5	2,1111	12	20	10	1	1	1	2	3	-12	8	13	63	51	45	50				
26	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	18/07/2013	75-78	95	3	1	3	1	2,5	4,2222	12	20	10	1	1	1	2	3	-10	8	13	63	53	60	70				
27	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	19/07/2013	78-81	95	3	1	3	1	2,5	4,2222	12	20	10	1	4	1	2	5	-5	13	14	69	64	87	95				
28	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	20/07/2013	81-84	90	6	1,5	3	1	2,5	3	12	19	10	1	4	1	2	5	-12	13	14	68	56	84	96				
29	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	21/07/2013	84-87	95	4	1,5	3	1	2,5	4,75	12	20	10	1	1	1	2	5	-10	10	14	66	56	86	93				
30	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	22/07/2013	87-90	95	6	1,5	3	1	2,5	3,1667	12	19	10	1	1	1	2	5	-10	10	13	64	54	82	90				
31	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	23/07/2013	90-93	90	6	1,5	3	1	2,5	3	12	19	10	1	1	1	2	5	-10	10	12	63	53	76	85				
32	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	24/07/2013	93-96	95	6	1,5	3	1	2,5	3,1667	12	20	10	1	1	1	2	5	-10	10	12	64	54	74	85				
33	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	25/07/2013	96-99	95	6	1,5	3	1	2,5	3,1667	12	20	10	1	1	1	2	5	-10	10	13	65	55	75	85				
34	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	26/07/2013	99-102	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	12	20	12	1	4	1	2	5	-10	13	13	70	60	60	70				
35	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	27/07/2013	102-105	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	12	20	12	1	4	1	6	5	-10	17	14	75	65	40	60				
36	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	28/07/2013	105-108	95	3	1,5	2	1	2,5	9,5	12	20	10	1	4	1	2	5	-2	13	14	69	67	41	49				
37	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	29/07/2013	108-111	95	3	1,5	3	1	2,5	6,3333	7	20	10	1	4	1	2	5	-10	13	14	64	54	42	79				
38	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	30/07/2013	111-114	95	3	1,5	3	1	2,5	6,3333	7	20	10	1	4	3	2	5	-2	15	14	66	64	85	90				
39	FEUP	Central	frente	Samuel Pereira	31/07/2013	114-117	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	7	20	12	1	4	3	6	5	-10	19	14	72	62	96	99				

Aqui são organizados, cronologicamente, todos os dados provenientes das medições dos índices.

Do lado direito da base de dados está visível uma escala de cores como a apresentada a seguir.

Estudo Estatístico de Levantamentos Sistemáticos de Parâmetros Geotécnicos de Diferentes Classificações Geomecânicas na Escavação de Túneis e sua Aplicação no Pré-dimensionamento de Sistemas de Contenção

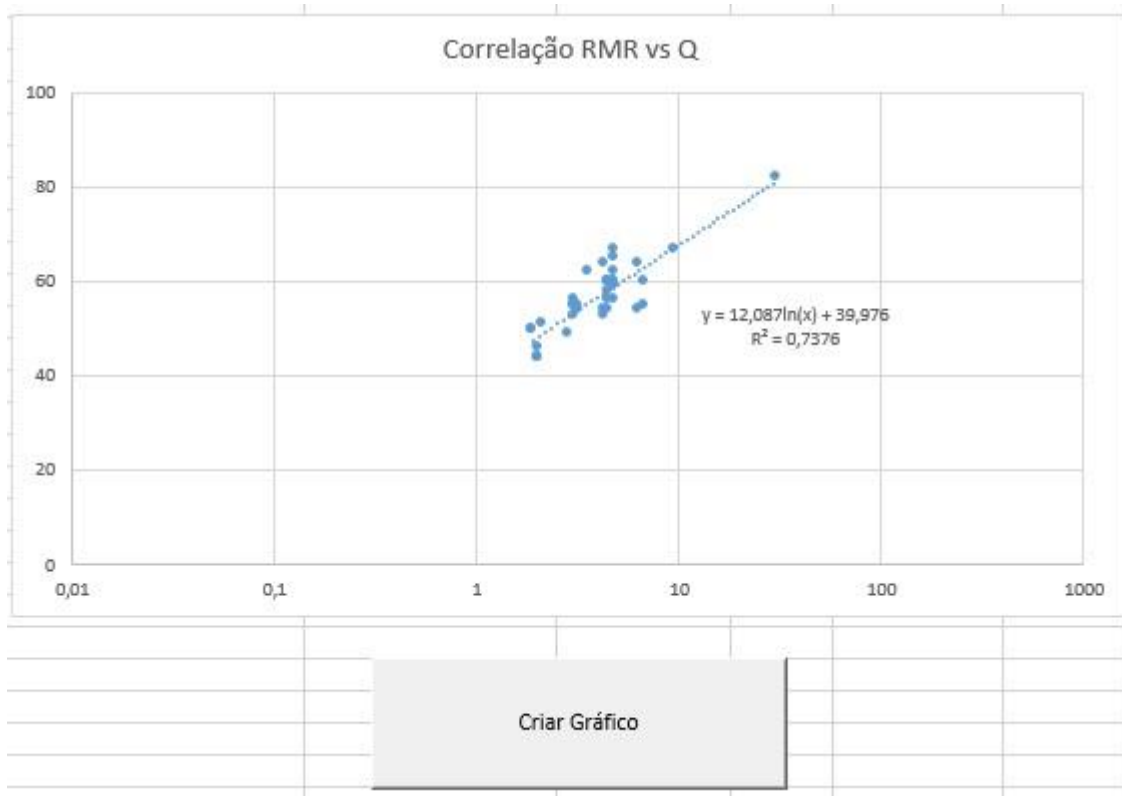
Rock Classes - Q									
G	F	E	D	C	B	A			
Excepcionalmente Fraca	Extremamente Fraca	Muito Fraca	Fraca	Razoável	Boa	Muito Boa	Extremamente Boa	Excepcionalmente Boa	
0,001-0,01	0,01-0,1	0,1-1	1,0-4	4,0-10	10,0-40,0	40,0-100	100-400	400-1000	
Aplicar Formatação			Classe do Maciço - RMR					Remover Formatação	
			Muito Mau - V ≤ 20	Mau - IV 40-21	Razoável - III 41-60	Bom - II 61-80	Muito Bom - I 81-100		

Se o utilizador desejar aplicar a formatação indicada, deverá carregar no botão “Aplicar Formatação”. O aspeto da base de dados passa a ser o seguinte:

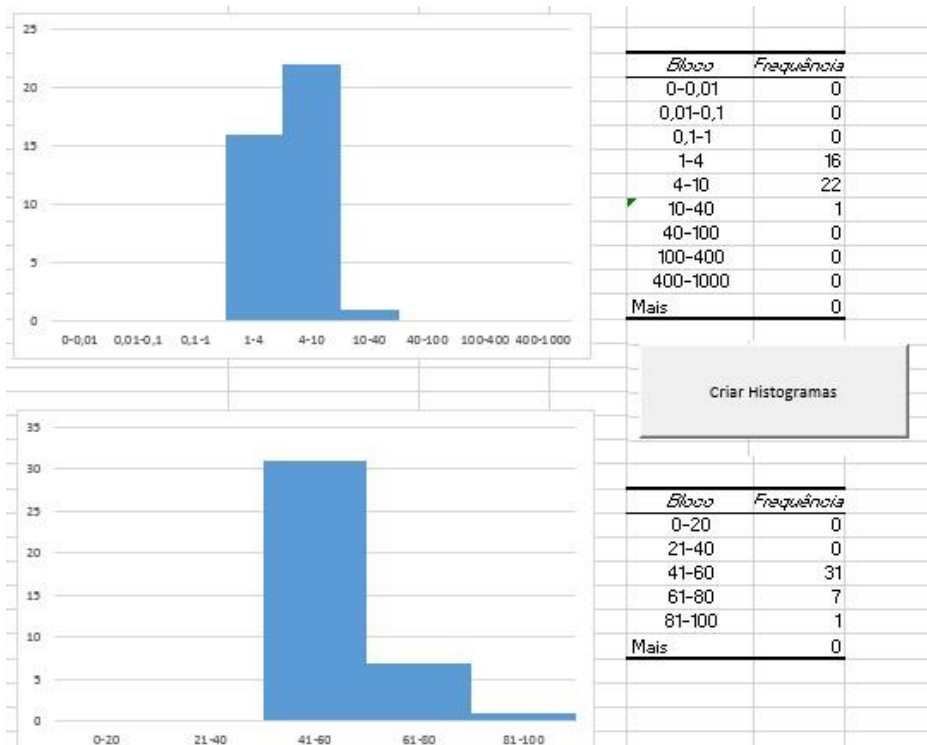
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
	Obra	Tunel	Descrição	Observador	Data	PK		Barton - Q					Bieniawsky - RMR															
							RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	A1	A2	A3	A4a	A4b	A4c	A4d	A4e	B	A4	A5	RMR Basico	RMR		
4	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	26/06/2013	0-3	100	2	1,5	1	1	2,5	30	7	20	15	2	5	3	4	6	0	20	15	82	82		
5	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	27/06/2013	3-6	95	8	1,5	2	1	2,5	3,5625	7	20	15	1	4	1	6	5	-12	17	15	74	62		
6	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	28/06/2013	6-9	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	7	20	13	1	4	1	6	5	-12	17	14	71	59		
7	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	29/06/2013	9-12	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	7	20	13	1	4	1	6	5	-12	17	14	71	59		
8	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	30/06/2013	12-15	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	72	60		
9	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	01/07/2013	15-18	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	72	60		
10	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	02/07/2013	18-21	90	4	1,5	2	1	2,5	6,75	12	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	72	60		
11	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	03/07/2013	21-24	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	7	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	13	66	54		
12	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	04/07/2013	24-27	90	4	1,5	2	1	2,5	6,75	7	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	67	55		
13	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	05/07/2013	27-30	85	6	1,5	2	1	2,5	4,25	7	18	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	66	54		
14	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	06/07/2013	30-33	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	6	5	-12	17	14	72	60		
15	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	07/07/2013	33-36	90	6	1,5	2	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	4	5	-12	15	14	70	58		
16	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	08/07/2013	39-42	90	6	1,5	3	1	2,5	3	12	19	9	1	4	1	2	5	-12	13	14	67	55		
17	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	09/07/2013	42-51	90	4	1,5	3	1	2,5	4,5	12	19	10	1	4	1	2	5	-12	13	14	68	56		
18	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	10/07/2013	51-54	85	6	1,5	3	1	2,5	2,8333	12	17	9	1	1	1	2	5	-12	10	13	61	49		
19	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	11/07/2013	54-57	85	6	1	3	1	2,5	1,8889	12	17	9	1	4	1	2	3	-12	11	13	62	50		
20	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	12/07/2013	57-60	85	6	1	3	1	2,5	1,8889	12	17	9	1	4	1	2	3	-12	11	13	62	50		
21	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	13/07/2013	60-63	90	6	1	3	1	2,5	2	7	18	10	1	1	1	2	3	-12	8	13	56	44		
22	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	14/07/2013	63-66	90	6	1	3	1	2,5	2	7	18	10	1	1	1	2	3	-12	8	13	56	44		
23	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	15/07/2013	66-69	90	6	1	3	1	2,5	2	7	18	10	1	1	1	2	3	-12	8	13	56	44		
24	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	16/07/2013	69-72	90	6	1	3	1	2,5	2	7	18	10	1	1	1	2	3	-10	8	13	56	46		
25	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	17/07/2013	72-75	95	6	1	3	1	2,5	2,1111	12	20	10	1	1	1	2	3	-12	8	13	63	51		
26	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	18/07/2013	75-78	95	3	1	3	1	2,5	4,2222	12	20	10	1	1	1	2	3	-10	8	13	63	53		
27	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	19/07/2013	78-81	95	3	1	3	1	2,5	4,2222	12	20	10	1	4	1	2	5	-5	13	14	69	64		
28	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	20/07/2013	81-84	90	6	1,5	3	1	2,5	3	12	19	10	1	4	1	2	5	-12	13	14	68	56		
29	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	21/07/2013	84-87	95	4	1,5	3	1	2,5	4,75	12	20	10	1	1	1	2	5	-10	10	14	66	56		
30	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	22/07/2013	87-90	95	6	1,5	3	1	2,5	3,1667	12	19	10	1	1	1	2	5	-10	10	13	64	54		
31	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	23/07/2013	90-93	90	6	1,5	3	1	2,5	3	12	19	10	1	1	1	2	5	-10	10	12	63	53		
32	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	24/07/2013	93-96	95	6	1,5	3	1	2,5	3,1667	12	20	10	1	1	1	2	5	-10	10	12	64	54		
33	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	25/07/2013	96-99	95	6	1,5	3	1	2,5	3,1667	12	20	10	1	1	1	2	5	-10	10	13	65	55		
34	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	26/07/2013	99-102	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	12	20	12	1	4	1	2	5	-10	13	13	70	60		
35	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	27/07/2013	102-105	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	12	20	12	1	4	1	6	5	-10	17	14	75	65		
36	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	28/07/2013	105-108	95	3	1,5	2	1	2,5	9,5	12	20	10	1	4	1	2	5	-2	13	14	69	67		
37	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	29/07/2013	108-111	95	3	1,5	3	1	2,5	6,3333	7	20	10	1	4	1	2	5	-10	13	14	64	54		
38	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	30/07/2013	111-114	95	3	1,5	3	1	2,5	6,3333	7	20	10	1	4	3	2	5	-2	15	14	66	64		
39	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	31/07/2013	114-117	95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	7	20	12	1	4	3	6	5	-10	19	14	72	62		
40	FEUP	Central	fronte	Samuel Pereira	01/08/2013		95	6	1,5	2	1	2,5	4,75	7	20	12	1	4	3	6	5	-5	19	14	72	62		

A vantagem desta opção revela-se importante na deteção de eventuais erros não propositados. Como os valores da base de dados foram gerados aleatoriamente, facilmente se percebe que grandes incoerências estão presentes. A cor amarela no índice Q, relativa a maciços de fraca qualidade, contrasta com a cor azul do índice RMR, relativa a maciços de boa qualidade logo na segunda medição, alertando o utilizador para um eventual erro na medição.

O utilizador também tem a opção de criar instantaneamente a sua correlação, bastando carregar no botão “Criar Gráfico”.



Para completar a análise estatística, o utilizador pode criar histogramas que auxiliam na análise da qualidade dos maciços atravessados. Como se pode ver na figura seguinte, facilmente é perceptível a qualidade dos maciços mais frequentemente atravessados.



Relativamente aos dados do índice GSI, estes encontram-se armazenados numa folha com essa finalidade prontos para serem impressos com toda a informação necessária.

Obra	Túnel	Descrição	PK	Obra	Túnel	Descrição	PK	Obra	Túnel	Descrição	PK
FEUP	Central	fronto	0-3	FEUP	Central	fronto	0-3	FEUP	Central	fronto	0-3
<p><b>GSI - Geological Streight Index</b> Índice Geológico de Resistência - maciço diastrudado</p> <p>A partir da litologia, da estrutura do maciço, e das características dos registos das suas descontinuidades, atribui-se o valor médio de GSI. Não ser demasiado preciso (o mais realista sobre um intervalo de GSI= 10-17, que abrange GSI=10).</p> <p>É de evitar que a tabela não tem validade para rochas determinadas pela estrutura do maciço. Quando ocorrem descontinuidades de natureza diferente orientadas, determinam o comportamento da escavação.</p> <p>No caso de descontinuidades com preenchimento que se possa determinar com a presença de hematite, resultando na diminuição da resistência ao corte, registre-se o uso de valores mais à direita. A acção da pressão da água é analisada em função das tensões efectivas.</p>				<p><b>GSI - Geological Streight Index</b> Índice Geológico de Resistência - maciço diastrudado</p> <p>A partir da litologia, da estrutura do maciço, e das características dos registos das suas descontinuidades, atribui-se o valor médio de GSI. Não ser demasiado preciso (o mais realista sobre um intervalo de GSI= 10-17, que abrange GSI=10).</p> <p>É de evitar que a tabela não tem validade para rochas determinadas pela estrutura do maciço. Quando ocorrem descontinuidades de natureza diferente orientadas, determinam o comportamento da escavação.</p> <p>No caso de descontinuidades com preenchimento que se possa determinar com a presença de hematite, resultando na diminuição da resistência ao corte, registre-se o uso de valores mais à direita. A acção da pressão da água é analisada em função das tensões efectivas.</p>				<p><b>GSI - Geological Streight Index</b> Índice Geológico de Resistência - maciço diastrudado</p> <p>A partir da litologia, da estrutura do maciço, e das características dos registos das suas descontinuidades, atribui-se o valor médio de GSI. Não ser demasiado preciso (o mais realista sobre um intervalo de GSI= 10-17, que abrange GSI=10).</p> <p>É de evitar que a tabela não tem validade para rochas determinadas pela estrutura do maciço. Quando ocorrem descontinuidades de natureza diferente orientadas, determinam o comportamento da escavação.</p> <p>No caso de descontinuidades com preenchimento que se possa determinar com a presença de hematite, resultando na diminuição da resistência ao corte, registre-se o uso de valores mais à direita. A acção da pressão da água é analisada em função das tensões efectivas.</p>			
<p>Condições das superfícies das descontinuidades</p> <p>MUITO BOAS - Muito rugosas, aderentes</p> <p>BOAS - Rugosas, pouco aderentes, sempre de orientação</p> <p>RAZOVAVES - Lisas, moderadamente aderentes e aderidas</p> <p>FRACAS - "slickensides", superfícies muito aderidas com preenchimento compacto ou com preenchimento de material argiloso</p> <p>MUITO FRACAS - "slickensides", superfícies muito aderidas com preenchimento de preenchimento argiloso mole</p>				<p>Condições das superfícies das descontinuidades</p> <p>MUITO BOAS - Muito rugosas, aderentes</p> <p>BOAS - Rugosas, pouco aderentes, sempre de orientação</p> <p>RAZOVAVES - Lisas, moderadamente aderentes e aderidas</p> <p>FRACAS - "slickensides", superfícies muito aderidas com preenchimento compacto ou com preenchimento de material argiloso</p> <p>MUITO FRACAS - "slickensides", superfícies muito aderidas com preenchimento de preenchimento argiloso mole</p>				<p>Condições das superfícies das descontinuidades</p> <p>MUITO BOAS - Muito rugosas, aderentes</p> <p>BOAS - Rugosas, pouco aderentes, sempre de orientação</p> <p>RAZOVAVES - Lisas, moderadamente aderentes e aderidas</p> <p>FRACAS - "slickensides", superfícies muito aderidas com preenchimento compacto ou com preenchimento de material argiloso</p> <p>MUITO FRACAS - "slickensides", superfícies muito aderidas com preenchimento de preenchimento argiloso mole</p>			
<p>Estreita</p> <p>Decréscimo na qualidade ⇩</p>				<p>Estreita</p> <p>Decréscimo na qualidade ⇩</p>				<p>Estreita</p> <p>Decréscimo na qualidade ⇩</p>			
<p>INTACTA OU MACIÇA ("massive or massive") - rocha intacta ou maciça com descontinuidades em pequena quantidade e muito aderidas.</p>				<p>INTACTA OU MACIÇA ("massive or massive") - rocha intacta ou maciça com descontinuidades em pequena quantidade e muito aderidas.</p>				<p>INTACTA OU MACIÇA ("massive or massive") - rocha intacta ou maciça com descontinuidades em pequena quantidade e muito aderidas.</p>			
<p>COMPARTIMENTADO ("blocky") - maciço rochoso não perturbado, constituído por blocos cúbicos bem travados entre si, definidos por três famílias de descontinuidades.</p>				<p>COMPARTIMENTADO ("blocky") - maciço rochoso não perturbado, constituído por blocos cúbicos bem travados entre si, definidos por três famílias de descontinuidades.</p>				<p>COMPARTIMENTADO ("blocky") - maciço rochoso não perturbado, constituído por blocos cúbicos bem travados entre si, definidos por três famílias de descontinuidades.</p>			
<p>MUITO COMPARTIMENTADO ("very blocky") - maciço rochoso parcialmente perturbado com blocos angulares multifacetados, travados entre si, formados por 4 ou mais famílias de descontinuidades.</p>				<p>MUITO COMPARTIMENTADO ("very blocky") - maciço rochoso parcialmente perturbado com blocos angulares multifacetados, travados entre si, formados por 4 ou mais famílias de descontinuidades.</p>				<p>MUITO COMPARTIMENTADO ("very blocky") - maciço rochoso parcialmente perturbado com blocos angulares multifacetados, travados entre si, formados por 4 ou mais famílias de descontinuidades.</p>			
<p>COMPARTIMENTADO TECTONIZADO ("blocky/sheared") - maciço rochoso dividido em cunhados, com blocos angulares formados por bastantes intersecções de várias famílias de descontinuidades. Presença de viscosidade ou planos de fratura.</p>				<p>COMPARTIMENTADO TECTONIZADO ("blocky/sheared") - maciço rochoso dividido em cunhados, com blocos angulares formados por bastantes intersecções de várias famílias de descontinuidades. Presença de viscosidade ou planos de fratura.</p>				<p>COMPARTIMENTADO TECTONIZADO ("blocky/sheared") - maciço rochoso dividido em cunhados, com blocos angulares formados por bastantes intersecções de várias famílias de descontinuidades. Presença de viscosidade ou planos de fratura.</p>			
<p>DESINTEGRADO ("disintegrated") - maciço rochoso muito perturbado, muito fraturado, com mistura de material angular e arredondado.</p>				<p>DESINTEGRADO ("disintegrated") - maciço rochoso muito perturbado, muito fraturado, com mistura de material angular e arredondado.</p>				<p>DESINTEGRADO ("disintegrated") - maciço rochoso muito perturbado, muito fraturado, com mistura de material angular e arredondado.</p>			
<p>FOLGADO/LAMINADO ("laminated/sheared") - Maciço rochoso foliado, dividido e tectonizado. A estrutura do maciço é controlada pela presença de planos de viscosidade ou de corte pouco espaçados, sem formação de blocos devido prevalência da viscosidade.</p>				<p>FOLGADO/LAMINADO ("laminated/sheared") - Maciço rochoso foliado, dividido e tectonizado. A estrutura do maciço é controlada pela presença de planos de viscosidade ou de corte pouco espaçados, sem formação de blocos devido prevalência da viscosidade.</p>				<p>FOLGADO/LAMINADO ("laminated/sheared") - Maciço rochoso foliado, dividido e tectonizado. A estrutura do maciço é controlada pela presença de planos de viscosidade ou de corte pouco espaçados, sem formação de blocos devido prevalência da viscosidade.</p>			
<p>Valor de GSI</p> <p>40      55</p>				<p>Valor de GSI</p> <p>57      75</p>				<p>Valor de GSI</p> <p>60      70</p>			
<p>Observador      Data</p> <p>Samuel Pereira      27/06/2013</p>				<p>Observador      Data</p> <p>Samuel Pereira      27/06/2013</p>				<p>Observador      Data</p> <p>Samuel Pereira      27/06/2013</p>			

